

# Medir $g$ numa queda livre: a experiência em sala de aula

Ana Tavares Sousa<sup>1</sup>, Rui Agostinho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escola Secundária Stuart Carvalhais - Agrupamento de Escolas de Massamá  
anatsousa@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa  
rui.agostinho@ciencias.ulisboa.pt

## Resumo

Construiu-se uma montagem e desenvolveu-se um protocolo, para a determinação do valor da aceleração gravítica terrestre, a partir do aumento de velocidade de um corpo em queda livre vertical [1,2], que permite obter resultados consistentes, reprodutíveis e com uma ótima exatidão. Esta montagem soluciona os problemas dos erros experimentais habitualmente existentes nas montagens mais utilizadas. A montagem e o protocolo foram testados ao longo de dois anos letivos, com 10 turmas de 11º ano, do curso de Ciências e Tecnologias do Ensino Secundário, num total de 74 grupos de trabalho, envolvendo 252 alunos e 10 professores.

Os alunos manusearam facilmente o equipamento e sensibilizaram-se para a necessidade de procedimentos preparatórios, de modo a minimizar os erros experimentais. A rapidez do procedimento experimental pelos alunos – alinhamentos da montagem e aquisição de dados – permitiu a recolha de uma quantidade de medições maior do que é usual em aulas experimentais. Tal aumentou a precisão e a exatidão do valor de  $g$  obtido e permitiu mais tempo para a discussão final do trabalho.

O valor médio obtido pelos grupos é  $g = (9,835 \pm 0,005) \text{ m s}^{-2}$ , com um desvio padrão  $\sigma = 0,043 \text{ m s}^{-2}$ , comprovando-se também a sua independência da massa.

**Palavras-chave:** queda livre, aceleração gravítica, montagem experimental de física, física laboratorial.

## 1 - Introdução

No trabalho aqui apresentado faz-se a determinação do valor da aceleração gravítica terrestre,  $g$ , a partir do aumento de velocidade na queda livre vertical [1,2], dum corpo e verifica-se que este valor é independente da massa. Esta é uma das atividades obrigatórias do currículo de Física e Química A, 11º ano [3].

Para a realização desta atividade muitas escolas usam monta-

geral resultados pouco satisfatórios [4,5,6,7,8,9]. Para obviar esta situação, construiu-se uma montagem e elaborou-se um protocolo (apresentado no final deste artigo), que é de fácil utilização em sala de aula e com o qual se conseguem resultados consistentes reprodutíveis e com uma melhor exatidão quando comparados com os outros métodos, largando-se a esfera apenas 11 vezes e sem rejeição de resultados, demorando-se em média 5 minutos.

Esta montagem e o protocolo foram utilizados por 10 professores em turmas de 11º ano do curso de Ciências e Tecnologias do Ensino Secundário. No ano letivo de 2016/17 foi usado em 5 turmas, num total de 40 grupos de trabalho envolvendo 131 alunos; no ano letivo de 2017/18 usou-se em 34 grupos num total de 121 alunos, de outras 5 turmas. No total o conjunto montagem e protocolo foi testado com 252 estudantes, em 74 grupos, ao longo de dois anos letivos.

Deixa-se aqui uma descrição do trabalho realizado, como ferramenta de partida para execução da atividade experimental (designada por Queda livre: força gravítica e aceleração da gravidade, no currículo já referido), que pode ser ajustada às condições e necessidades de cada escola.

## 2 - A montagem experimental

A montagem, figura 1, consiste na colocação de duas fotocélulas num suporte universal e de um eletroímã, alinhado verticalmente com as fotocélulas. Uma fonte de tensão DC variável controla o eletroímã, onde são colocadas as esferas de aço usadas como corpo em queda [1,2]. As fotocélulas são da PASCO e estão ligadas a uma interface Science Workshop 750, sendo a aquisição de dados feita com o programa DataStudio.

O eletroímã é um cilindro com um orifício no centro ao longo do eixo, que permite a passagem de um fio-de-prumo (para ajustar a verticalidade) e também a colocação correta da esfera na base inferior, de modo a minimizar desvios à verticalidade da trajetória, quando largada (figura 3 do protocolo).



Fig. 1 - Montagem para determinação do  $g$  a partir da queda vertical de uma esfera.

A fonte de tensão faz passar uma corrente elétrica na bobine ( $\approx 0,45$  A), criando um campo magnético que segura a esfera. Desligando a fonte de tensão o campo magnético anula-se e a esfera cai.

