



Uma proposta de cronometragem acionada pelo som: integrando tecnologias no ensino de Física

A proposal for sound-driven timing: integrating technologies in Physics education

Samir Santos Costa^{*1,2}, Vitor Cossich de Holanda Sales³, Eduardo Pilad Nóbrega⁴

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia, Cabo Frio, RJ, Brasil.

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³Colégio Pedro II, Campus São Cristóvão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁴Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Física Armando Dias Tavares, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Recebido em 08 de fevereiro de 2025. Revisado em 06 de abril de 2025. Aceito em 09 de abril de 2025.

Neste trabalho, nós apresentamos um material didático orientado para o ensino de Física pautado na utilização de diferentes recursos tecnológicos e com foco em atividades experimentais. A proposta consiste na implementação, em diversos experimentos de Física, de um cronômetro automático acionado/interrompido pelo som. Para tal, dois recursos foram empregados: o primeiro consiste em um circuito eletrônico, o qual foi desenvolvido com o objetivo de se produzir pulsos sonoros finitos e controlados; o segundo corresponde ao “Cronômetro Acústico” do aplicativo *Phyphox*, o qual pode registrar intervalos de tempo a partir da detecção de eventos sonoros sucessivos. A fim de verificar a validade da metodologia desenvolvida, dois fenômenos foram investigados, a saber, oscilação vertical (massa-mola) e lançamento horizontal. Para além da verificação de propriedades e grandezas físicas, espera-se estimular o uso de tecnologias no ensino de Física, seja a partir da utilização de aparelhos comerciais consolidados (como *smartphones*), seja a partir da apresentação e da aplicação de diferentes componentes eletrônicos (como os semicondutores) para o desenvolvimento do circuito eletrônico. Finalmente, pretende-se também apresentar uma alternativa para a criação e/ou consolidação de laboratórios didáticos de Física em instituições que não dispõem de recursos financeiros para a aquisição de *kits* experimentais voltados para o ensino desta disciplina.

Palavras-chave: Eletrônica, *Phyphox*, tecnologias, ensino de Física, abordagem experimental.

In this work, we present a teaching material oriented towards Physics education based on the use of different technological resources and focusing on experimental activities. The proposal consists of implementing, in several Physics experiments, an automatic stopwatch triggered/interrupted by sound. For this purpose, two resources were employed. The first consists of an electronic circuit, which was developed with the objective of producing finite and controlled sound pulses. The second corresponds to the “Acoustic Stopwatch” of the *Phyphox* application, which can record time intervals from the detection of successive sound events. In order to verify the validity of the developed methodology, two phenomena were investigated: vertical oscillation (mass-spring) and horizontal launch. In addition to verifying physical properties and quantities, we hope to stimulate the use of technologies in teaching Physics, either through the use of consolidated commercial devices (such as smartphones), or through the presentation and application of different electronic components (such as semiconductors) for the development of the electronic circuit. Finally, we also intend to present an alternative for the creation and/or consolidation of Physics teaching laboratories in institutions that do not have the financial resources to purchase experimental kits aimed at teaching this discipline.

Keywords: Electronics, *Phyphox*, technologies, Physics education, experimental approach.

1. Introdução

O avanço acelerado de tecnologias digitais da informação e da comunicação (TDIC) ao longo dos últimos anos é notável. Os recursos tecnológicos produzidos (materiais e/ou virtuais) estão se tornando efêmeros diante das “necessidades prementes” da sociedade contemporânea. Como consequência, percebe-se uma produção acentuada de diferentes tecnologias/produtos, que vêm

acompanhada de um processo acelerado de obsolescência (muitas vezes estimulado por uma lógica consumista).

A necessidade e o consumo de tecnologias digitais têm provocado um aumento da presença de tais produtos em diversos setores da sociedade, a qual vem passando por constantes mudanças e processos de readequação nas diversas formas de trabalho e lazer. Pode-se destacar que a eclosão da pandemia de Covid-19 alavancou tais readequações, e potencializou o desenvolvimento e a difusão de (novas) tecnologias na sociedade. Porém, deve-se lembrar que, durante este período de inseguranças e incertezas, as desigualdades da estratificada sociedade brasileira foram radicalmente descortinadas; no âmbito

*Endereço de correspondência: costa.samir@gmail.com

Editor-Chefe: Marcello Ferreira

educacional, muitos estudantes tiveram sua formação básica prejudicada devido à falta e/ou precariedade de recursos tecnológicos para um acompanhamento profícuo das atividades escolares à distância/remotas.

