

# Utilização de máquina fotográfica digital (*multi-burst*) para aulas experimentais de cinemática - queda livre

(Use of digital camera (*multi-burst*) for experiments in kinematics - free fall)

E.P. Moraes Corveloni<sup>1</sup>, E.S. Gomes, A.R. Sampaio, A.F. Mendes, V.L.L. Costa e R.C. Viscovini

Departamento de Ciências, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Goioerê, PR, Brasil  
Recebido em 21/10/2008; Revisado em 31/3/2009; Aceito em 9/4/2009; Publicado em 12/10/2009

Nesse trabalho foi utilizada uma máquina fotográfica digital, com a função *multi-burst* (fotos tiradas em sequência) para analisar o movimento de queda livre e com os dados obtidos calcular o valor da aceleração da gravidade local. Para avaliar o experimento, foi também calculado um valor teórico para aceleração da gravidade local. Comparado com o obtido experimentalmente, foi possível observar um desvio pequeno, o que mostrou que a máquina fotográfica digital pode ser uma boa ferramenta pedagógica no ensino de física.

**Palavras-chave:** queda livre, aceleração da gravidade, máquina fotográfica digital.

In this work we used a digital camera, with multi-burst function (photos taken in sequence) to analyse the free fall motion and with the data obtained calculate the value of the local acceleration of gravity. To evaluate the experiment, was also calculated a theoretical value for the local acceleration of gravity. By comparing with that obtained experimentally, it was possible to observe a small deviation. That showed that the digital camera can be a good tool to aid pedagogical in the teaching of physics.

**Keywords:** free fall, acceleration of gravity, digital camera.

## 1. Introdução

A tecnologia está cada vez mais presente no nosso cotidiano e ao se pensar nela, é praticamente inevitável associá-la a vários recursos modernos que contam com o uso de sistemas eletrônicos de controle, telas de projeção, mecanismos de gravação de dados, entre outros, como computadores, câmeras, máquinas fotográficas digitais, etc. E esses materiais podem ser utilizados como recursos didáticos para auxiliar em práticas experimentais.

Nesse trabalho utilizou-se de uma máquina fotográfica digital, com a função *multi-burst* (fotos tiradas em sequência) para analisar o movimento de queda livre e com os dados obtidos foi calculada a aceleração da gravidade local.

A queda livre é um caso particular do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV).

No século IV a.C., Aristóteles afirmava que “o movimento para baixo de qualquer corpo pesado é tanto mais rápido quanto maior for seu tamanho”. Somente dezenove séculos mais tarde Galileu Galilei (1564-1642), cientista italiano da Renascença, proclamou e publicou a verdade sobre este assunto, que ele conseguiu descobrir, lançando mão de experiências, é que a autoridade

de Aristóteles sobre a questão foi seriamente abalada. Nos últimos anos de sua vida, Galileu escreveu um tratado, intitulado *Diálogo Sobre Duas Novas Ciências*, no qual apresenta seus estudos sobre os movimentos. Este tratado pode ser considerado como o marco inicial do estudo da cinemática [1].

Desde aquela época o movimento de queda livre de corpos tem sido estudado com grande precisão. Quando os efeitos do ar podem ser desprezados, todos os corpos em um dado local caem com a mesma aceleração, independente das suas formas e dos seus respectivos pesos. Quando a distância da queda livre é pequena em comparação ao raio da Terra, a aceleração é constante, ou seja, a velocidade varia linearmente com o tempo. A aceleração constante de um corpo em queda livre denomina-se “aceleração da gravidade”, e seu módulo é designado por  $g$ .

As equações do MRUV são bem conhecidas [1]. No caso da aceleração da gravidade  $a_y = g$  com  $y$  positivo para cima, obtém-se

$$v_y = v_{0y} - gt, \quad (1)$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2. \quad (2)$$

<sup>1</sup>E-mail: elidapm@gmail.com.

