

“M-learning” aplicado ao ensino de física experimental através de um pêndulo físico amortecido magneticamente

Physics Toolbox Accelerometer / Physics Toolbox Magnetometer

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Autor/es:

Fábio Saraiva da Rocha¹, Guilherme Frederico Marranghello² e Márcia Maria Lucchese²

¹Centro de Integração do Mercosul, Universidade Federal de Pelotas, Eldorado do Sul, RS, Brasil.

²Campus Bagé, Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS, Brasil

O objetivo deste trabalho é fornecer um exemplo de aplicação para ensino de física experimental utilizando materiais de baixo custo e um dispositivo “*smartphone*”, com dois aplicativos de coleta de dados dos sensores embarcados na eletrônica do aparelho. São eles: “*Physics Toolbox Accelerometer*” e “*Physics Toolbox Magnetometer*” desenvolvidos pela empresa “*Vieyra Software*”. Deseja-se medir a aceleração do centro de massa que decresce com o tempo para um pêndulo físico amortecido magneticamente, indicando o efeito da presença de correntes elétricas induzidas nas partes metálicas do pêndulo.

O conjunto de aplicativos pode ser entendido como uma unidade de multissensores para aquisição de dados experimentais em tempo real e assim transformar um “*smartphone*” em um dispositivo de aquisição de dados independentemente do acesso à internet. A grande vantagem de uso do conjunto é que ele pode substituir, em muitos casos, sensores comerciais de uso educacional ou mesmo profissional que são de alto custo para aquisição direta no mercado específico.

USO DO APLICATIVO MULTISENSOR

A seguir apresentamos um sistema físico construído com materiais de baixo custo (uma haste que funcionou como um pêndulo) no qual se explorou o uso do “*smartphone*” descritos na tabela I e com um conjunto de aplicativos apresentados na tabela II. Mediu-se a aceleração de um pêndulo físico que oscilou em pequenas amplitudes visando o estabelecimento de um movimento oscilatório, com deslocamento angular inicial de 5° medidos contados da haste metálica móvel até a haste fixa que corresponde a direção vertical. As condições iniciais de soltura do pêndulo foram similares para todas as fases da experiência.

Equipamentos	Características
Smartphone Samsung Galaxy Gio modelo GT- S5660 Sistema operacional Android 2.3.3	Tela de 3,2 polegadas e com resolução de 320 x 480 pixels, 800 MHz, 278 MB de memória RAM e a memória externa é de 32 GB. A câmera tem 3,15 MP com 2048 x 1536 pixels e autofoco, m = (102,0±0,5) g, 110,5 mm x 57,5 mm x 12,2 mm (http://downloadcenter.samsung.com/content/UM/201103/20110325170036476/GT-S5660_UM_EU_Eng_Rev.1.0_110222.pdf) Aplicativo para transmissão de dados: <i>MyPhoneExplorer</i> (http://www.fjsoft.at/en/ ou http://www.fosshub.com/MyPhoneExplorer.html), maiores informações de instalação (www.youtube.com/watch?v=gFH1cIgpsFg).
Pêndulo	Haste maciça e rígida de alumínio com massa (66,0±0,5) g e dimensões (1,0 cm, 1,0 cm e 40,5 cm) fixada em uma placa também de alumínio maciço com massa (78,0±0,5) g e dimensões (8,5 cm, 7,1 cm e 0,5 cm).

Tabela I: informações sobre o Smartphone e pêndulo utilizados.

Aplicativo para Android	Sistema de comunicação	Grandezas medidas tridimensionalmente
<i>Physics Toolbox Accelerometer</i>	Infravermelho, “bluetooth”, cartão de memória ou exportados via e-mail como um arquivo de texto	Aceleração tridimensional
<i>Physics Toolbox Magnetometer</i>	Infravermelho, “bluetooth”, cartão de memória ou exportados via e-mail como um arquivo de texto	Campo magnético tridimensional

Tabela II: informações sobre os aplicativos.