Dentro do contexto descrito acima, particularmente, reside o ensino de Física. Moreira (2017, 2018) destaca que um dos fatores que contribuem para a “crise no ensino de Física” é a baixa inclusão das tecnologias nessa área [1, 2]. A (quase) inexistência dessa prática pode estar relacionada a um processo de formação docente precário e/ou à ausência de políticas de formação continuada com esse viés. Além disso, a falta de investimentos em infraestrutura e equipamentos atualizados potencializa o afastamento desse tipo de ação docente, uma vez que, sem recursos e estímulos institucionais, a implementação de tal metodologia torna-se praticamente inviável. Tais elementos vão ao encontro dos obstáculos estrutural, epistemológico e didático identificados por Schuhmacher, Alves e Schuhmacher (2017), os quais são associados às barreiras que comprometem e/ou inviabilizam o uso das TDIC no processo de ensino aprendizagem [3].

Em contrapartida, pesquisadores e professores da área, tentando contornar os empecilhos históricos que rodeiam a educação brasileira, têm apresentado diversas propostas de ensino usando diferentes tipos de tecnologias da informação e comunicação (TDIC): ambientes virtuais de aprendizagem, *softwares* e simulações computacionais, *smartphones*, *tablets*, entre outras.

A fim de corroborar o exposto imediatamente acima, alguns exemplos podem ser mencionados. Arantes, Miranda e Studart (2010) apresentaram as potencialidades do sítio *PhET* e discutiram as possibilidades de simulações computacionais de diversos fenômenos físicos [4]. Bezerra Jr *et al.* (2012) executaram experimentos de Mecânica, os quais foram investigados por meio de videoanálise com o *software Tracker* [5]. Utilizando *smartphones* e *tablets*, Vieira (2013) apresentou e realizou uma gama de aplicações experimentais voltadas para o ensino de Física [6]. Fontes *et al.* (2019) utilizaram a plataforma *Moodle* para veicular diversas ferramentas pedagógicas (vídeos, simulações, textos, entre outras) e proporcionar interações entre professor e alunos através dos canais de comunicação que este ambiente virtual pode disponibilizar [7]. Devido à pandemia de Covid-19, Hernandez *et al.* (2021) lançaram mão do aplicativo *Phyphox* para a realização de alguns experimentos a fim de adaptar uma disciplina de caráter experimental ao ensino remoto [8].

A realização de medidas de intervalo de tempo em atividades práticas de Física é uma demanda recorrente, principalmente em experimentos de Mecânica. No que diz respeito a esse procedimento, algumas metodologias acessíveis e de baixo custo podem ser encontradas na literatura como, por exemplo, o uso de computadores/*softwares* gratuitos [9], contadores eletrônicos digitais [10] e cronômetros manuais adaptados [11], os dois últimos acionados por uma chave óptica (outros autores

se apropriaram desse tipo de chave para com o mesmo propósito [12–14]). Em 2020, Pedroso e colaboradores desenvolveram um aparato mecânico visando a medida do tempo de queda de um objeto, o qual foi registrado com o aplicativo *Phyphox* instalado em um *smartphone* a partir dos sons emitidos por uma “chave mecânica” e pelo impacto do objeto com o solo [15].

Neste trabalho, apresenta-se uma metodologia para a realização de medidas precisas de intervalo de tempo a partir da integração de diferentes tecnologias, a saber: um gerador de pulso sonoro finito acionado por uma chave óptica, e a função “Cronômetro Acústico” do aplicativo *Phyphox*, este instalado em um *smartphone*. Para fins de validação, o recurso tecnológico foi utilizado em duas configurações experimentais: lançamento horizontal e massa-mola (com duas molas associadas em paralelo); os detalhes a respeito da integração dos componentes eletrônicos, e os resultados obtidos são discutidos nas seções subsequentes.

2. Apresentação da Proposta

O trabalho tem um enfoque experimental, orientado para o desenvolvimento de recursos didáticos aplicáveis no ensino Física, tanto na educação básica quanto no ensino superior. A construção da proposta desenrolou-se da seguinte maneira: idealização do todo, elaboração esquemática do circuito (Figura 1), simulação computacional do mesmo, testes em bancada e, finalmente, realização dos experimentos com o *Phyphox*. Além dos experimentos apresentados neste trabalho, outros sistemas foram investigados em um trabalho anterior, a saber: pêndulo simples, plano inclinado e massa-mola (oscilações verticais com apenas uma mola e com molas associadas em série)[16].

