
PRODUÇÃO DE FOTOGRAFIAS ESTROBOSCÓPICAS SEM LÂMPADA ESTROBOSCÓPICA^{†*}

Marco Adriano Dias
Fundação CECIERJ – RJ
Helio Salim de Amorim
Susana de Souza Barros
Instituto de Física – UFRJ
Rio de Janeiro – RJ

Resumo

A maioria dos alunos do Ensino Médio tem na cinemática o primeiro contato com a Física. Para sua compreensão, é necessária a quantificação conceitual, o que não é trivial, e por isso dificilmente executada em sala de aula. Dentre as possíveis técnicas que permitem fazer medidas precisas, a fotografia estroboscópica tem sido uma solução utilizada em que pese às dificuldades com a aplicação da técnica. Para circundar esses problemas, é apresentada uma solução para a obtenção de fotografias estroboscópicas digitais de qualquer movimento, baseada em dois acessórios atualmente bem difundidos e de baixo custo: a câmara fotográfica digital com recurso para vídeos curtos, de uso amador, e um computador do tipo PC com softwares de acesso gratuito, basicamente o VirtualDub e o ImageJ. A leitura dos dados, que pode ser feita de forma analógica ou digital, fornece excelentes resultados, como mostrado nos exemplos apresentados.

Palavras-chave: *Ensino de Física; novas tecnologias; recursos audiovisuais; fotografia estroboscópica digital.*

[†] Production of stroboscopic photographs without the use of a stroboscopic lamp

* *Recebido: março de 2009.*
Aceito: julho de 2009.

Abstract

Most High School Physics programs begin with the study of motion. In order to understand the basic concepts it is necessary to quantify phenomena, which is not trivial, so, seldom used in the school classroom. Within the techniques that allow the necessary precise time measurements, the stroboscopic photography has been a good solution, in spite of the requirement of equipment such as a special lamp and the use of analogical photography or, alternatively, of a Polaroid camera that gives immediate results. A possible answer is to produce stroboscopic digital pictures of motions, using two accessories at the disposal of most teachers and at very low cost: a digital camera, to produce a video of the phenomenon in study and a PC Computer together with a free software, VirtualDub and ImageJ to produce the stroboscopic picture. The data for analysis may be obtained in analogical or digital format, show good quality, as seen in the examples presented.

Keywords: *Physics teaching; new technologies; audiovisual resources; stroboscopic digital picture.*

I. Introdução

Pesquisas realizadas ao longo de mais de duas décadas mostram que a instrução convencional em Física, que prioriza o formalismo matemático, não facilita aos alunos a compreensão qualitativa dos conceitos. Estes são geralmente apresentados de forma simbólica para os alunos que têm dificuldades para a sua compreensão, e precisam extrair informações a partir das situações experimentais. Dessa forma, a utilização de imagens representativas dos fenômenos pode facilitar a identificação das grandezas físicas relevantes e de suas relações, levando o aluno a estabelecer os modelos físicos (COLINVAUX; BARROS, 2000).

Nas experiências de cinemática, a medida de tempo foi sempre problemática e, assim, se fez necessário introduzir instrumentos mais sofisticados. Por exemplo, nos anos 60, relógios elétricos ligados a chaves, que ligam e desligam acionadas pela passagem do móvel, foram introduzidos pelos fabricantes de equipamentos didáticos. O trilho de ar foi criado na década de 70 pela Ealing (EUA) e o estudo da cinemática melhorado devido às vantagens introduzidas, tais como a

minimização do atrito e a introdução do centelhador eletrônico, que registra, através de faíscas, a posição instantânea do móvel num papel termossensível. Atualmente, usam-se células fotoelétricas associadas à interface de um computador, possibilitando o processamento *on-line*. Entretanto, o uso desses equipamentos foi possível somente nas poucas instituições que possuíam laboratórios e condições de adquiri-los.

O estroboscópio foi também utilizado para a medida de intervalos curtos de tempo em várias aplicações no ensino da Física. Entre os exemplos mais conhecidos estão as aplicações na cinemática e no estudo de colisões. Nesses casos, as fotografias revelam aspectos qualitativos do movimento dos corpos, ou de um sistema de corpos, e podem ser utilizadas para estudos quantitativos. Houve, porém, dificuldades técnicas e econômicas que impediram a popularização dessa técnica no ensino, já que requer o uso de câmaras fotográficas para filme, ou câmaras Polaroid, uma fonte de luz estroboscópica e uma sala escurecida. Cada um desses itens apresenta dificuldades e/ou custos relativamente altos. Num trabalho recente, Rosa et al. (2004) propõem uma solução interessante para a construção de uma lâmpada estroboscópica. Em que pese seus aspectos pedagógicos relevantes, a solução ali apresentada pode oferecer dificuldades de execução para os professores. A seguir, discute-se uma solução para a obtenção de fotografias estroboscópicas de qualquer tipo de movimento, baseada em dois acessórios atualmente bem difundidos e de baixo custo, a saber: a câmara fotográfica digital, de uso amador, e um computador do tipo PC com alguns *softwares* de acesso gratuito, apresentados na próxima seção, *VirtualDub*¹ e *ImageJ*².

Existem hoje softwares avançados, por exemplo, o *Tracker*³, que incorporam ferramentas analíticas poderosas para o estudo dos movimentos. A posição pedagógica dos autores é que o aluno participe da construção e da análise dos dados experimentais, utilizando o método descrito neste trabalho. É importante lembrar que no Ensino Médio o professor tem que assegurar que o aluno trabalhe também de forma analógica, saiba fazer medidas com régua, escolher e fazer conversão de escalas, montar tabelas, traçar gráficos e obter resultados que permitam a confrontação com os modelos teóricos ensinados em sala de aula. Esse fazer

¹ Disponível em: <<http://www.virtualdub.org/index>>. Acesso em: 13 jan. 2008.

