

# materiais e métodos

MOVIMENTO DE UM PROJÉTIL - UM NOVO EQUIPAMENTO PARA LABORATÓRIO DE ENSINO

K.R. Juraitis, A. Tannous, S.M. Arruda, E.R.M. Juraitis  
Universidade Estadual de Londrina

J. Scarmínio  
Universidade Federal do Espírito Santo

## INTRODUÇÃO

O equipamento aqui descrito é usado nos laboratórios de Ensino do Departamento de Física da UEL, para os alunos dos cursos de Física, Química, Matemática e Engenharia na disciplina de Física Geral e Experimental I.

O equipamento consiste de um canhão de mola para lançar esferas de aço, um anteparo e um cronômetro digital com precisão de 0.01 segundo.

O número de informações obtidas permitem a compreensão do assunto "Movimento em duas dimensões" descrito pelo livro do Halliday-Resnick<sup>(1)</sup>.

A idéia surgiu a partir do artigo de D.M. Baldwin no qual<sup>(2)</sup> introduzimos uma série de modificações.

Para testarmos o equipamento separamos aleatoriamente um grupo de alunos do primeiro período de engenharia, ao qual apresentamos a experiência antes do tratamento teórico.

Observamos um rendimento significativamente maior na turma em que o equipamento foi utilizado.

## DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

Na fig. 1, pode-se observar o esquema do equipamento, que permite dar uma idéia mais objetiva do equipamento. As funções e o material utilizado em cada parte estão relacionados a seguir:

**Canhão de molas:** Consiste de um tubo de paviflex contendo um êmbolo com mola, para o lançamento de esferas de aço, e o conjunto é preso a um suporte que permite dar a inclinação desejada (fig. 2). Na extremidade final do tubo prendem-se dois fios de aço para o contacto

elétrico do cronômetro.

*Anteparo alvo:* Consiste de uma tábua presa verticalmente num suporte. O mecanismo de contacto elétrico é efetuado através de uma fina haste de aço que, com a perturbação provocada pelo choque da esfera, fecha o circuito do cronômetro (fig. 3). A posição que a esfera bate é marcada através de papel carbono.

*Cronômetro digital:* É um cronômetro construído pela Radionave Industrial Eletrônica S.A. Modelo (9/100), com uma pequena modificação, que consiste de dois plugs tipo macho-fêmea que ligam e desligam o cronômetro, fechando o circuito. O cronômetro digital permite registrar o tempo com uma precisão de 0.01 segundo.

#### UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

O equipamento não necessita ser calibrado e para se determinar aproximadamente a altura e o alcance da trajetória, faz-se primeiro o lançamento da esfera. Em seguida, divide-se o comprimento do alcance em aproximadamente dez posições equidistantes e coloca-se o alvo em cada uma delas. Para cada lançamento, consegue-se medir o alcance em  $x$ , a altura  $y$  e o tempo  $t$  que o projétil leva para percorrer desde a boca do canhão até o alvo. De posse desses dados pode-se construir os gráficos de  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$  e  $y = Y(x)$ . Os gráficos obtidos podem ser observados na fig. 4.

A fim de melhorar a precisão dos dados fizemos cinco medidas para cada lançamento e tiramos as respectivas médias.

#### TEORIA E RESULTADOS

O movimento de um projétil, que esteja ao longo de sua trajetória, submetido apenas a força gravitacional e desprezando-se o atrito, descreverá uma parábola, cuja equação é dada por:

$$y = y_0 + \operatorname{tg} \theta_0 x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} x^2 \quad (1)$$

onde:  $y_0$  = altura inicial do projétil em relação ao eixo de referência.

$\theta_0$  = inclinação do canhão em relação à horizontal.

$v_0$  = velocidade inicial do projétil.

$g$  = aceleração da gravidade.

O gráfico experimental correspondente a esta equação pode ser visto na fig. 4.

Uma das prováveis dificuldades didáticas seria o entendimento da decomposição do movimento segundo os eixos vertical Y e horizontal X e cujas equações em função do tempo são as seguintes:

$$y = y_0 + v_0 \operatorname{sen} \theta_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (2)$$

$$x = v_0 \cos \theta_0 t \quad (3)$$

Elas correspondem a um movimento uniformemente variado segundo o eixo Y, e movimento uniforme segundo o eixo X.