Durante o processo de idealização, pensou-se em tecnologias que pudessem ser razoavelmente acessíveis. O circuito desenvolvido dispõe de componentes eletrônicos bem populares e difundidos, os quais apresentam baixo custo e podem ser encontrados, com facilidade, em lojas dedicadas a este tipo de produto. Quanto ao *smartphone*, é sabido que existe uma ampla faixa de modelos. Esses aparelhos dispõem de uma variedade de sensores que podem ser explorados em atividades experimentais de Física. Porém, alguns aparelhos possuem mais sensores do que outros (ou características diferentes). Visando promover uma aplicação ampla, que possa cobrir o maior número de usuários, optou-se por utilizar um sensor que já é utilizado nos telefones móveis antes dos *smartphones*: o microfone. Isso permite que, independentemente do modelo do aparelho, as medidas possam ser realizadas a partir de um microfone funcional.

2.1. Circuito

Como mencionado acima, a proposta principal consiste na medição de intervalos de tempo a partir da detecção

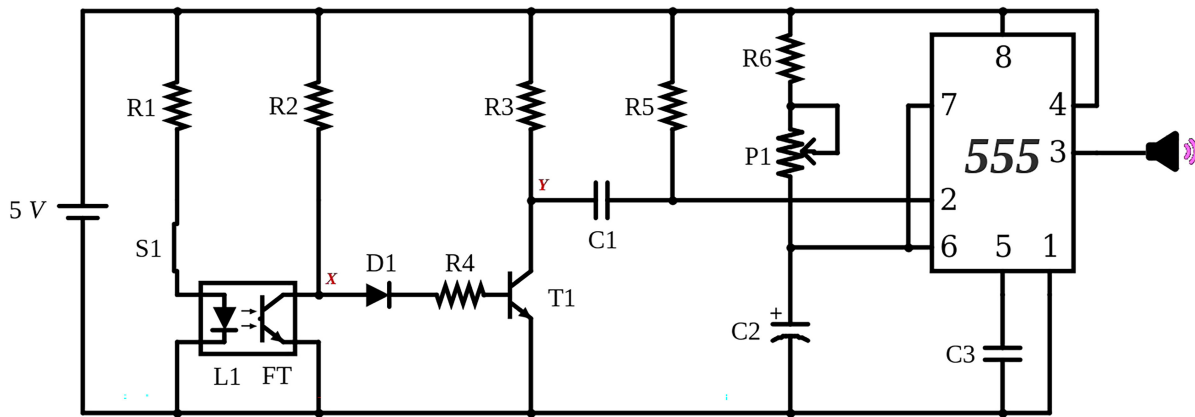


Figura 1: Esquema do circuito eletrônico criado para a emissão do pulso sonoro finito.

de sinais sonoros emitidos por um circuito eletrônico. O esquema do circuito desenvolvido pode ser visto na Figura 1. De modo geral, o sistema pode ser compreendido como dois grandes blocos: uma chave óptica (composta pelos componentes L1, T1, FT, D1, e os resistores R1 a R4, e um temporizador (composto pelos demais componentes, incluindo o circuito integrado 555), os quais se comunicam entre si através da variação de potencial no ponto Y. O esquema foi elaborado no simulador online *Circuit Simulator Applet* [17].

Dos elementos que compõem a chave óptica, o LED infravermelho (L1) e o fototransistor (FT) merecem destaque, pois estes componentes funcionarão como o “gatilho” inicial para a emissão do sinal sonoro. Eles foram representados na Figura 1 em uma caixa retangular a fim de indicar que os mesmos não devem ficar em uma placa ou em um *protoboard*, mas sim em um suporte à parte, e posicionados um de frente para o outro a uma distância suficiente para que um objeto possa passar entre eles. A distância adotada neste trabalho foi de, aproximadamente, 3,5 cm.