² Disponível em: <<http://rsb.info.nih.gov/ij/>>. Acesso em: 13 jan. 2008.

³ Disponível em: <<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>>. Acesso em: 13 jan. 2008.

deve ser anterior à utilização de recursos computacionais mais avançados. A possibilidade de confrontação com modelos teóricos idealizados do fenômeno em estudo dá oportunidade para que o professor discuta os conceitos físicos. Sendo essas ferramentas de qualidade indiscutível, os recursos oferecidos são apropriados para um ensino de Física mais aprofundado, quando a análise dos resultados é o que interessa. Para o aluno do Ensino Médio, os recursos proporcionados por programas mais sofisticados, que praticamente fazem tudo pelo aluno, transformam não somente o computador em ‘caixa preta’, como também não contribuem para que os conceitos físicos sejam compreendidos.

II. Descrição do método

O método tem por objetivo produzir uma fotografia estroboscópica de um fenômeno físico que se deseja trabalhar em sala de aula. Utiliza-se para isso uma câmara fotográfica digital com recursos para filmar vídeos de curta duração (alguns segundos) e transformá-lo numa imagem estroboscópica com ajuda de dois programas, de livre acesso, no computador. A maioria das câmaras fotográficas digitais possui hoje esse recurso, diferindo apenas quanto à sua capacidade de gravação. Com a câmara no modo vídeo filma-se a sequência desejada. Após a gravação, o vídeo é transferido para o computador e trabalhado através de dois programas: *VirtualDub* e *ImageJ*, ambos de acesso gratuito.

Como num filme, o vídeo digital é constituído de uma sequência de fotos (fotogramas) digitais feitas em intervalos de tempo fixo. O padrão utilizado na maioria das câmaras atuais é de 15 ou 30 fotogramas por segundo. Com o *VirtualDub*, pode-se selecionar o trecho desejado e decompor a sequência em fotogramas individuais, onde cada um destes revela uma cena do movimento e o seu conjunto fica ordenado temporalmente. Por sua vez, o *ImageJ* permite superpor todas as fotogramas numa única foto, obtendo-se uma autêntica fotografia digital estroboscópica do movimento.

O processo é apresentado através de um exemplo prático cujo objetivo é obter uma fotografia estroboscópica do movimento de um corpo denso em queda livre. A fotografia permite estudar as equações horárias do movimento. No exemplo apresentado, utiliza-se uma bolinha amarela de plástico (massa = 35g e diâmetro = 5,0cm). A câmara é fixada sobre um tripé. Câmara e tripé são posicionados a três metros de distância de uma parede escura que serve de fundo. Procedese ao enquadramento prévio do cenário e o início da filmagem. No cenário, a esfera é abandonada a partir do repouso de uma altura de aproximadamente 2 m. Toda a gravação feita não ultrapassa os 30 segundos de duração, apesar de o acio-

namento da câmara e o lançamento da bola serem feitos pelo próprio experimenter.

O arquivo com o vídeo é transferido da câmara para o PC. O primeiro tratamento consiste em selecionar no vídeo a sequência específica do movimento de queda da bola, e em seguida sua decomposição em fotogramas individuais. Usa-se, para isto, o programa *VirtualDub*. No exemplo tratado, são obtidos 27 fotogramas para toda a sequência de queda. A configuração da máquina utilizada é 30 fotogramas por segundo, logo o intervalo de tempo entre dois fotogramas sucessivos é de $1/30$ s e o tempo de queda é $\Delta t_{queda} = 27 \times (1/30) \text{ s} = 0,9 \text{ s}$.

A segunda etapa consiste em superpor os 27 fotogramas selecionados em uma única foto, o que é feito com o programa *ImageJ*, cujo resultado é apresentado na Fig. 1(a).

Para a análise do movimento registrado na foto, podem-se usar dois procedimentos básicos:

(I) Imprimir a foto, ou apenas a parte da foto que interessa, como na Fig. 1(b), e medir as posições com auxílio de uma régua. Nesse caso, as coordenadas são relativas a uma origem arbitrária tomada sobre a trajetória. Para cada coordenada espacial é associado um instante de tempo t que é múltiplo inteiro de uma quantidade fixa (esse tempo é o inverso da frequência em que os fotogramas são produzidos, $\Delta t = 1/30$ s). Nesse caso, o aluno poderá determinar a aceleração da gravidade. No caso da Fig. 1(b), foi utilizada a referência de escala de 2,0m para a trajetória mostrada na figura. A informação da filmagem do vídeo, 30 fotogramas por segundo, permite determinar o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas na foto. O valor da aceleração da gravidade obtido foi $g = (9,74 \pm 0,05) \text{ m/s}^2$.

(II) Analisar a foto no próprio PC, uma das vantagens da fotografia digital. Existem vários programas, bem difundidos e de fácil acesso (veja, por exemplo, o *PAINT* da Microsoft) que podem ser usados nessa etapa, mas pode-se usar o próprio *ImageJ*, que dispõe de uma grande quantidade de recursos para tratamento de imagens. A tarefa consiste em usar a *régua virtual* para obter as coordenadas de cada posição da bolinha na própria foto: no *ImageJ*, ao movimentar o cursor sobre a foto, podem-se ler, abaixo da barra de ferramentas, as coordenadas do cursor em coordenadas arbitrárias. Nesse sistema de coordenadas, a origem é um dos vértices da foto e os eixos x e y são paralelos aos lados da foto. Se a trajetória da bolinha estiver alinhada a um dos lados da foto, será necessário apenas o registro de uma das coordenadas (x,y). Se nenhum processo de calibração é aplicado, essas coordenadas representam as coordenadas de um *pixel* (aglutinação das palavras inglesas *picture* e *element*) da foto.