Quando a esfera cruza cada feixe luminoso das fotocélulas o DataStudio regista o tempo de passagem do diâmetro  $D$  ( $t_D$ ) e o instante de passagem em cada fotocélula  $t_{01}$  e  $t_{02}$  e (instante médio entre a esfera tocar o feixe luminoso e sair dele).

Calcula-se a velocidade média de passagem da esfera em cada feixe luminoso e a aceleração gravítica, pelas equações (1) e (2), respetivamente, em que  $v_2 - v_1$  é a diferença de velocidades de passagem da esfera nas duas fotocélulas e  $\Delta t$  o tempo do percurso entre as duas fotocélulas ( $\Delta t = t_{02} - t_{01}$ ).

$$v_i = \frac{D}{t_{Di}}; \quad i = 1 \text{ e } 2 \quad (1)$$

$$g = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \quad (2)$$

Note-se que a velocidade média considerada é numericamente igual à velocidade instantânea da esfera, no instante  $t_0$  (definido acima). Tal demonstra-se a partir das leis do movimento. Pode-se assim usar a designação simples de “velocidade” para o valor obtido pela equação (1).

Os desalinhamentos tanto horizontais como verticais, produzem tempos de passagem pelo feixe que não correspondem ao diâmetro da esfera. Para ser medido o tempo de passagem  $t_D$  do diâmetro  $D$  da esfera, a trajetória desta tem de ser perpendicular ao feixe de luz e intercutá-lo em todo o seu diâmetro. A horizontalidade é verificada com um nível de bolha em cima das fotocélulas (figura 2 do protocolo). Se

tal não se verificar, o espaço percorrido pela esfera ao atravessar o feixe será maior do que o seu diâmetro  $D$ , medindo-se por isso um tempo de passagem  $t_D$  maior que o correto, o que conduz ao cálculo de um valor de velocidade por defeito a partir da equação 1, que usa sempre o valor  $D$  [2]. Para que o diâmetro da esfera intercete o feixe faz-se o alinhamento vertical. Se em vez do diâmetro da esfera passar apenas uma corda desta pelo feixe, os tempos de passagem registados são menores, obtendo-se valores de  $v$  por excesso [2].

### 3. A execução experimental e os resultados

Iniciou-se a aula explicando aos alunos o funcionamento da montagem, realçando as consequências dos desalinhamentos (verticalidade e horizontalidade) no valor final de  $g$ . A reação dos alunos, na execução do trabalho, mostrou que interiorizaram a importância de fazer os alinhamentos para minimizar os erros experimentais. Seguindo o protocolo, manusearam facilmente o equipamento, demorando cerca de 10 minutos a fazer os alinhamentos. O tempo de aquisição de dados, para largar a esfera 11 vezes, é em média de 5 minutos. Numa mesma aula, foram usadas esferas de três massas diferentes, mas cada grupo usou uma só esfera. No final analisaram-se os resultados obtidos por todos os grupos. Numa aula de 135 minutos e com uma só montagem disponível (caso da escola em questão), o curto tempo de execução da experiência, permite que quatro grupos realizem os alinhamentos e largadas de uma esfera, tratem os seus dados, elaborem um relatório do trabalho e se faça a discussão conjunta dos resultados para esferas com massas diferentes. A figura 2 exemplifica uma aquisição de dados. Salienta-se a boa reprodutibilidade nos tempos de passagem da esfera pelo feixe de luz. Tal foi observado em todos os ensaios em que os alunos seguiram o protocolo com cuidado, nos dois anos letivos em que o trabalho foi realizado.