Na ausência de qualquer tipo de obstrução entre L1 e FT, o sinal eletromagnético (infravermelho) emitido pelo primeiro atinge o segundo durante o funcionamento do circuito. Nesta condição, FT está em saturação e se comporta como uma chave fechada, levando o potencial no ponto X a zero. Sendo assim, a base do transistor T1 permanece despolarizada e o mesmo opera como uma chave aberta (ou seja, o potencial no ponto Y assume o valor da tensão de entrada V_{cc}). Quando um objeto passa entre L1 e FT, interrompendo a chegada do sinal no segundo, o fototransistor passa a funcionar como uma chave aberta, aumentando o potencial em X. Consequentemente, a base do transistor T1 torna-se polarizada e o mesmo passa a operar como uma chave fechada (ou seja, levando o potencial em Y a zero). Note que a base está sendo polarizada pela associação em série do resistor R4 com o diodo D1. Este diodo é importante apenas na utilização de várias “unidades ópticas”, sendo, portanto, facultativo o seu uso quando apenas uma chave óptica for empregada. Vale frisar

que os estados obstruído/desobstruído foram simulados com a chave S1 nas condições aberta/fechada, ou seja, apagando/acendendo o LED infravermelho.

O pulso sonoro finito foi gerado com o uso do circuito integrado 555 na configuração monoestável (Figura 1). Neste tipo de montagem, o sistema apresenta um estado estável (nível baixo) e outro semiestável (nível alto) com duração finita [18]. O disparo do circuito se dá através da variação do potencial no pino 2, conectado ao ponto Y através do capacitor C1. Quando a tensão de entrada neste pino é inferior a um terço de V_{cc} , o 555 dispara e apresenta um sinal finito com amplitude V_{cc} no pino 3, cuja duração τ pode ser ajustada de acordo com a expressão

$$\tau = 1,1RC, \quad (1)$$

onde $R = R6 + P1$ e $C = C2$. Conectando-se a esse pino um *buzzer* capaz de operar na tensão de saída, pode-se, então, gerar um pulso sonoro definido a partir da modificação da resistência do potenciômetro P1.

Finalmente, deve-se destacar que o circuito apresentado corresponde a uma junção de blocos eletrônicos bem conhecidos na literatura (chave óptica e temporizador). Portanto, os resistores e os capacitores utilizados neste trabalho foram escolhidos a partir de simulações computacionais no *Circuit Simulator Applet* e testes em bancada, cujos valores (nominais) são os seguintes: $R1 = 240 \, \Omega$, $R2 = 10 \, k\Omega$, $R3 = 1 \, k\Omega$, $R4 = 2,2 \, k\Omega$, $R5 = 1 \, M\Omega$, $R6 = 1 \, k\Omega$, $C1 = 100 \, nF$, $C2 = 10 \, \mu F$ e $C3 = 10 \, nF$. No que se refere aos componentes FT, L1 e T1, foram utilizados, respectivamente, o TIL78, o TIL32 e o BC548; o valor investido nos componentes eletrônicos foi de R\$ 16,50, incluindo o 555 e um potenciômetro de $10 \, k\Omega$. Para a alimentação do circuito, utilizou-se um carregador de celular típico de 5,0 V.

2.2. Cronômetro Acústico

O *Phyphox* [19] é um aplicativo gratuito para *smartphone* que tem acesso aos sensores presentes no



Figura 2: Captura de tela do aplicativo *Phyphox* na função Cronômetro Acústico – Simples.

mesmo. Por estar disponível para Android e iOS, possibilita um amplo alcance entre os usuários de *smartphones*. Algumas funções só são liberadas se o aparelho dispuser dos sensores correspondentes; uma vez liberadas, elas podem ser utilizadas para a realização de medidas em atividades experimentais pedagógicas. Dentre as potencialidades do uso desse aplicativo como TDIC no ensino de Física e Ciências, destacam-se as possibilidades de exportar as medidas para um arquivo em formato de tabela para o tratamento dos dados, e da realização de atividades em grupo através da conexão em rede do *smartphone* com um computador para o compartilhamento de tela.

Nesta seção, serão apresentadas algumas características da função “Cronômetro Acústico”, a qual pode ser visualizada na Figura 2. Esta função utiliza o microfone do *smartphone* para o registro de intervalos de tempo, ou seja, a cada dois eventos sonoros detectados, o *Phyphox* registra um intervalo de tempo (o primeiro abre a contagem, enquanto o segundo, encerra).