Tipicamente, o dispositivo que mede aceleração de um “*smartphone*” é capaz de obter valores desta grandeza entre ± 2 vezes a aceleração da gravidade “*g*”. O sistema físico escolhido para ilustrar a capacidade de medição dos aplicativos da família “*Physics Toolbox*” foi um pêndulo físico ilustrado na foto da figura 1 (a). O “*smartphone*” foi fixado ao pêndulo de forma que o seu centro de massa coincidissem, aproximadamente, com o centro geométrico do aparelho. A incerteza na medição de comprimento é da ordem de 0,5 mm. A massa total do pêndulo, somando a do “*smartphone*” foi de $(246,0 \pm 0,5)$ g. O sistema de baixo atrito foi posto em oscilação ao redor de um eixo de rotação que passa a 1,9 cm de uma das extremidades da haste. No ponto mais baixo da trajetória do pêndulo foi posto um ímã permanente próximo ao plano da placa gerando um campo magnético de grande intensidade na região de movimentação do pêndulo e sendo capaz de interferir magneticamente com o movimento da placa gerando correntes elétricas induzidas nesta. O ímã de *NdFeB* (ou *NIB*) utilizado foi obtido em sucata de disco rígido (pode ser visto na figura 1(b)). Ao aproximar a placa do ímã gera-se maior intensidade de campo magnético na região da placa. Essa variação do fluxo magnético através do metal fará, de acordo com a lei de indução de Faraday, aparecer uma corrente elétrica induzida no alumínio, denominadas correntes de Foucault (Pimentel, 2008). Estas correntes também geram um campo magnético induzido que se opõe ao campo magnético indutor (gerado pelo ímã), fazendo com que a placa diminua sua amplitude de oscilação com o passar do tempo. Enquanto o pêndulo oscila as correntes induzidas geram uma magnetização que se opõe ao campo magnético gerado pelo ímã na região da placa. Freio magnético é o termo usado para designar este evento de desaceleração causado pela repulsão entre os campos interagentes.

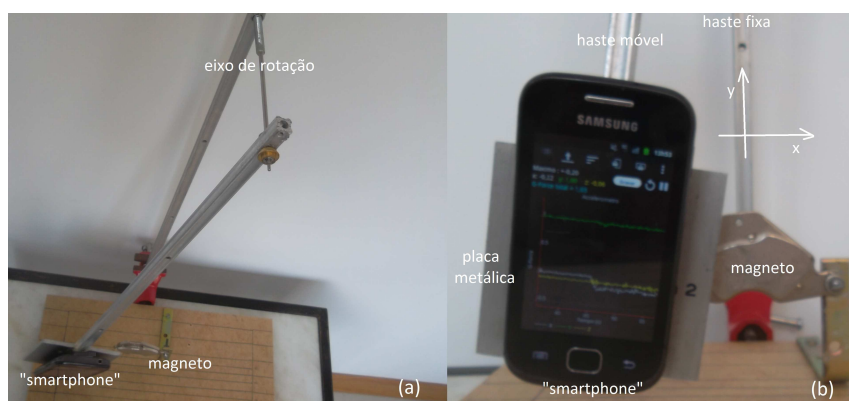


FIGURA 1. Imagens do sistema pêndulo físico durante sua trajetória oscilatória com a placa metálica passando próximo da superfície de um ímã permanente. Em (a) uma vista superior do sistema e em (b) a disposição dos eixos coordenados válida para o instante em que o centro de massa do pêndulo ocupa o ponto mais baixo da trajetória, na qual sua energia potencial gravitacional tem seu menor valor. Em toda a trajetória, o eixo *y* corresponde a componente radial do pêndulo.