| Run #1    |                     | Run #2    |                     |
|-----------|---------------------|-----------|---------------------|
| Tempo (s) | Tempo decorrido (s) | Tempo (s) | Tempo decorrido (s) |
| 7,9904    | 0,0184              | 8,0538    | 0,0139              |
| 31,4090   | 0,0184              | 31,4722   | 0,0139              |
| 42,1972   | 0,0183              | 42,2605   | 0,0139              |
| 48,7878   | 0,0183              | 48,8512   | 0,0139              |
| 52,9383   | 0,0183              | 53,0016   | 0,0139              |
| 57,1735   | 0,0183              | 57,2389   | 0,0139              |
| 63,8595   | 0,0184              | 63,9227   | 0,0139              |
| 68,5419   | 0,0184              | 68,6052   | 0,0139              |
| 73,4865   | 0,0184              | 73,5498   | 0,0139              |
| 80,3400   | 0,0183              | 80,4034   | 0,0139              |
| 85,4635   | 0,0183              | 85,5269   | 0,0139              |
| 92,2044   | 0,0184              | 92,2677   | 0,0139              |
| 99,4941   | 0,0183              | 99,5575   | 0,0139              |
| 106,1433  | 0,0183              | 106,2065  | 0,0139              |
| 110,4887  | 0,0184              | 110,5521  | 0,0139              |
| 116,5504  | 0,0183              | 116,6136  | 0,0139              |
| 122,8212  | 0,0183              | 122,8844  | 0,0139              |
| 128,0618  | 0,0183              | 128,1250  | 0,0139              |
| 135,1137  | 0,0183              | 135,1789  | 0,0139              |

Fig. 2 - Imagem de um conjunto de aquisição de dados, no lançamento de uma esfera.

Apresentam-se nas tabelas 1 e 2 exemplos da aquisição de dados e do seu tratamento, obtidos por dois grupos de alunos, com diferentes níveis de cuidado nos procedimentos prévios de alinhamento e na colocação da esfera no orifício do eletroímã: grupo 1 e grupo 2. É fácil verificar que os

valores obtidos pelo grupo 1 correspondem a experiências em que os procedimentos prévios foram bem executados, enquanto que os registados pelo grupo 2 se referem a uma montagem mal alinhada ou em que a esfera não estava sempre centrada no eletroímã. As tabelas transcrevem as medições diretas, obtidas com o programa DataStudio: tempos de queda desde a largada da esfera até ao instante em que passa pelo feixe de luz da primeira fotocélula,  $t_{01}$ , e da segunda fotocélula,  $t_{02}$ ; o tempo de interrupção do feixe de luz da primeira fotocélula,  $t_{D1}$ , e da segunda,  $t_{D2}$ . Observem-se as diferenças de reprodutibilidade em cada grupo. Os alunos calcularam o tempo de queda da esfera entre as duas fotocélulas,  $\Delta t$ , as velocidades de passagens da esfera nas fotocélulas,  $v_1$  e  $v_2$  e o valor de  $g$ , pelas equações (1) e (2).

TABELA 1 – Valores experimentais obtidos pelo grupo 1 ( $D = 34,94$  mm)

| $t_{01} \pm 10^{-4}$<br>(s) | $t_{02} \pm 10^{-4}$<br>(s) | $t_{D1} \pm 10^{-4}$<br>(s) | $t_{D2} \pm 10^{-4}$<br>(s) | $\Delta t$<br>(s) | $v_1$<br>(m s <sup>-1</sup> ) | $v_2$<br>(m s <sup>-1</sup> ) | $g$<br>(m s <sup>-2</sup> ) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 4,4435                      | 0,0386                      | 4,5888                      | 0,0150                      | 0,1453            | 0,9052                        | 2,3293                        | 9,8015                      |
| 17,7253                     | 0,0386                      | 17,8705                     | 0,0150                      | 0,1452            | 0,9052                        | 2,3293                        | 9,8082                      |
| 26,3240                     | 0,0387                      | 26,4693                     | 0,0150                      | 0,1453            | 0,9028                        | 2,3293                        | 9,8176                      |
| 50,8349                     | 0,0386                      | 50,9802                     | 0,0150                      | 0,1453            | 0,9052                        | 2,3293                        | 9,8015                      |
| 62,8435                     | 0,0386                      | 62,9887                     | 0,0150                      | 0,1452            | 0,9052                        | 2,3293                        | 9,8082                      |
| 73,1265                     | 0,0386                      | 73,2718                     | 0,0150                      | 0,1453            | 0,9052                        | 2,3293                        | 9,8015                      |
| 97,7833                     | 0,0386                      | 97,9285                     | 0,0150                      | 0,1452            | 0,9052                        | 2,3293                        | 9,8082                      |
| 117,3028                    | 0,0387                      | 117,448                     | 0,0150                      | 0,1452            | 0,9028                        | 2,3293                        | 9,8243                      |
| 129,9165                    | 0,0386                      | 130,0617                    | 0,0150                      | 0,1452            | 0,9052                        | 2,3293                        | 9,8082                      |