A Figura 2 exibe a captura de tela da aba “Simples”. Nessa janela, além de exibir a medida de apenas um intervalo de tempo (com três casas decimais), alguns ajustes de sensibilidade do microfone podem ser definidos. Na aba “Sequência” podem ser verificadas cinco medidas de intervalo de tempo; os intervalos de tempo são medidos sucessivamente, ou seja, uma contagem de tempo é aberta após o encerramento de outra. Já na aba “Paralelo”, as (cinco) contagens são abertas em conjunto, ou seja, a cada novo sinal sonoro, o aplicativo encerra uma contagem, registrando, assim, o instante de detecção. Finalmente, a aba “Muitos” contém algumas informações extras, a saber: número do evento, intervalo

(de tempo) médio, taxa média (frequência) e um gráfico de intervalo de tempo *vs.* número do evento.

As abas descritas acima fornecem poucas medidas de intervalo de tempo. Porém, o aplicativo é capaz de registrar um número muito maior de medidas. Essas medidas extras ficam temporariamente armazenadas na memória e podem ser exportadas para um documento em formato de tabela, como mencionado acima; de fato, basta acessar o menu sinalizado pelos três pontos localizados no canto direito da parte superior, selecionar “Exportar Dados” e escolher o formato desejado. Além de dar acesso a um número maior de medidas, através do arquivo é possível obter valores com um número maior de casas decimais; esse recurso foi explorado na investigação do sistema massa-mola que será apresentado na seção seguinte.

3. Aplicações

A fim de verificar o funcionamento do circuito e propor possíveis aplicações da metodologia desenvolvida, alguns experimentos envolvendo medidas de intervalo de tempo foram realizados. As medidas foram registradas com o aplicativo *Phyphox* na função Cronômetro Acústico; a Figura 2 corresponde a uma captura de tela do aplicativo em operação.

As configurações experimentais escolhidas correspondem a sistemas tipicamente investigados no ensino de Física, a saber: massa-mola (oscilações verticais) e lançamento horizontal.

3.1. Massa-mola (oscilação vertical)

O primeiro sistema investigado foi o massa-mola. Quando um objeto de massa m , preso a uma mola de constante elástica k , é posto a oscilar livre e verticalmente (direção $\hat{y}$), o mesmo executa um movimento descrito pela equação

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega_0^2 y = 0, \quad (2)$$

onde $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ corresponde à frequência angular natural de oscilação; a equação 2 é conhecida como equação de movimento de um oscilador harmônico.

O objetivo do experimento é a investigação da constante elástica (efetiva) através das oscilações verticais da massa presa à mola. Para tal, foram utilizadas molas pequenas e “macias”, de modo que o sistema pudesse oscilar no regime subcrítico e com amortecimento fraco. Consequentemente, a frequência de oscilação ω possui valor aproximado à natural ($\omega \approx \omega_0$), o que permite uma comparação com o valor de k obtido através da lei de Hooke. Além disso, adotou-se a configuração com duas molas (aproximadamente iguais) associadas em paralelo, uma vez que os casos simples e com associação em série de duas molas foram investigados na referência [16].

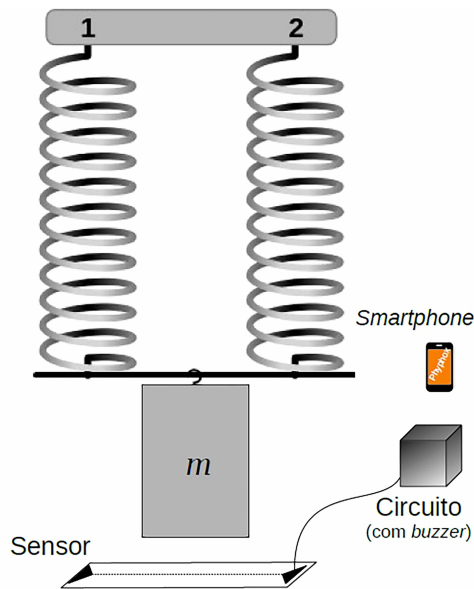


Figura 3: Esquema experimental utilizado para o sistema massa-mola.

A Figura 3 mostra o esquema utilizado neste trabalho. O sensor óptico foi posicionado abaixo do objeto de massa m (um “peso” de pesca em formato de gota), de modo que a emissão do sinal sonoro ocorresse a cada obstrução da chave óptica durante a descida. Logo, o intervalo de tempo entre dois eventos sonoros sucessivos fornece o período de oscilação. Na figura, a caixa cúbica representa o circuito com todos os componentes, exceto os elementos L1 e FT (identificados como “sensor”).