O alcance pode ser deduzido a partir das equações acima relacionadas e tem o valor de:

$$R = \frac{v_0^2}{g} \left[ \operatorname{sen}^2 (2\theta_0) + \frac{8gy_0}{v_0^2} \cos^2 \theta_0 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Os resultados experimentais mostram claramente a sua concordância com a teoria. Consideramos os seguintes dados iniciais:

$$\theta_0 = 38^\circ$$

$$y_0 = 21.0 \text{ cm}$$

$$R = 379.0 \text{ cm}$$

Do gráfico de  $x = X(t)$ , podemos facilmente obter o valor da velocidade inicial usando a expressão (3) resultando

$$v_0 = 579.2 \text{ cm/s}$$

Podemos comprovar claramente que o movimento segundo o eixo X é uniforme, pois a curva obtida é claramente linear.

De posse dos dados acima, podemos calcular o valor da aceleração da gravidade g a partir da equação (4) do alcance R, resultando ser:

$$g = 982,6 \text{ cm/s}^2$$

Comparando esse resultado com o valor obtido em outras experiências, mostra-se coerente como se pode ver na tabela (1).

Com os dados acima obtidos, calculamos os coeficientes das curvas teóricas, resultando:

$$y = 21.0 + 0.781 x - 0.002358 x^2 \quad (5)$$

$$x = 456.4 t \quad (6)$$

$$y = 21.0 + 356.6 t - 491.3 t^2 \quad (7)$$

Comparando estas curvas com os resultados experimentais, podemos ver claramente a sua concordância com a teoria (fig. 4).

Para um dado equipamento, usando todas as condições iniciais iguais, os resultados obtidos são praticamente os mesmos. No teste do equipamento, usamos três equipes de laboratório. Os resultados pelas diferentes equipes mostrou uma discrepância menor que 1%.

### TESTE DO EQUIPAMENTO

Usamos um grupo de alunos do primeiro período de engenharia para testar o equipamento. O nível de conhecimento estipulado foi o do livro Halliday-Resnick. Fizemos um teste prévio que permitiu avaliar o conhecimento inicial dos alunos resultando num rendimento de 18%. Em seguida separamos aleatoriamente o grupo inicial (18 alunos) em duas turmas. Para a primeira turma ministramos uma aula convencional sobre o assunto, ou seja, exposição teórica e resolução de problemas. A segunda turma usou em primeiro lugar o equipamento, sendo dividida em três equipes, e em seguida fizemos uma breve exposição do assunto. Aplicamos o teste final no mesmo nível do pré-teste. Como resultado observamos um rendimento maior (77%) na turma que usou o equipamento, quando comparada com a que não usou (57%).

Ambas as avaliações, tanto o pré-teste quanto o teste final, seguiram os mesmos objetivos operacionais e foram divididas em duas partes, ou seja, um teste objetivo conceitual valendo 20 pontos e resolução de problemas valendo 30 pontos. Dos valores médios de acertos dos alunos, obtivemos as porcentagens (tabela 2).

### CONCLUSÕES

O equipamento é bem aceito pelos alunos visto os resultados que com ele podem ser obtidos, e o fato de não exigir calibração prévia simplifica a sua montagem e uso.

Os gráficos da figura 4 foram obtidos por uma das equipes do grupo experimental. Verificou-se que o número ideal de alunos por equipe é três pois com um número inferior o trabalho torna-se moroso e com um número superior alguns permanecem ociosos.

Um resultado interessante foi o de que o grupo experimental, que não teve resolução de problemas em classe, resolveu um número

maior de problemas do que o grupo teórico (tabela 2). O número de questões conceituais respondidas pelos dois grupos foi praticamente o mesmo.

Outro aspecto observado foi que os alunos que desistiram pertenciam ao grupo teórico.

Devemos ressaltar que, devido ao pequeno número de alunos que se submeteram ao teste, é difícil fazer uma avaliação estatística melhor dos resultados didáticos. Porém, é possível perceber qualitativamente o interesse e desempenho dos mesmos.

## REFERÊNCIAS

- (1) Halliday-Resnick - Física, Vol. 1-1, Cap. 4, (19 )
- (2) D.M. Baldwin - The Phys. Teacher 15, 7 (1977)
- (3) J.C. Baiera - The Phys. Teacher 16, 1 (1978)

## FIGURE CAPTIONS

*Figura 1* - Esquema geral do equipamento.

*Figura 2* - Desenho esquemático do canhão de molas.