TABELA 2 – Valores experimentais obtidos pelo grupo 2 ( $D = 34,94$  mm)

| $t_{01} \pm 10^{-4}$<br>(s) | $t_{02} \pm 10^{-4}$<br>(s) | $t_{D1} \pm 10^{-4}$<br>(s) | $t_{D2} \pm 10^{-4}$<br>(s) | $\Delta t$<br>(s) | $v_1$<br>(m s <sup>-1</sup> ) | $v_2$<br>(m s <sup>-1</sup> ) | $g$<br>(m s <sup>-2</sup> ) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 2,4944                      | 0,0394                      | 2,6597                      | 0,0139                      | 0,1653            | 0,8868                        | 2,5137                        | 9,8419                      |
| 20,7439                     | 0,0382                      | 20,9093                     | 0,0136                      | 0,1654            | 0,9147                        | 2,5691                        | 10,003                      |
| 31,5763                     | 0,0392                      | 31,7417                     | 0,0138                      | 0,1654            | 0,8913                        | 2,5319                        | 9,9187                      |
| 41,0894                     | 0,0394                      | 41,2547                     | 0,0139                      | 0,1653            | 0,8868                        | 2,5137                        | 9,8419                      |
| 48,9117                     | 0,0394                      | 49,0771                     | 0,0138                      | 0,1654            | 0,8868                        | 2,5319                        | 9,9461                      |
| 57,2862                     | 0,0382                      | 57,4515                     | 0,0135                      | 0,1653            | 0,9147                        | 2,5881                        | 10,124                      |
| 64,6055                     | 0,0394                      | 64,7709                     | 0,0138                      | 0,1654            | 0,8868                        | 2,5319                        | 9,9461                      |
| 73,2950                     | 0,0394                      | 73,4605                     | 0,0139                      | 0,1655            | 0,8868                        | 2,5137                        | 9,8300                      |
| 83,1216                     | 0,0385                      | 83,2869                     | 0,0137                      | 0,1653            | 0,9075                        | 2,5504                        | 9,9385                      |
| 93,0992                     | 0,0387                      | 93,2647                     | 0,0137                      | 0,1655            | 0,9028                        | 2,5504                        | 9,9549                      |
| 102,0287                    | 0,0394                      | 102,1942                    | 0,0139                      | 0,1655            | 0,8868                        | 2,5137                        | 9,8300                      |

Nota: as tabelas contêm os valores obtidos diretamente na folha do DataStudio e no Excel foram arredondados ao número de algarismos significativos mais um

#### 4. Análise dos resultados

Na figura 3 apresenta-se a distribuição dos valores médios de  $g$  obtidos por 67 grupos de alunos, nos dois anos letivos. A falta de sete resultados deve-se ao lapso de não terem sido gravados os ficheiros finais. Os intervalos inscritos na figura são abertos à esquerda e fechados à direita. Cada valor de  $g$  é uma média de 11 largadas com a mesma esfera, exceto pouquíssimos casos com 9 largadas. Foram usadas esferas de três diâmetros e massas diferentes. Verifica-se que há uma pequena tendência para o valor de  $g$  ser obtido por excesso sendo o valor médio dos 67 ensaios  $g = (9,835 \pm 0,005) \text{ m s}^{-2}$ .

Na Tabela 3 apresentam-se os valores médios de  $g$  obtidos para cada massa e a respetiva incerteza do valor médio ( $\sigma_g = \sigma/\sqrt{N}$ ), no conjunto dos dois anos letivos. Esta análise mostra que se obtiveram melhores resultados com a esfera

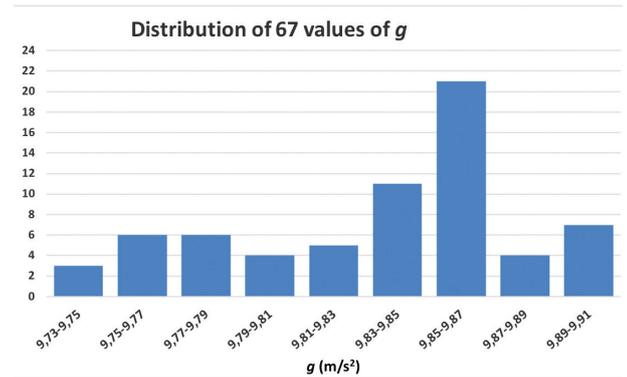


Fig. 3 - Histograma dos valores médios de  $g$  obtidos nos dois anos letivos.

de 25 mm de diâmetro, a de menor massa.