RESULTADOS

Na figura 2, é possível verificar o comportamento da componente *y* da aceleração do pêndulo nos primeiros instantes de oscilação em função do tempo de oscilação e do aumento da intensidade do campo magnético causador do freio magnético pois $H_2 > H_1 > H_0$. O campo H_0 é o campo residual do ambiente (campo magnético da Terra medido aproximadamente como $35 \mu\text{T}$) e os campos H_1 e H_2 foram obtidos através do ímã e sua localização em relação ao plano da placa. Com o aumento da intensidade do campo magnético, de H_1 para H_2 , o movimento oscilatório tende a cessar mais rapidamente. A energia mecânica do pêndulo vai drenando para o meio externo ao sistema pêndulo dissipando parte como atrito com o ar, parte como aquecimento na superfície do ímã e na superfície da placa metálica e parte no atrito junto ao eixo de rotação. Após o pêndulo cessar a movimentação, permanece uma fração da energia

mecânica inicial em forma de energia interna na placa metálica devido ao efeito Joule causado pelas correntes induzidas. Foram utilizados três campos magnéticos em experiências consecutivas na tentativa de frear o movimento do pêndulo em sua trajetória. O plano da placa metálica foi posto a oscilar sempre na mesma configuração em relação a disposição do magneto. No caso de H_0 , procuramos orientar o pêndulo de forma que o plano de alumínio ficasse perpendicular à direção norte do campo da Terra. O magneto gerou os campos H_1 de $120 \mu\text{T}$ e H_2 de $206 \mu\text{T}$ na posição do sensor do “*smartphone*” que acreditamos estar muito junto ao plano da placa de alumínio. As intensidades e direções dos campos H_0 , H_1 e H_2 foram medidas usando o aplicativo “*Physics Toolbox Magnetometer*” na região do sensor do aparelho “*smartphone*” próxima ao ponto mais baixo da trajetória do pêndulo.

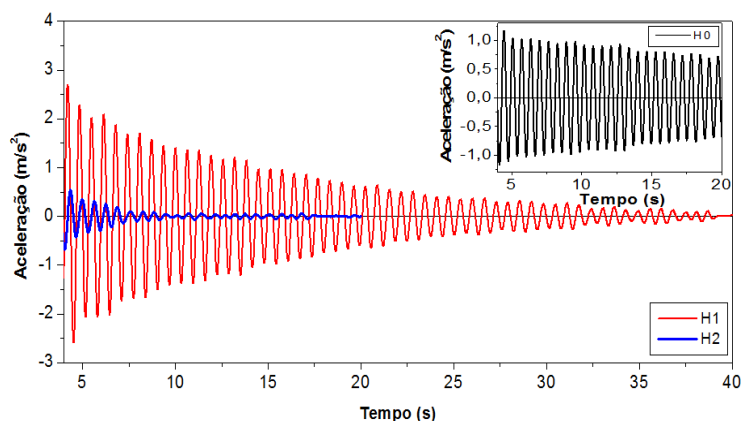


FIGURA 2. Medida da aceleração do sistema oscilatório feita com o uso do “*smartphone*” na direção y , com os campos aplicados H_0 (campo da Terra) mostrado no gráfico menor, H_1 e H_2 gerados pelo magneto permanente.

Os períodos encontrados nas direções x e y foram $T_y = 0,64 \text{ s}$ e $T_x = 1,28 \text{ s}$. Os dados experimentais colhidos como produto da leitura dinâmica do sensor de aceleração embarcado no “*smartphone*” foram tratados numericamente com o propósito de minimizar o ruído. Os ruídos são oriundos de quaisquer fontes de vibração mecânica que chegam ao “*smartphone*” fazendo-o registrar dados espúrios de aceleração que não pertencem apenas ao movimento pendular que se deseja estudar. O método de minimização de ruídos consiste em aplicar um filtro numérico passa banda sobre os dados brutos colhidos do sensor. O intervalo de frequências escolhido foi de 0 e 2 Hz . O filtro deverá retirar os dados de aceleração oriundos de vibrações do acelerômetro com frequências fora da faixa de interesse apontada.