Devido ao fato de operar no regime subcrítico com amortecimento fraco, foi possível registrar um número (N) significativo de intervalos de tempo com o aplicativo para uma configuração inicial específica, a saber, 387 registros. Sendo assim, o período (médio) foi obtido calculando-se a média simples $\bar{T} = (N^{-1}) \sum T_i$, sendo T_i o período da i -ésima oscilação. Além disso, a sua incerteza correspondente foi obtida utilizando-se a relação $\delta T = (N^{-1/2})\sigma_T$, sendo σ_T o desvio padrão associado. Portanto, para o período, obteve-se $(0,4014 \pm 0,0004)$ s; o tratamento estatístico foi realizado com o editor de planilha gratuito *Calc*, do pacote *LibreOffice*.

Além disso, no regime $\omega \approx \omega_0$, foi considerado que o sistema oscila com uma constante elástica efetiva k_e , de modo que $\omega = \sqrt{\frac{k_e}{m}}$. Porém, é conhecido que a frequência angular se relaciona com o período T através da relação $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Sendo assim, para uma massa de 33,96 g, obteve-se a constante elástica efetiva $\bar{k}_e \pm \delta k_e = (8,32 \pm 0,02)$ N/m, onde adotou-se o método dos valores-limite, ou seja,

$$\bar{k}_e = \frac{k_e^{\max} + k_e^{\min}}{2}, \quad (3)$$

$$\delta k_e = \frac{k_e^{\max} - k_e^{\min}}{2}. \quad (4)$$

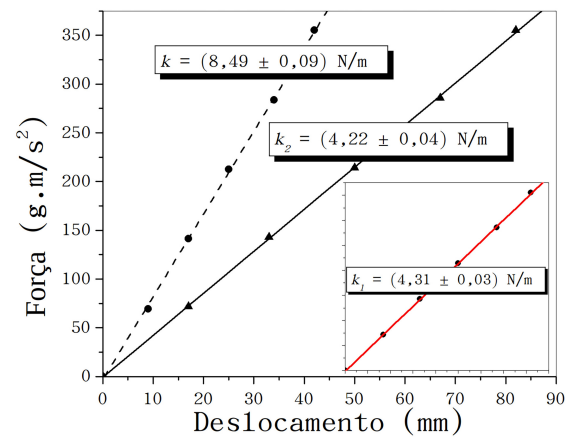


Figura 4: Gráficos da força elástica em função da distensão da mola (o gráfico interno possui a mesma escala do principal).

Tabela 1: Grandezas obtidas para o sistema massa-mola na vertical.

Grandeza	Valor	Unidade
N	387	—
$\bar{T} \pm \delta T$	$0,4014 \pm 0,0004$	s
$m \pm \delta m$	$33,96 \pm 0,01$	g
$\bar{k}_e \pm \delta k_e$	$8,32 \pm 0,02$	N/m
$(k \pm \delta k)_{Hooke}$	$8,49 \pm 0,09$	N/m

A constante elástica efetiva definida acima deve ser comparável ao valor de k . A fim de verificar essa afirmação, o valor de k foi obtido através da lei de Hooke. Foram medidas as constantes de ambas as molas (k_1 e k_2), individualmente, e da associação em paralelo (k). Note que, para a configuração ilustrada, os valores obtidos satisfazem o modelo teórico que prevê $k = k_1 + k_2$ (vide Figura 4). Como esperado, $k_e \approx k$. As grandezas calculadas e medidas podem ser visualizadas na Tabela 1.

Deve-se destacar que, embora os valores de k_e e k sejam próximos, essas quantidades descrevem propriedades distintas. k é simplesmente a constante elástica tradicionalmente definida pela lei de Hooke ($\vec{F} = -k\Delta\vec{y}$). Já k_e , esta é uma definição arbitrária e hipotética a partir da frequência angular. Independentemente disso, para oscilações reais (ou seja, amortecidas), $\omega < \omega_0$, o que justifica, neste caso, $k_e \lesssim k$.

3.2. Lançamento horizontal

O segundo experimento, o lançamento horizontal, foi desenvolvido como uma proposta de estimativa da aceleração da gravidade usando TDIC. Comumente, a aceleração da gravidade surge durante o estudo do movimento vertical, ou queda livre. Embora a verificação dessa constante possa ser feita com instrumentos cotidianos e acessíveis (uma trena e um cronômetro manual, por exemplo), do ponto de vista experimental, o processo

de medição acaba sendo comprometido por questões práticas, como por exemplo, o tempo de reação para o acionamento do cronômetro, a liberação do objeto a partir da mesma altura em uma situação de “queda livre”, entre outros.