Nesta experiência há dois efeitos a considerar e que são devidos ao ar: a impulsão, que resulta numa diminuição da aceleração em  $g \frac{\rho_{ar}}{\rho_{aço}} = 0,0015 \text{ m s}^{-2}$ , e a aceleração da resistência aerodinâmica que aumenta durante a queda, dada por  $\frac{3}{4} C \frac{\rho_{ar} v^2}{\rho_{aço} D}$  [2]. O coeficiente de arrasto é  $C \approx 0,5$  para uma esfera a baixa velocidade (número de Reynolds  $\leq 10^5$ ). Para a esfera de aço de 25 mm de diâmetro e para as alturas de queda utilizadas ( $\leq 30$  cm) a contribuição destes dois efeitos resulta numa aceleração média de  $9,792 \text{ m s}^{-2}$  durante o movimento, valor que se desvia apenas de  $1 \sigma_g$  (incerteza da média) do valor  $9,782$  obtido (Tabela 3). Este pequeno erro (0,1%) representa um resultado experimental que consideramos muito bom, em sala de aula.

TABELA 3 – Valores médios da aceleração em função da massa

| $D \pm 0,02$<br>(mm) | $m \pm 0,01$<br>(g) | N<br>(valores) | $\bar{g}$<br>(m s <sup>-2</sup> ) | $\sigma_g$<br>(m s <sup>-2</sup> ) |
|----------------------|---------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 25,12                | 67,13               | 21             | 9,782                             | 0,010                              |
| 29,98                | 110,20              | 21             | 9,867                             | 0,010                              |
| 34,94                | 174,90              | 25             | 9,852                             | 0,009                              |

Para a esfera de aço de 34,94 mm de diâmetro nesta montagem o valor médio da aceleração real do movimento é de  $9,794 \text{ m s}^{-2}$ , valor que corresponde a um desvio de  $1,3 \sigma$  (incerteza numa medição) em relação aos 9,852 aqui obtidos (Tabela 3). Este erro de  $+0,058 \text{ m s}^{-2}$  (0,6%) pode estar relacionado com a amplitude de vibração da haste que suporta o eletroímã e as fotocélulas: a vibração que ocorre quando a esfera se desprende do eletroímã origina um ligeiro desalinhamento na verticalidade. Isto produz tempos menores na interrupção do feixe das fotocélulas ( $t_D$ ), calculando-se velocidades maiores pela equação 1. Como a célula inferior é mais sensível a este problema obtêm-se valores de  $g$  por excesso [1,2]. Esta amplitude será menor para a esfera de menor massa. Uma forma de minimizar

este problema é encurtar a haste, o que será feito futuramente.

## 5. Conclusão

A montagem e o protocolo testados permitem uma fácil e rápida aquisição de dados para o cálculo de  $g$ , com uma grande reprodutibilidade (observar colunas de  $t_{D1}$  e  $t_{D2}$  na Tabela 1 e figura 2).

Esta montagem permite ao professor avaliar a qualidade do desempenho dos alunos no manuseamento dos materiais apenas a partir dos valores experimentais obtidos; numa largada com a esfera mal colocada no eletroímã ou com uma fotocélula não horizontal, observam-se tempos de passagem  $t_{D1}$  e  $t_{D2}$  diferentes dos restantes do conjunto (Tabela 2).

A atividade motivou os alunos para o trabalho experimental e de investigação. Os resultados das avaliações sobre a atividade experimental foram bons; em trabalhos posteriores os alunos evidenciaram preocupação em garantir as condições requeridas para a medição das grandezas com um mínimo de erro (pedindo nível de bolha, transferidor, esquadro, quando estes materiais eram necessários, mas não eram fornecidos). O nível da discussão de resultados em geral e da resolução de questões sobre queda livre em particular, também melhorou.

Este trabalho permitiu ainda consolidar nos alunos conceitos e práticas fundamentais no trabalho experimental, tais como, planificar quais as grandezas que se devem medir e em que condições, qual a sensibilidade e o alcance dos instrumentos de medição, que erros sistemáticos e aleatórios ocorrem, qual a incerteza associada às medições e qual o número de algarismos significativos da medição, como fazer o tratamento estatístico dos resultados (cálculo do valor mais provável da grandeza medida, da incerteza absoluta, do erro percentual).