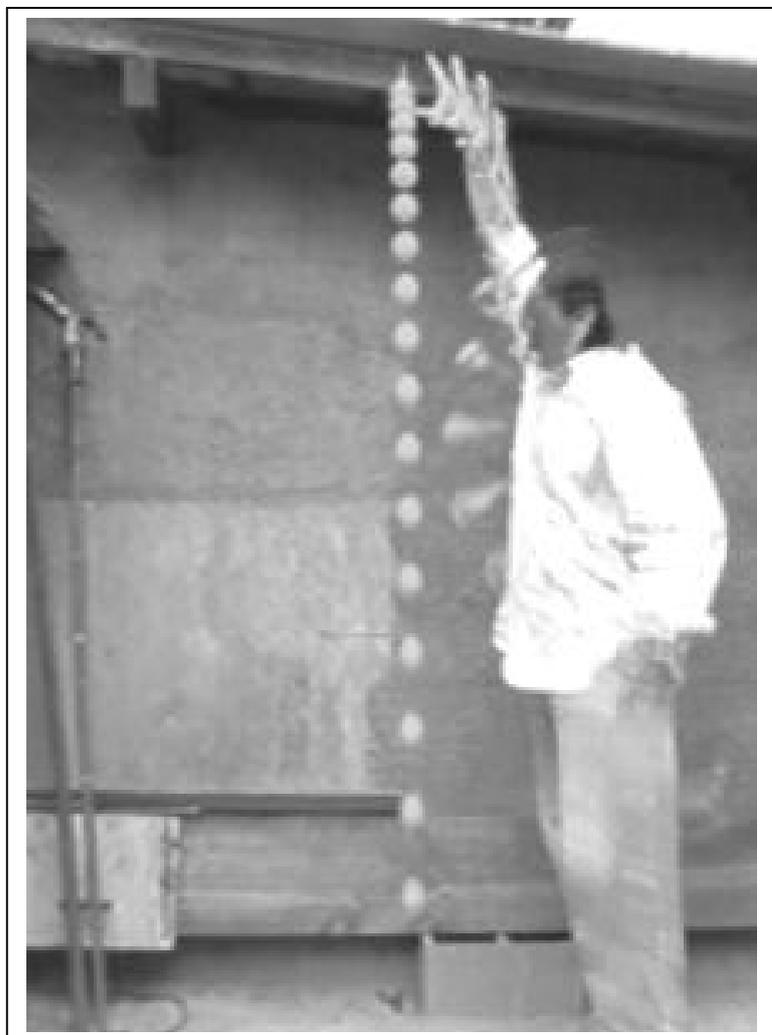


Fig. 1a – Fotografia estroboscópica do movimento de queda livre de uma bola de plástico (massa = 35 g e diâmetro = 5,0 cm). A distância percorrida pela bola na fotografia foi de aproximadamente 2,0 m.



Fig. 1b – Com o programa ImageJ é possível fazer uma seleção contendo apenas o registro do movimento. Essa fita pode ser usada para ampliação e impressão e é facilmente reproduzível para uso dos alunos.

O resultado das medidas obtidas com unidades arbitrárias (procedimento II) está representado nos gráficos da Fig. 2. A Fig. 2(a) mostra a equação horária da posição. A linha tracejada é o resultado do ajuste de um polinômio de segunda ordem, via *método dos mínimos quadrados* (VUOLO, 2005) (R (fator de correlação) = 0,9996), indicando que o movimento de queda livre é um movimento uniformemente variado. A Fig. 2(b) apresenta o gráfico da velocidade (calculado como $\Delta y / \Delta t$, para cada intervalo), adequadamente descrito por uma relação linear (linha tracejada).

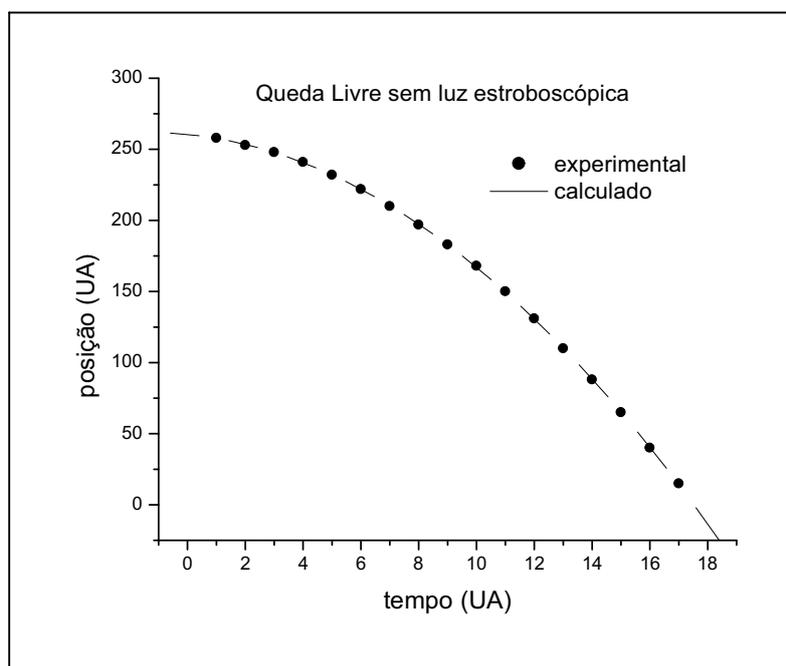


Fig. 2a – Gráfico posição \times tempo para o movimento de queda registrado na Fig. 1. A coordenada vertical (y) foi tomada relativa à própria foto, com auxílio do ImageJ. A linha tracejada representa um polinômio de segunda ordem, ajustado aos pontos experimentais através do método dos mínimos quadrados (R (fator de correlação) = 0,9996).