Neste trabalho foi estudado o movimento de queda livre utilizando uma máquina fotográfica digital, foi obtido o valor de  $g$  experimental e comparado com o valor teórico local, com a finalidade de avaliar o aparato experimental como ferramenta para uso didático.

## 2. Materiais e métodos

Foi utilizada uma torre metálica (185 cm) com escala de 10 cm, onde na parte superior estava preso um eletroímã ligado a uma fonte ajustável de alimentação elétrica com 6 V (Fig. 1). O eletroímã prendia o corpo em estudo e quando a alimentação era interrompida, simultaneamente acionava-se a máquina fotográfica digital *Sony P100* - modelo *Cyber-shot 5.1 mega pixels*, tinha início a queda do corpo e a sequência de fotos registrava o movimento com um intervalo de  $(1/30)$  s entre cada foto.

A máquina fotográfica encontrava-se em um tripé a 2,5 m da torre, tendo o cuidado de nivelar tanto a máquina fotográfica quanto a torre.

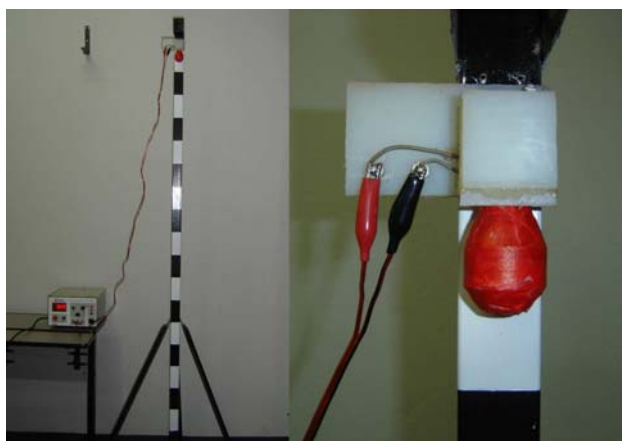


Figura 1 - Aparato experimental. a) Torre graduada com 185 cm de altura. b) Topo da torre com corpo preso ao eletroímã.

## 3. Resultados e discussão

A escala em frente a qual o experimento foi fotografado era de 10 cm em 10 cm, intercalando-se as cores em preto e branco. A sequência de imagens foi obtida pela máquina fotográfica no modo *multi-burst* com um intervalo de  $(1/30)$  s entre cada foto, para análise do movimento o intervalo de tempo considerado foi o utilizado pela máquina. Essa sequência de imagens foi analisada no editor de imagem *Paint (Windows)*, e colocada no modo de ampliação máxima e contou-se quantos pixels havia em 10 cm da escala (Fig. 2).

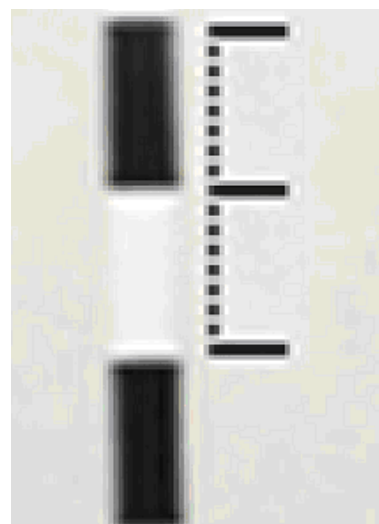


Figura 2 - Imagem onde é possível observar a relação de pixel/centímetro.

Com o editor de imagem verificou-se que em 10 cm estavam 17 pixels, foi então feita a relação de número de pixels com centímetros o que resultou em que 1 pixel  $\cong 0,59$  cm. Com isso e com uma análise detalhada de cada foto ampliada, foi possível obter as posições do objeto em queda livre em cada instante da queda.

A sequência de imagens obtidas pela máquina fotográfica no modo *multi-burst*, já com as posições medidas marcadas, encontra-se na Fig. 3.