É ainda de realçar que esta montagem pode ser transportada facilmente e praticamente não necessita de manutenção; uma vez feitos os alinhamentos, estes mantêm-se.

Em sùmula, a montagem e o protocolo apresentados permitem alcançar os objetivos protagonizados no currículo de Física e Química A, do Ensino Secundário, contribuindo para o desenvolvimento das competências dos alunos e motivando-os para o trabalho experimental.

## Agradecimentos

Agradecemos aos alunos das turmas 11° A, B, C, D e E, 2016/17 e A, B, C, E e F, 2017/18, do curso de Ciências e Tecnologias, da Escola Secundária Stuart Carvalhais e às respetivas professoras, Palmira Ribeiro, Celina Tavares, Maria Manuel Rocha, Lurdes Vaz, José Manuel Coreia, Isabel Trigueiros, Maria José Faria, Luísa Barbosa, Olga Frois, pela realização desta atividade. A autora foi a professora do 11° C, 2017/18.

## Referências

1. Agostinho, Rui e Sousa, T. Ana, *Como medir sempre  $9,81 \pm 0,05 \text{ m/s}^2$  na queda duma esfera*, 26º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, 20º Conferência Nacional de Física, Braga, Univ. Minho, 2016 [https://www.researchgate.net/publication/320331546\\_Medir\\_975g990ms2\\_numa\\_Queda\\_Livre\\_em\\_Sala\\_de\\_Aula](https://www.researchgate.net/publication/320331546_Medir_975g990ms2_numa_Queda_Livre_em_Sala_de_Aula)
2. Agostinho, Rui, Sousa, Ana Tavares, *Medir  $g = 9,83 \pm 0,02 \text{ m/s}^2$  na queda de uma esfera*, *Gazeta de Física*, 40 nº2, 23-27, 2017
3. Fiolhais, Carlos et al, Programa de Física e Química A, 10º e 11º anos - Componente de Física, Lisboa, Ministério da Educação e Ciência, 2014
4. Maciel, Noémia et al, *Eu e a Física 11*, Porto Editora, 2016
5. Caldeira Helena et al, *Há Física entre nós, 11º ano*, Porto Editora, 2016
6. Correia, Maria do Rosário, et al, *+ Física 11*, Santillana, 2016
7. Ventura, Graça et al, *11F*, Texto editora, 2016
8. Oliveira, Agostinho, et al, *Física 11*, Raiz editora, 2016
9. Rodrigues, Carla, et al, *Física 11*, Areal editores, 2016

## Protocolo

Física e Química A – 11º ano, Física, Unidade 1  
AL 1.1 Queda livre

Esta atividade vai ser realizada com a montagem ilustrada na figura 1.

Tem como objetivo determinar o valor da aceleração gravítica terrestre e verificar se esta depende ou não da massa do corpo em queda.

São usadas esferas de massas e diâmetros diferentes que caem verticalmente por ação do seu peso.

|                         |       |        |        |
|-------------------------|-------|--------|--------|
| $m \pm 0,01 \text{ g}$  | 67,13 | 110,20 | 174,90 |
| $D \pm 0,02 \text{ mm}$ | 25,12 | 29,98  | 34,94  |



Fig. 1 - Montagem experimental

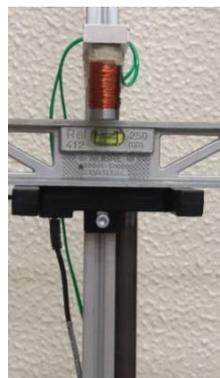


Fig. 2a)



Fig. 2b)

## Procedimento

1. Ligar a célula fotoelétrica superior ao canal 1 e a célula fotoelétrica inferior ao canal 2 da interface.
2. Alinhamento horizontal:
  - coloque o nível de bolha por cima de cada célula fotoelétrica e ajuste a sua posição (movendo ligeiramente a célula fotoelétrica com a mão) de modo a que fique horizontal. (figura 2).
3. Alinhamento vertical:
  - coloque o fio-de-prumo fazendo-o passar pelo orifício do eletroímã (ver figura 3 a) e b));

- com o nível de bolha verifique a horizontalidade do suporte do eletroímã (figura 3a));
- deixe o fio-de-prumo parar; deve ver o reflexo dos LEDs indicativos da interrupção do feixe de luz no papel atrás das células fotoelétricas. Se tal não acontecer ajuste a horizontalidade do suporte do eletroímã, movendo-o ligeiramente com a mão.