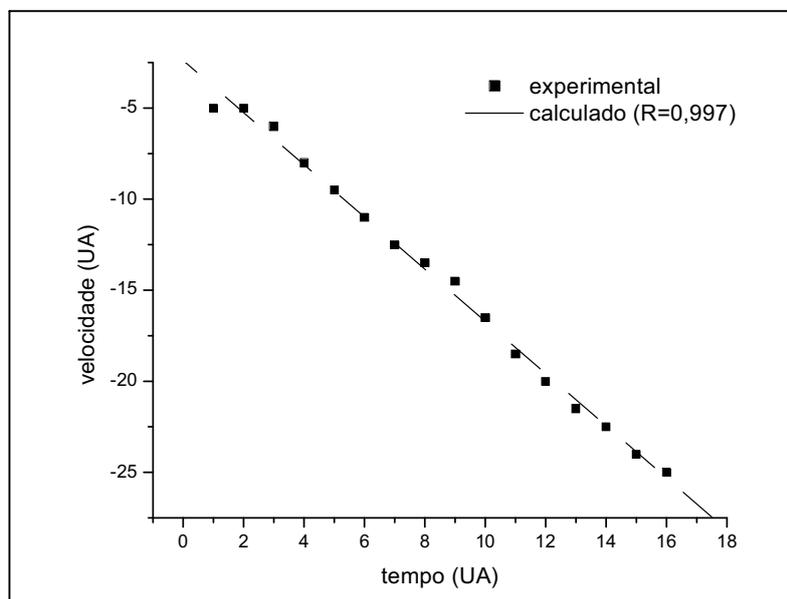


Fig. 2b – Gráfico velocidade instantânea x tempo; os pontos experimentais foram determinados tomando-se a velocidade média para cada intervalo. A linha tracejada representa uma função linear ajustada aos pontos experimentais através do método dos mínimos quadrados (R (fator de correlação) = 0,997). Os resultados obtidos em ambos os gráficos são perfeitamente consistentes com a cinemática da queda livre dos corpos.

III. Determinação da aceleração da gravidade

Se o objetivo for determinar a aceleração da gravidade, de forma a poder comparar com os valores tabelados, devem-se calibrar as distâncias medidas. Em outras palavras, é preciso conhecer qual a relação entre uma distância medida diretamente na foto e a distância efetiva correspondente no plano do movimento. Isso pode ser facilmente realizado colocando-se dois marcos numa posição próxima ao plano de movimento, com uma distância de separação pré-determinada, conforme feito na Fig. 3. Com os marcos registrados na fotografia estroboscópica, a conversão de distâncias medidas sobre a foto em distâncias efetivas no plano de movimento é obtida por simples regra de três.



Fig. 3 – Fotografia estroboscópica do movimento de queda livre de uma pequena esfera branca contra um fundo escuro. A baixa luminosidade do cenário força automaticamente um ajuste do tempo de acumulação (ver item (a) na seção de Discussão) para a formação de cada fotograma. Com o aumento do tempo de acumulação é possível ver o deslocamento da esfera, como um rastro cujo comprimento é proporcional à velocidade. Na figura, os marcos brancos, cuja distância real é 1,0 m, servem como referencial de escala para determinar um parâmetro efetivo do movimento, a aceleração da gravidade.

A Fig. 4(a) apresenta uma esfera preta sobre um fundo branco resultando num cenário com maior luminosidade. Com essa mudança, elimina-se o efeito do corrimento da imagem observado na Fig. 3. A Fig. 4(b) mostra o gráfico *posição x tempo*, construído em coordenadas efetivas, ao contrário do gráfico análogo da Fig. 2(a), construído com coordenadas lidas diretamente da foto. A origem adotada neste caso não é a posição inicial da esfera. Para esta origem, a velocidade inicial da esfera é não nula. Pelo método dos mínimos quadrados, pode-se obter a equação horária da posição para o movimento uniformemente acelerado,

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2,$$

permitindo fazer uma medida de g no local da queda.

O valor encontrado foi $g = 9,90(8) \text{ m / s}^2$, em bom acordo com os valores tabelados nos livros didáticos usuais.

IV. Outros exemplos

As possibilidades de estudo de fenômenos com a fotografia estroboscópica são muitas. A seguir são apresentados alguns exemplos de situações físicas tratadas mais comumente em sala de aula.

1) Um exemplo de movimento bidimensional é o *problema do lançamento de projéteis*. Se o projétil lançado for extenso é possível analisar o movimento do seu centro de massa (CM) com auxílio de fotografias estroboscópicas. Nesse caso, foi utilizado como projétil um halter de plástico, com uma tarja preta sobre o centro de massa (Fig. 5(a)). O lançamento foi feito de forma a imprimir uma rotação no impulso inicial dado ao halter. O movimento resultante, composição da translação e rotação em torno do CM, é complexo e difícil de descrever. Porém, o movimento do CM se comporta como uma partícula. O resultado pode ser visto na Fig. 5(b).

Medindo as coordenadas relativas (x,y) do CM com auxílio do *ImageJ*, ou analogicamente com uma régua, pode-se construir o gráfico mostrado na Fig. 6(a). Nesse caso não foi medido o tempo, mas apenas as coordenadas espaciais. A linha tracejada corresponde a um polinômio do segundo grau, ajustado aos pontos experimentais através do método dos mínimos quadrados ($R = 0.9999$). Verifica-se, desse modo, a independência do movimento do CM em relação à rotação, como se toda a massa do altere estivesse ali concentrada. Por sua vez, as medidas da coordenada x (eixo horizontal) em função do tempo (t) permitem construir o gráfico da Fig. 6(b), que mostra que ao longo do eixo horizontal o movimento é uniforme.