Os dados brutos de aceleração são importados para o programa *SciDAVis* (<http://scidavis.sourceforge.net/index.html>) utilizado na análise numérica através do menu arquivo e depois importar arquivo(s) *ASCII*. Uma janela de informações aparecerá ao usuário solicitando o tipo de organização e disposição dos dados de aceleração e tempo no arquivo de saída do “*smartphone*”. O leitor deverá observar esta disposição pois cada aparelho gera seu arquivo de dados na disposição escolhida pelo fabricante. Após importar os dados numéricos no programa, o leitor deverá utilizar a ferramenta *FFT* (“*Fast Fourier Transform*”) disponível no menu análise sobre os dados gerando assim os valores de aceleração que pertencem às vibrações cujas frequências estão contidas no intervalo pretendido.

Na direção z , os valores de aceleração obtidos ficaram oscilando aleatoriamente muito próximos de zero, representando apenas a presença de ruído. O intervalo de tempo de medição utilizado pelo aplicativo para a aceleração foi de 10 ms .

A técnica de vídeo-análise (Leitão et al, 2011) foi utilizada com o propósito de obter uma base de comparação de resultados para a aceleração obtida através do “*smartphone*”. Na figura 3 apresenta-se os dados medidos pelo “*smartphone*” e pela técnica de vídeo-análise para a componente da aceleração na direção y com o pêndulo sujeito a um campo externo de $52 \mu\text{T}$ escolhido para a comparação entre as medidas. É difícil saber exatamente o lugar da posição dos sensores (aceleração e magnetismo) no aparelho “*smartphone*” em questão mas acreditamos que tais sensores se encontram próximos ao centro geométrico do aparelho. Sendo assim utilizamos o ponto central da tela do “*smartphone*” como referência para o tratamento da vídeo-análise.

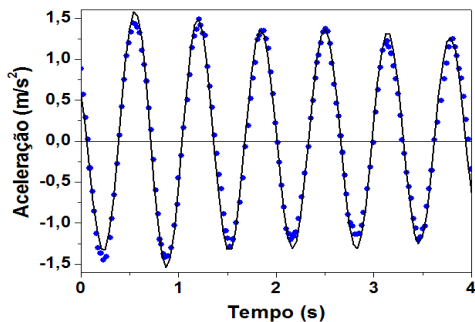


FIGURA 3. Comparação entre as medidas da aceleração na direção y feitas usando o “smartphone” (círculos) e a técnica da vídeo-análise (linha contínua) para um dado campo magnético escolhido para o teste.

A tomada de vídeo de cada etapa da experiência foi feita através da câmera fotográfica digital (*Samsung* e modelo *ST65*). Enquanto a câmera fotográfica pode nos dar 30 quadros/s de taxa, nosso “*smartphone*” alcança apenas 15 quadros/s. Como estamos buscando parâmetros de comparação entre as técnicas de medição da grandeza aceleração, optamos pela câmera para obtermos melhor qualidade de vídeo. Para diversas aplicações que utilizam vídeo-análise, o “*smartphone*” pode ser utilizado convenientemente na função câmera digital (Leitão et al, 2011). A câmera digital foi posicionada com o plano da lente a 40 cm do plano de oscilação da placa metálica deixando assim o eixo da lente perpendicular ao plano *xy* do movimento amortecido. O eixo da lente foi posto na mesma altura do centro do pêndulo, quando este ocupa seu ponto mais baixo na trajetória. O tratamento dos vídeos foi realizado utilizando-se o programa computacional *TRACKER* versão 4.85 que é gratuito. Na tabela III encontramos os valores dos coeficientes da expressão (1) ajustados numericamente para a aceleração medida pelo “*smartphone*” nos campos magnéticos *H0*, *H1* e *H2*. Supondo força de amortecimento linearmente proporcional a velocidade linear do centro de massa do pêndulo, a aceleração linear do centro de massa do pêndulo poderá ser quantificada através da expressão (1).

$$a(t) = A e^{-\gamma t} \sin(\omega t + \varphi) \tag{1}$$

Na qual *A* é a aceleração inicial em unidades de (*m/s²*), γ é a constante linear de amortecimento, na unidade de (*s⁻¹*), ω é a frequência angular em (*rad/s*) e φ é a constante de fase em (*rad*).