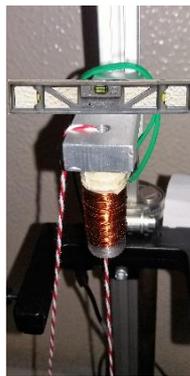


Fig. 3a)



Fig. 3b)

- Inicie no programa DataStudio o experimento “queda livre” ou utilize o atalho existente na pasta “queda da esfera” e abra o ficheiro “queda da esfera branco”. (ver figura 4)

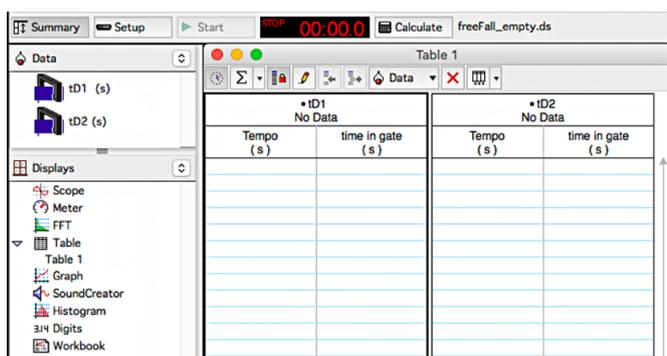


Fig. 4 - ficheiro em branco “queda livre”

- Ligue a fonte de tensão:
  - Coloque o botão de corrente em 0 A e o de tensão no máximo;
  - Ligue a fonte de tensão no interruptor;
  - Aumente a corrente até  $I=0,5$  A (a tensão ficará assim em  $U \approx 4,5$  V).
- Coloque a esfera por baixo no eletroímã; deve sentir a esfera prender-se ao orifício central deste. (Figura 5). Se tal não acontecer a esfera move-se para um dos lados e não cai alinhada com as fotocélulas, produzindo maus resultados.
- Inicie a aquisição de dados no DataStudio (iniciar). Mantenha a aquisição ligada (NÃO FAÇA STOP)
- Desligue o interruptor da fonte de tensão para a esfera cair.
- Volte a ligar a fonte de tensão e a colocar a esfera no eletroímã, sem interromper o feixe de luz e volte a desligar o interruptor da fonte de tensão, para ela cair.
- Repita o ponto 9 pelo menos 9 vezes, de modo a fazer no total 11 medições.



Fig. 5

- Para terminar a aquisição de dados – faça stop no DataStudio.

NOTA: Os valores dos tempos registados pelo DataStudio devem ser semelhantes em todas as largadas da esfera.

### Tratamento de resultados

- Calcule o valor das velocidades de passagem da esfera pelas células fotoelétricas 1 e 2 (usando os valores registados nas colunas “time in gate” pelo DataStudio -  $t_D$ ):

$$v = \frac{D}{t_D}$$

- Calcule  $\Delta t$ , fazendo a diferença entre a 3ª e a 1ª coluna do registo do DataStudio (tempo passagem da esfera entre as duas células fotoelétricas).

- Calcule  $g$  para cada lançamento:

$$g = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

e determine o valor mais provável de  $g$ .

- Determine a percentagem de erro do valor de  $g$  obtido. Considere o valor de  $9,80 \text{ m s}^{-2}$  para  $g_{\text{referência}}$ .

- Compare o valor experimental de  $g$  obtido para esferas de massas diferentes e conclua se esta grandeza é ou não dependente da massa do corpo.



Ana Tavares Sousa é doutorada em Química pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, tendo feito investigação experimental na área da Química-Física, num grupo de Termodinâmica e Propriedades de Transporte. Há bastantes anos que leciona Física e Química A no

Ensino Secundário. Atualmente interessa-se pela didática da Física e da Química experimental e pela sua divulgação. Tem desenvolvido equipamento e protocolos experimentais para o ensino da Física e da Química de Ciência.



Rui Agostinho é doutorado em Astronomia e Astrofísica pela Universidade da Carolina do Norte em Chapel Hill, EUA, É Professor Auxiliar na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, onde se licenciou em Física. É investigador do Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço na área da Astronomia Galáctica. Há muito tempo que leciona e desenvolve atividades ligadas com a didática e as metodologias de ensino da Física e Astrofísica.