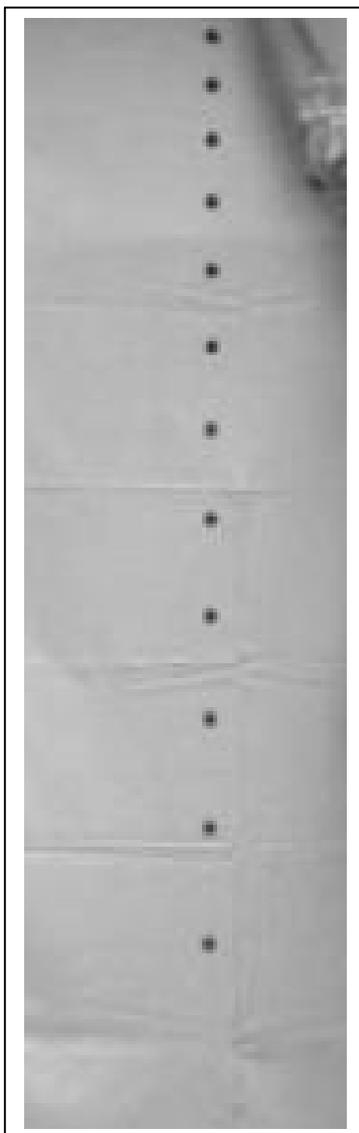


Fig. 4a – Fotografia estroboscópica do movimento de queda livre de uma pequena esfera preta contra um fundo claro. O aumento de luminosidade no cenário diminui correlativamente o tempo de acumulação para a formação de um fotograma. O efeito de corrimento observado na Fig. 3 não é observado aqui.

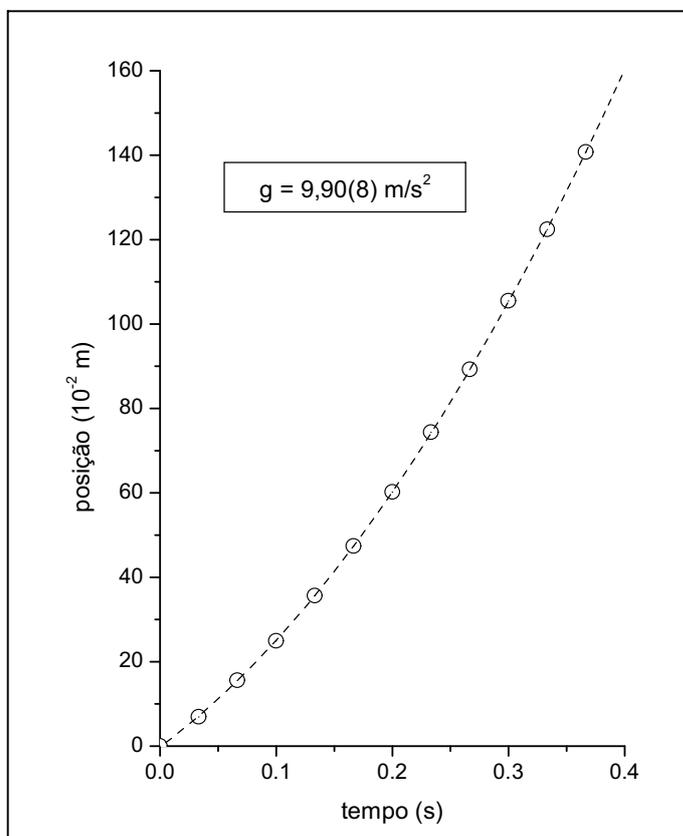


Fig. 4b – A linha tracejada representa um polinômio do segundo grau ajustado pelo método dos mínimos quadrados. O valor da aceleração da gravidade (g) obtido é de $(9,90 \pm 0,08) \text{ m/s}^2$, em boa concordância com o valor tabelado. Nesse caso, na origem adotada a bolinha já possuía velocidade.

2) Para mostrar a independência da aceleração de queda livre dos corpos com relação à massa duas bolinhas de massas diferentes foram lançadas simultaneamente da mesma altura. O resultado é observado na Fig. 7.

O aspecto mais curioso desse exemplo fica por conta da dificuldade de se sincronizar o lançamento manual dos dois corpos. Nesse caso, a sensibilidade da fotografia estroboscópica é capaz de revelar uma mínima perda de sincronismo. Por outro lado, a facilidade do sistema digital fica em evidência, uma vez que todo

o processo permite realizar muitos testes de forma rápida. Vê-se aqui uma boa oportunidade de provocar os alunos para um debate animado em sala de aula.

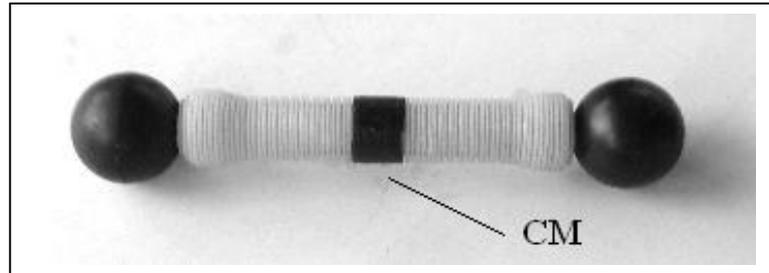


Fig. 5a – Halter de plástico com uma tarja preta indicando a posição do seu centro de massa CM.

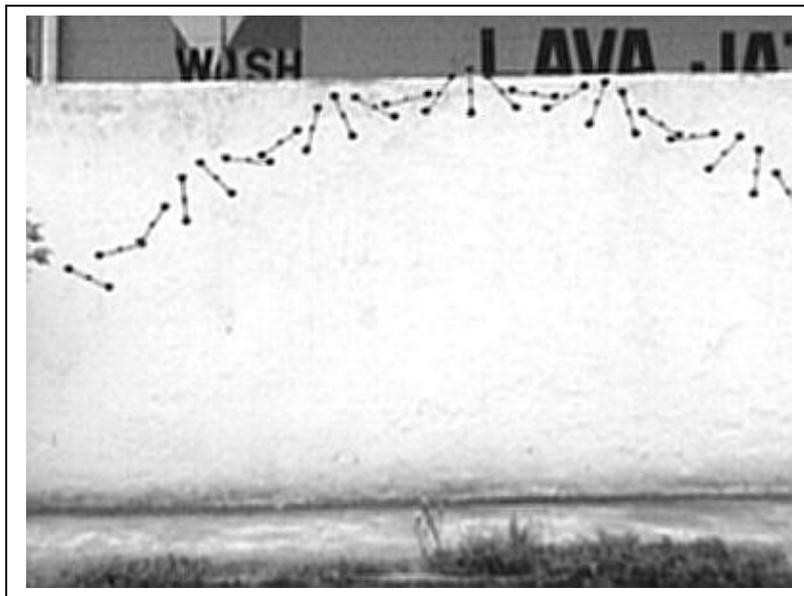


Fig. 5b – O halter, sobre um fundo branco, recebe um impulso de lançamento com rotação inicial. A fotografia estroboscópica permite visualizar a trajetória do CM representado pelo ponto preto menor.