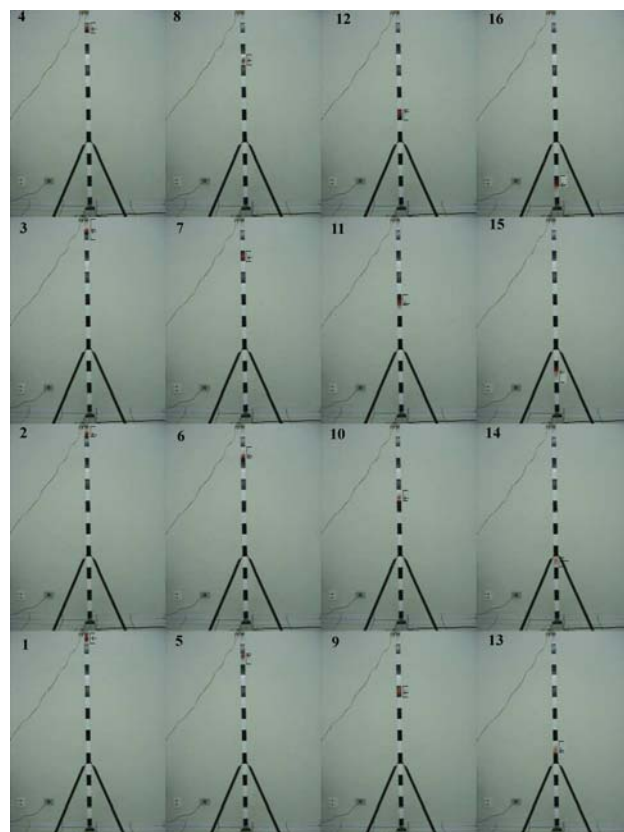


Figura 3 - Sequência de imagens obtidas pela máquina no modo *multi-buster*, mostrando o movimento de queda livre.

A Tabela 1 mostra o intervalo de tempo e a posição do objeto em cada foto, considerando o  $y$  inicial o ponto mais alto da escala.

Tabela 1 - Posição (m) do corpo em queda livre e intervalo de tempo correspondente (s).

Foto	$t$ (s)	$y$ (m)
1	0,033	0,053
2	0,067	0,083
3	0,100	0,123
4	0,133	0,165
5	0,167	0,224
6	0,200	0,283
7	0,233	0,365
8	0,267	0,459
9	0,300	0,559
10	0,333	0,677
11	0,367	0,789
12	0,400	0,924
13	0,433	1,083
14	0,467	1,235
15	0,500	1,400
16	0,533	1,577

Com os dados dessa tabela e utilizando a planilha eletrônica *Excel* (*Windows*), foi possível construir um gráfico (Fig. 4), de onde foi obtida por regressão polinomial a equação que representa o movimento de queda livre.

Com a equação obtida

$$y = 0,0451 + 0,2219.x + 4,9758.x^2, \quad (3)$$

podemos fazer uma analogia com equação do movimento de queda livre.

Comparando as Eqs. (2) e (3), lembrando que os dados obtidos experimentalmente consideraram o sentido positivo (crescente) do eixo- $y$  para baixo, podemos então concluir:

O valor teórico da aceleração da gravidade foi determinado pela seguinte equação fornecida pelo Observatório Nacional

$$g = \frac{9,7803267714 \cdot (1 + 0,00193185138639 \cdot \text{sen}^2 \mu)}{\sqrt{1 - 0,00669437999013 \cdot \text{sen}^2 \mu}} - 0,000003086 \cdot h, \quad (4)$$

onde  $\mu$  é a latitude do ponto sobre o modelo teórico da Terra e  $h$  é a altitude (em metros) sobre a superfície do modelo.

O modelo teórico considerado é o de um elipsóide de revolução com a mesma massa e a mesma velocidade angular reais da Terra. A primeira parcela do lado direito da equação refere-se à fórmula da gravidade teórica - ou normal - recomendada pela União Internacional de Geofísica e Geodésia, e é conhecida como a equação Somigliana. A segunda parcela é a estimativa teórica do gradiente vertical da gravidade. O sinal negativo é para levar em conta o afastamento em relação ao centro de massa do modelo de Terra, quando  $h > 0$ . O valor calculado pela equação é uma estimativa teórica de  $g$ .