Quadro de ajuste	<i>A</i> ± δA	γ ± $\delta \gamma$	ω ± $\delta \omega$	φ ± $\delta \varphi$	RMSE
<i>H0</i>	1,110 ± 0,002	0,0273 ± 0,0001	9,8542 ± 0,0001	209,1401 ± 0,0002	0,03
<i>H1</i>	2,247 ± 0,007	0,0854 ± 0,0004	9,8028 ± 0,0004	-9,006 ± 0,003	0,09
<i>H2</i>	5,290 ± 0,005	0,449 ± 0,006	9,795 ± 0,006	0,397 ± 0,002	0,03

TABELA III – Valores dos parâmetros e seus respectivos erros numéricos ajustados para a expressão (1) para os campos magnéticos aplicados *H0*, *H1* e *H2*. O termo “*root-mean-square error*” (*RMSE*) ou erro padrão quadrático médio, se refere comumente a acurácia dos resultados numéricos apresentando valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada.

Os valores para o parâmetro ajustado *A*, em cada caso, se referem diretamente a força do campo magnético usado como freio e principalmente, à velocidade inicial com que o pêndulo se movimentava no plano, notadamente na região bem próxima ao magneto. A magnitude da velocidade inicial do centro de massa por sua vez está determinada pela energia potencial gravitacional depositada no sistema oscilatório no início do seu ciclo de oscilações. A cada soltura do pêndulo é necessário que se respeite a angulação máxima de partida de até 5 graus (para pequenas amplitudes) em relação a direção vertical. Do valor ajustado para a frequência angular (ω) do movimento pendular, no caso de *H2*, podemos obter o valor do período de oscilação para a direção y e como sendo de 0,64 s. Um ciclo de oscilação na direção y (direção do vetor aceleração da gravidade) se dá na metade do tempo em relação ao eixo x, uma vez que o período está definido como o tempo necessário para uma oscilação completa na direção considerada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentamos algumas características de constituição física e funcionamento de um “*smartphone*” dotado de aplicativos que podem ser instalados no sistema operacional “*Android*” e tem grande utilidade para uso em práticas de ensino de física experimental. Com a praticidade de uso do “*smartphone*” e seus aplicativos junto com seu relativo baixo custo financeiro, se pode pensar num maior espaço para este dispositivo dentro de um laboratório didático de física ou mesmo fora dele, aproveitando a mobilidade que este representa.

Acreditamos que o uso do “*smartphone*” pode estimular o desenvolvimento de experimentos em que coleta, armazenamento e apresentação da informação é realizada com maior dinamismo, mobilidade e simplicidade que quando comparamos com os processos de medida relativos aos laboratórios didáticos convencionais. A possibilidade do aluno utilizar seu “*smartphone*” em experimentos de Física abre perspectivas de observação e estudo de fenômenos físicos que fazem parte do cotidiano do aluno e o desenvolvimento de novas investigações. É possível e desejável que, principalmente em países em desenvolvimento, aparelhos “*smartphone*” com aplicativos multissensores conquistem maior espaço dentro de nossas propostas de ensino. Assim o aluno poderá integrar-se mais ao processo de realização do experimento, valorizando seus conhecimentos e tendo um domínio maior sobre o instrumental utilizado.

REFERÊNCIAS

Leitão, L. I., Teixeira, P. F. D., Rocha, F. S. (2011). A vídeo-análise como recurso voltado ao ensino de física experimental: um exemplo de aplicação na mecânica. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 6, p. 1-15.

Pimentel, J. R., Zumpano, V. H. (2008). Demonstre em aula: correntes de Foucault exploradas com um disco rígido de computador, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25, p. 160-167.