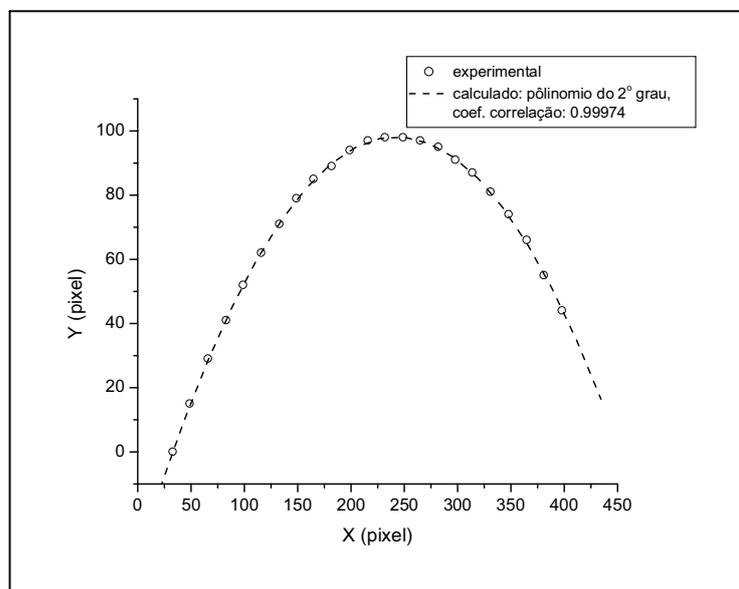


Fig. 6a – É mostrada a trajetória do CM do halter. A linha contínua mostra que o ajuste dos pontos experimentais pelo método dos mínimos quadrados é um polinômio de 2ª ordem, o que indica a adequação do modelo de movimento de um projétil em queda livre para explicar esse movimento.

3) Uma atividade impensável com as antigas técnicas de fotografia estroboscópica, mas que a máquina digital torna viável é a medição da velocidade de um avião em voo. Os valores inseridos na Fig. 8(a) são as medidas das coordenadas da componente perpendicular à direção de visada, em pixel, obtidos com auxílio do *ImageJ*. Com as informações sobre as dimensões da aeronave, disponibilizadas pela companhia aérea, Fig. 8(b), pode-se fazer uma escala de conversão para determinar sua velocidade cruzeiro.

V. Discussão

Alguns detalhes importantes devem ser mencionados:

(a) *Formação de estrias*: quando o movimento a ser filmado é muito rápido é usual que a imagem do objeto, em um único fotograma, esteja corrida. Esse efeito é o mesmo que observamos em certos cartões postais de paisagens noturnas onde haja presença de automóveis em movimento, com faróis ou luzes de sinaliza-

ção ligadas. Vemos linhas luminosas contínuas indicando que o objeto estava em movimento no cenário fotografado. O corrimento se deve ao fato de que cada fotograma não é obtido instantaneamente, sendo necessário um intervalo de tempo finito (δt) para que o sensor ótico (um CCD, *Charge-Coupled Device*, no caso das câmaras digitais) acumule o sinal luminoso incidente. Assim, se a velocidade do objeto for muito alta, o seu deslocamento apresentar-se-á borrado durante o período de acumulação, como pode ser observado na Fig. 3.

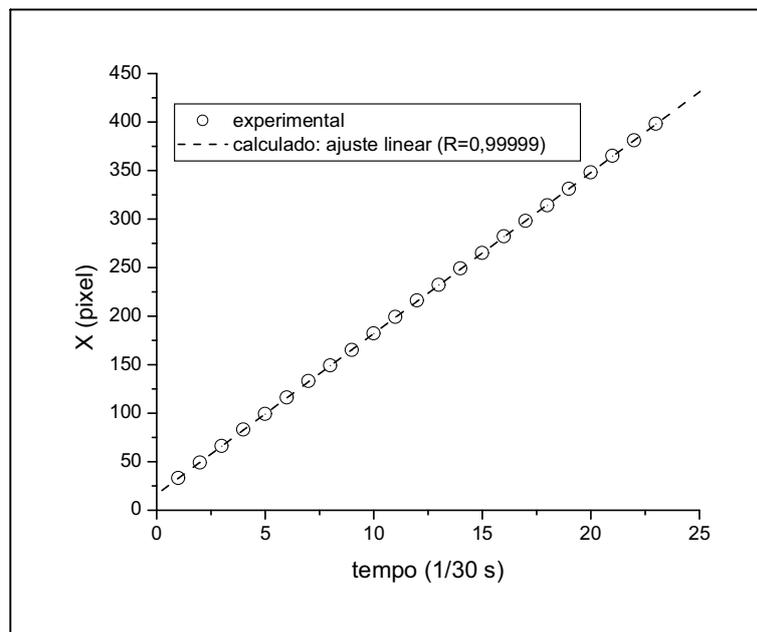


Fig. 6b – Gráfico da posição horizontal x versus tempo. A linha tracejada representa uma função linear através do ajuste dos dados experimentais pelo método dos mínimos quadrados. Esse resultado evidencia um movimento uniforme na direção horizontal, como previsto pelo modelo.