Com essa equação o valor aproximado do  $g$  teó-

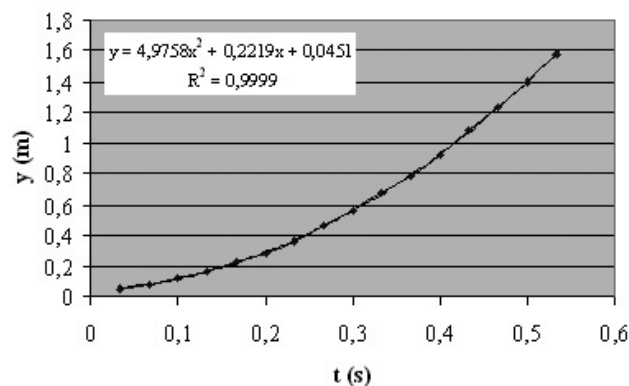


Figura 4 - Gráfico obtido a partir dos dados tabelados, que representa o movimento de queda livre.

$y_0 = 0,045$  m posição onde se encontrava o objeto quando foi tirada a primeira foto.

$v_{oy} = 0,22$  m/s é a velocidade do objeto, quando esse encontrava-se em  $y_0$ .

$g = 2 \times 4,98 = 9,95$  m/s<sup>2</sup> foi o valor aproximado obtido para a aceleração da gravidade a partir da regressão polinomial.

Maroja *et al.* [2] em seu artigo afirmam que os resultados teóricos mostram que o valor da aceleração da gravidade  $g$  não é constante, dependendo da altitude e da latitude bem como da morfologia local das rochas. Por esse motivo o valor teórico da aceleração da gravidade foi calculado utilizando um modelo matemático que leva em conta essas variáveis.

A latitude e altitude foram obtidas no sítio Astronomia Urbana [3], para a cidade de Goioerê, PR, onde foi desenvolvido o experimento. Temos: latitude =  $-24^\circ 11' 05''$  (Sul) e altitude = 505 m.

rico obtido para a cidade de Goioerê - PR foi de  $g = 9,78$  m/s<sup>2</sup>.

Comparando os valores da aceleração da gravidade, teórico e o obtido experimentalmente, temos

$$g_{\text{exp.}} = 9,95 \text{ m/s}^2 \text{ e } g_{\text{teórico}} = 9,78 \text{ m/s}^2.$$

É possível notar uma diferença relativamente pequena entre os dois valores. O erro relativo entre o valor teórico e o valor experimental foi de aproximadamente 1,74%. O que mostra que a máquina fotográfica digital pode ser uma boa ferramenta de auxílio nas aulas

experimentais de física.

Os problemas que podem ter contribuído para esse desvio foram:

- A dificuldade de simultaneamente acionar a máquina e desligar a fonte de alimentação;
- Resolução da imagem adquirida pela máquina fotográfica era fixa não sendo possível melhorá-la, o que dificultou trabalhar com a imagem.

#### 4. Conclusões

Com uma máquina fotográfica digital e uma aparelhagem simples é possível apresentar didaticamente o movimento de queda livre, possibilitando aos acadêmicos aprenderem experimentalmente a

cinemática do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) e a matemática associada (regressão polinomial e erros).

#### Referências

- [1] D. Halliday, R. Resnick e K.S. Krane, *Física 1* (Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2003), 5<sup>a</sup> ed.
- [2] A.M. Maroja, M.F.C. Viturino e S.P. Jefferson, in *XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física 1*, disponível em [snef/xvi/cd/resumos/T0297-1.pdf](http://snef/xvi/cd/resumos/T0297-1.pdf), acessado em 02/09/2008.
- [3] Site Astronomia Urbana <http://paginas.terra.com.br/educacao/Astronomia/latPR.html>, acessado em 02/09/2008.