*Figura 3* - Desenho esquemático do alvo.

*Figura 4* - Gráficos do movimento. (a) Gráfico da trajetória onde a linha cheia representa a curva teórica e os pontos em cruz representam os valores experimentais. (b) Gráfico do espaço X em função do tempo. (c) Gráfico do espaço Y em função do tempo.

*Tabela 1* - Cálculo da aceleração da gravidade local, através de diferentes técnicas.

*Tabela 2* - Porcentagem de acertos nos testes de avaliação.

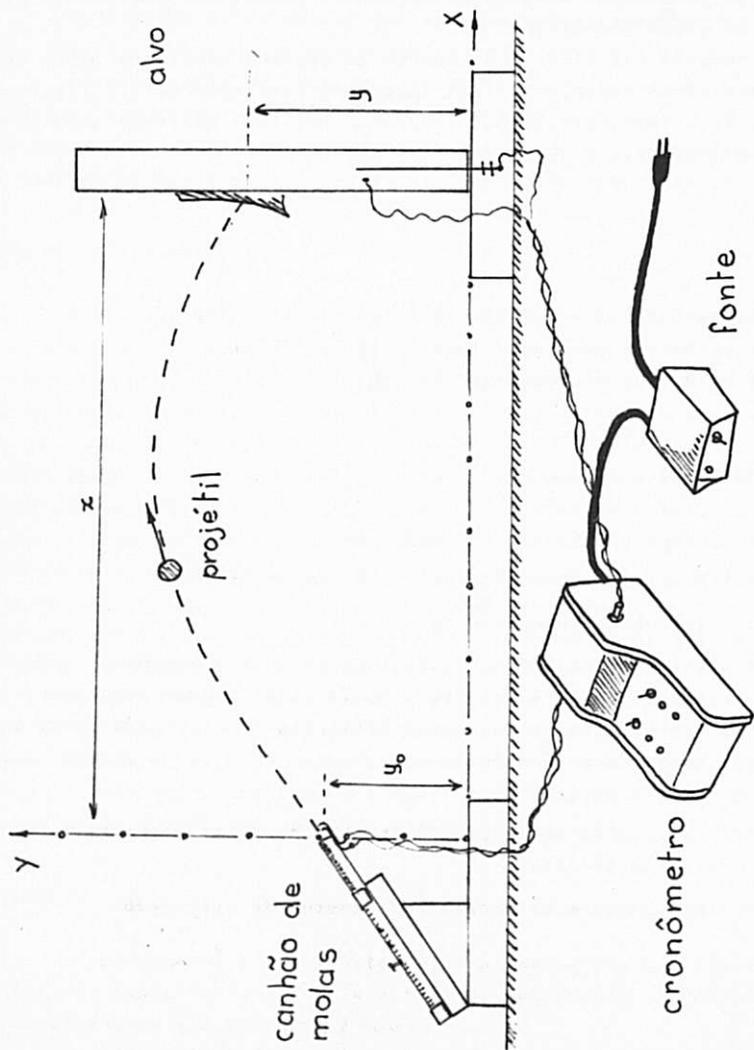


fig. 1

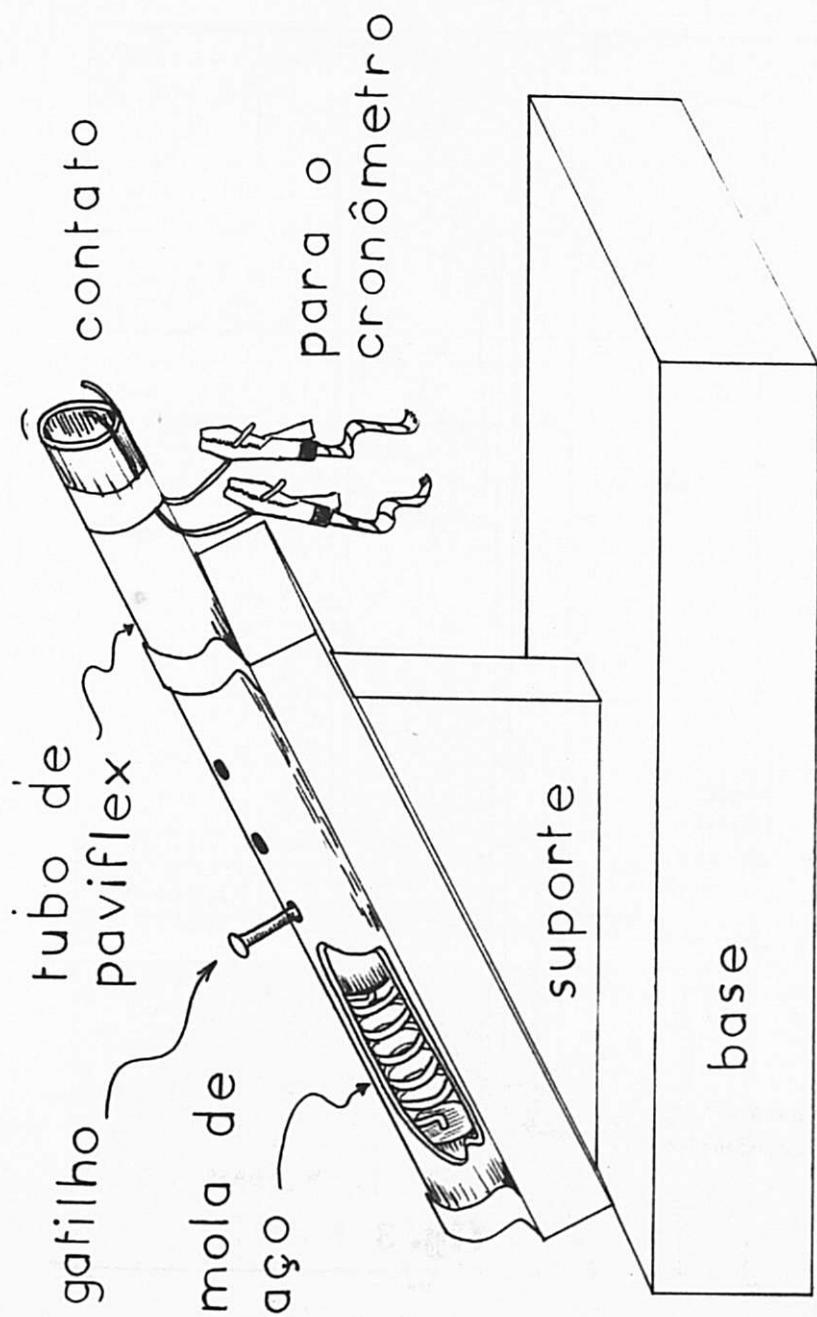
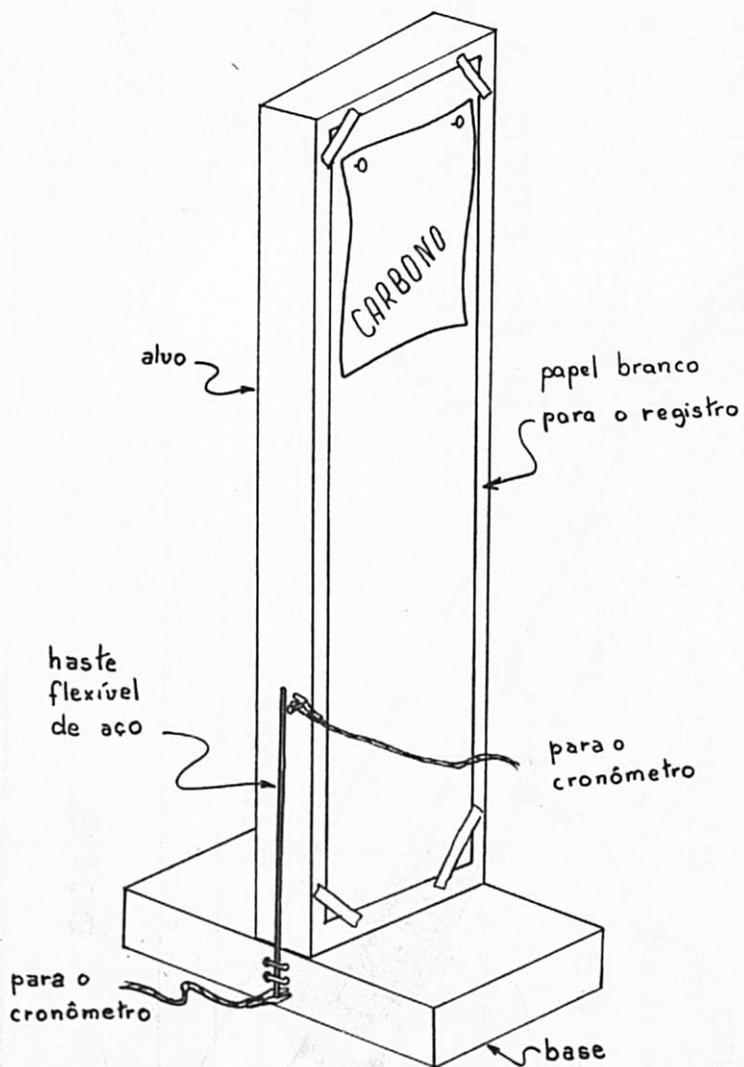
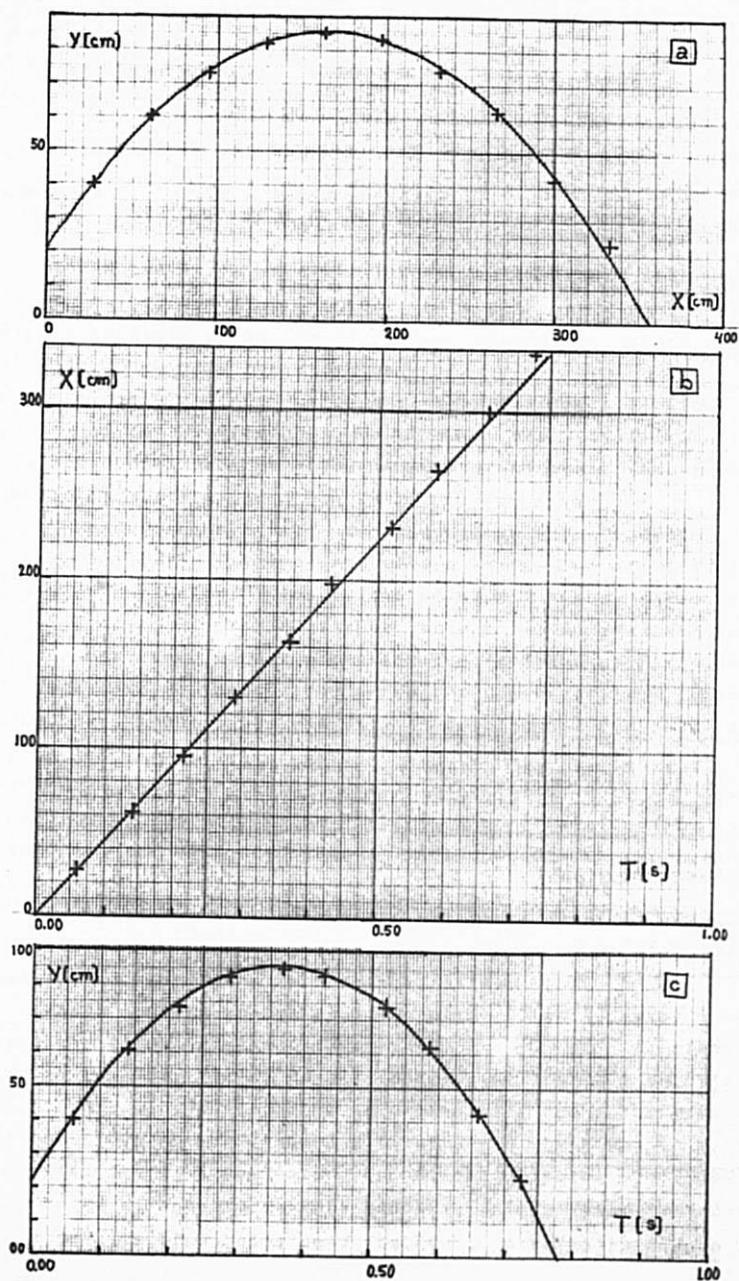


fig.2



**fig. 3**



**fig. 4**

EXPERIÊNCIAS	ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE
Balística	9.82 m/s <sup>2</sup>
Pêndulo simples	9.91 m/s <sup>2</sup>
Plano inclinado sem atrito	9.60 m/s <sup>2</sup>

TABELA 1

<u>AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS</u> (porcentagem de acertos)		Turma com Laboratório	Turma sem Laboratório
Número de alunos		9	9
Pré-teste		18 %	
Teste final	Conceitual	84%	70%
	Problemas	73%	48%
	Total	77%	57%

TABELA 2