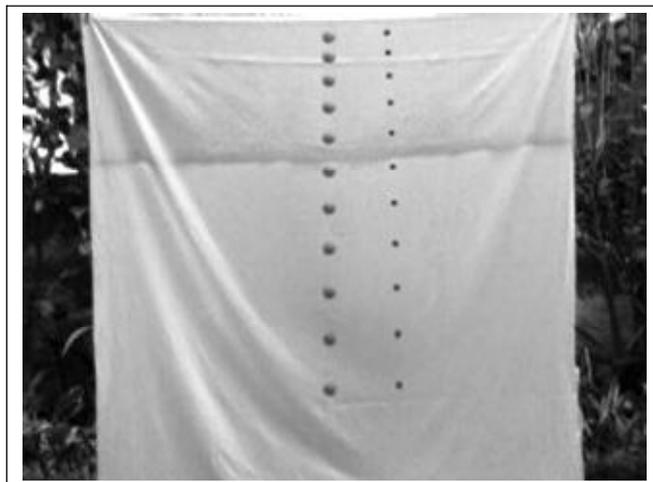


Fig. 7 – Fotografia estroboscópica que mostra o lançamento simultâneo de duas bolinhas de massas diferentes, soltas a partir do repouso e da mesma altura. O exemplo evidencia o modelo de queda livre, que estabelece a independência da aceleração em relação à massa dos corpos.

Uma forma de se evitar a formação de estrias é diminuir o tempo de acumulação pelo CCD. Isso pode ser feito aumentando-se a sensibilidade da câmara ou aumentando-se a luminosidade do cenário para uma dada configuração. Em geral, as câmaras digitais mais simples não permitem a alteração da sensibilidade ótica quando operadas no modo de vídeo, restando apenas a segunda solução. Aumentando-se a luminosidade do cenário, a câmara ajusta automaticamente o tempo de acumulação, obedecendo à seguinte relação: mais luz, menos tempo. Esse efeito pode ser observado na Fig. 4(a), onde se usa um fundo branco (mais luz) e uma esfera preta (maior contraste com o fundo), onde o efeito de corrimento é praticamente desprezível.

É importante ressaltar que mesmo com o efeito de corrimento é ainda possível a utilização da fotografia para análises quantitativas. Como o tempo de acumulação é pequeno, podemos tomar a posição do móvel como correspondendo ao centro da estria. As análises realizadas mostram que esta é uma boa aproximação.

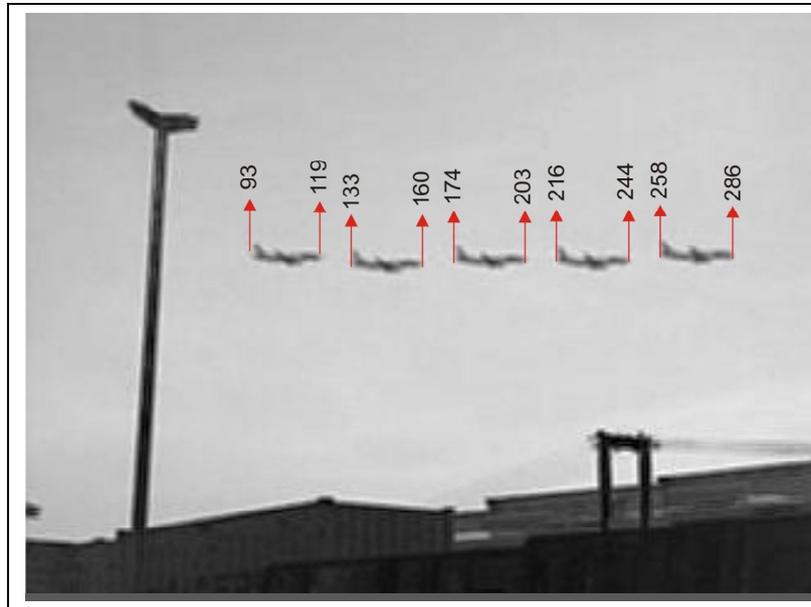


Fig. 8a – Fotografia estroboscópica do movimento de um Boeing 737-800, com a indicação das posições, tomadas a cada 15 fotogramas, em pixels.



Fig. 8b – Fotografia do avião com informações sobre o seu comprimento.

(b) *Formatos de vídeo*: Muitos são os formatos de vídeos digitais produzidos em câmaras fotográficas. Os mais comuns são AVI (Audio Video

Interleave), MPEG (Moving Picture Expert Group) e MOV (formato de vídeo usado pelo *QuickTime*). O *VirtualDub* não abre (importa) todos os formatos, tornando necessária sua conversão. Um exemplo prático são os vídeos no formato MOV usado pelas câmaras da marca Olympus, entre outras. Esse formato não é importado pelo *VirtualDub*. Uma das soluções mais simples para contornar essa limitação é utilizar um programa de conversão de formatos, por exemplo o *Any Video Converter*⁴, programa gratuito disponível para *download* que faz a conversão do formato MOV para MPEG-I sem alterar a qualidade do vídeo. Com o novo arquivo no formato MPEG-I, procede-se normalmente a produção da fotografia estroboscópica.

(c) *Uso de tripé*: A utilização de tripé melhora a qualidade do vídeo, pois facilita a escolha dos ângulos para enquadramento e evita trepidações. Bons tripés podem ser encontrados no comércio a preços acessíveis. Entretanto, a improvisação de uma base de apoio que substitua um tripé é de fácil elaboração, pois o parafuso que se encaixa no fundo da câmara é de fácil aquisição no comércio, tornando a tarefa dependente apenas da criatividade de cada um.

(d) O uso dos programas é explicado no Anexo do trabalho.

VI. Conclusão

As vantagens da técnica apresentada são várias, dentre estas citamos algumas:

- i. a possibilidade de reprodução das fotografias a baixíssimo custo para o trabalho individual do aluno;
- ii. a produção de material didático, relacionado aos fenômenos básicos da Mecânica da partícula, que normalmente requerem a utilização de equipamentos mais elaborados, nem sempre disponíveis na escola;
- iii. a facilidade de montar uma coleção significativa de fotografias estroboscópicas de fenômenos interessantes que podem motivar o aluno (veja-se o exemplo do Boeing 737-800 nas Fig. 8(a) e 8(b)), que serão úteis em sala de aula para trabalhos individuais dos alunos, avaliação de aprendizagem, etc.;

⁴ Disponível em: <<http://www.any-video-converter.com>>. Acesso em: 13 jan. 2008.

iv. a possibilidade do professor trabalhar o fenômeno físico de forma “experimental”, ilustrar sua aula e ajudar os alunos a compreender melhor os conceitos físicos subjacentes, e

v. o fato de que a qualidade da imagem possibilita a visualização do movimento ‘real’ e permite tanto sua descrição qualitativa quanto a obtenção de dados experimentais fidedignos para a análise quantitativa.

Referências

COLINVAUX, D.; BARROS, S. S. Entre a teoria e o fenômeno no laboratório de física escolar: A procura dos modelos usados pelos alunos. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 7, 2000, Florianópolis. **Atas...**

ROSA, R. A. S. et al. Fotografias estroboscópicas. **Física na Escola**, v. 5, n. 1, p. 17-19, maio 2004.

VUOLO, J. H. **Fundamento da Teoria dos Erros**. Editora Edgard Blucher Ltda. 2005. cap. 13.

Anexo

Os programas *ImageJ* e *VirtualDub* são fáceis de serem utilizados e instalados, mas vão requerer um pouco de treinamento dos usuários menos experientes com o uso de aplicativos dedicados à manipulação de imagens e vídeos. Damos, aqui, algumas instruções introdutórias que serão suficientes para se iniciar a aplicação da técnica:

1. Criar um diretório no seu computador para manipular os vídeos produzidos. Verifique o formato de gravação utilizado por sua câmara.

2. Acionar o programa *VirtualDub*. Com a tela do programa aberta, acione a tecla FILE e em seguida OPEN VIDEO FILE. Indique o diretório (criado no item 1) onde se encontra o vídeo a ser trabalhado. Observe na caixa de diálogo aberta que o *VirtualDub* suporta uma grande quantidade de formatos de vídeo. Se o formato de vídeo que a câmara produz não for compatível, será necessário convertê-lo previamente (veja item (b) acima). Abrir o arquivo de vídeo selecionado.

3. Observar a linha de tempo na parte inferior da tela do programa. Ela mostra uma sequência numerada para os fotogramas. O número total de fotogramas que compõem o vídeo está indicado no final da sequência. Logo abaixo da

linha de tempo, observe a barra de botões. Com os botões é possível rodar o vídeo, parar e saltar quadro a quadro.

4. Um pequeno cursor sobre a linha de tempo pode ser movimentado com auxílio do mouse. Movimentando o cursor com o mouse é possível encontrar o fotograma que marca o início da sequência do movimento de interesse. Estacionar o cursor sobre esse fotograma e marcar essa posição, acionando com o mouse o penúltimo botão da esquerda para direita. Em seguida, movimentar o curso para localizar o último fotograma da sequência de movimento. Marcar essa posição acionando com o mouse o último botão. Uma tarja colorida passa a indicar a sequência selecionada.

5. Para converter a sequência selecionada em fotogramas individuais, acionar a tecla FILE, em seguida a opção EXPORT e, por fim, IMAGE SEQUENCE. Uma pequena caixa de diálogo será aberta. Preencher os espaços solicitados indicando o nome que deseja dar aos arquivos com os fotogramas; no item FILENAME SUFFIX, INCLUDING a opção “default” é .jpeg, a qual deve ser mantida; no item DIRECTORY TO HOLD indicar o diretório de trabalho escolhido em d1. Acionar a tecla OK para finalizar.

6. Verificar no diretório de trabalho que a sequência de fotogramas, em formato JPEG, foi criada. Cada fotograma tem o FILENAME selecionado no item anterior acrescido de uma numeração com dois dígitos. Cada fotograma é agora uma fotografia digital, que pode ser visualizada e manuseada em seu computador.

7. Para obter a fotografia estroboscópica a partir da sequência de fotogramas, acionar o programa *ImageJ*. Com a tela do programa aberta, acionar a tecla FILE, em seguida IMPORT e, finalmente, IMAGE SEQUENCE. Uma caixa de diálogo será aberta: indicar o diretório de trabalho (criado no item 1) onde se encontra a sequência de fotogramas. Com o mouse, iluminar o arquivo do primeiro fotograma da sequência e em seguida a tecla OK para finalizar. Uma outra caixa de diálogo será aberta. O programa automaticamente identifica a sequência e faz a contagem de fotogramas. Ainda nesta caixa de diálogo pode-se optar por converter os fotogramas coloridos em fotogramas preto e branco (tons de cinza). Essa opção pode ser interessante para posteriores tratamentos da fotografia estroboscópica, bem como para a impressão final da imagem. Nesse caso, escolher a opção CONVERT TO 8-BIT GRAYSCALE. Acionar a tecla OK para finalizar. O painel do *ImageJ* passa a mostrar o primeiro fotograma da sequência.

8. Para se obter a superposição de todos os fotogramas, acione a tecla IMAGE. No menu apresentado, acionar a tecla STACK (empilhar) e em sequência selecionar a opção Z PROJECT. Uma caixa de diálogo será aberta indicando o número do primeiro e do último fotograma da sequência. Será necessário escolher

o tipo de projeção (PROJECTION TYPE). As duas opções básicas são por MIN INTENSITY (mínima intensidade) ou por MAX INTENSITY (máxima intensidade). Se os objetos em movimento são escuros em relação ao fundo deve-se optar por MIN INTENSITY. Se os objetos estiverem claros em relação ao fundo, optar por MAX INTENSITY. Acionar a tecla OK para finalizar. O painel do ImageJ passa a exibir a fotografia estroboscópica.