Neste trabalho, propõe-se a utilização do *Phyphox* para a realização de tal medida; a integração do circuito apresentado com esse aplicativo possibilita a obtenção de um valor razoável para a aceleração da gravidade de forma interativa.

O movimento horizontal tem como uma das principais características o fato de a velocidade inicial ter apenas um componente: o horizontal. Sendo assim, no instante do lançamento, o componente vertical da velocidade é nulo. Para o caso de um lançamento livre, ou seja, apenas sob a ação da força gravitacional, o módulo da velocidade aumenta gradativamente com o passar do tempo, de modo que pode-se identificar uma aceleração (g) na vertical de aproximadamente $9,79 \text{ m/s}^2$ [20].

Visando investigar o valor de g a partir do lançamento horizontal, propõe-se o esquema experimental ilustrado na Figura 5, na qual uma esfera é arremessada de uma altura h horizontalmente com velocidade inicial $\vec{v}$. Uma vez que os componentes verticais da posição e da velocidade são descritos pela cinemática do movimento uniformemente variado, sabe-se que

$$h = \frac{1}{2}gt_q^2, \quad (5)$$

onde t_q é o tempo de queda, que pode ser medido com a função Cronômetro Acústico. Para tal, o sensor do circuito foi posicionado próximo à extremidade da superfície horizontal, de modo que o mesmo fosse acionado imediatamente após a esfera abandonar a trajetória retilínea, gerando, assim, o primeiro evento sonoro e abrindo a cronometragem. Ao colidir com a superfície inferior no término da trajetória pontilhada, o evento sonoro devido à colisão é detectado pelo *smartphone*, encerrando a contagem de tempo. Logo, o intervalo de tempo registrado corresponde ao tempo de queda t_q . Vale destacar que o *smartphone* foi posicionado a cerca de 10 cm dos pontos de impacto e do *buzzer* (circuito).

Com o objetivo de se obter um resultado mais satisfatório, foram realizados 15 lançamentos a partir de uma altura h arbitrária, a saber, $(47,3 \pm 0,2) \text{ cm}$. Sendo assim, o tempo de queda médio obtido foi $(0,311 \pm 0,001) \text{ s}$.

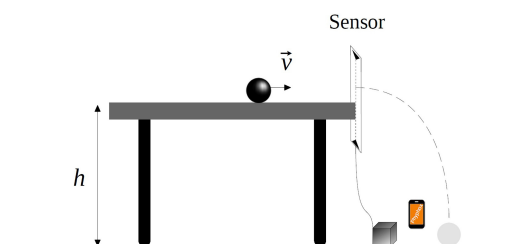


Figura 5: Esquema experimental utilizado para o lançamento horizontal.

Finalmente, para o cálculo de g , foram utilizadas as equações 3, 4 e 5 (com g no lugar de k_e nas duas primeiras expressões), das quais obteve-se o valor de $(9,8 \pm 0,1) \text{ m/s}^2$ para a aceleração da gravidade. Este valor está em bom acordo com o reportado na literatura para g no Rio de Janeiro [20].

4. Considerações Finais

O objetivo principal deste trabalho é estimular o uso de TDIC no ensino de Física e Ciências em todos os níveis educacionais. Os sistemas discutidos foram investigados através da integração de múltiplas tecnologias acessíveis: simulador online, *smartphone* e aplicativo, editores de planilhas e gráficos, e o circuito eletrônico. Sendo assim, há uma variedade de possibilidades a serem exploradas de acordo com o contexto local e temporal.

Os exemplos típicos de Mecânica Clássica que foram apresentados podem ser explorados tanto na educação básica quanto no ensino superior. Do ponto de vista técnico, a proposta possibilita a realização de medidas de intervalo de tempo precisas, o que permite a verificação de grandezas e fenômenos físicos experimentalmente.

Note que, no lançamento horizontal, foi obtido um valor satisfatório para g a partir de uma altura confortável e plausível para um laboratório didático ($\sim 0,5 \text{ m}$). Além disso, o valor obtido condiz com o encontrado na literatura, mesmo através de uma apresentação “informal” do resultado (o cálculo da incerteza de g por meio do método das derivadas parciais quadrático levaria a uma precisão de duas casas decimais – $(9,78 \pm 0,08) \text{ m/s}^2$).

A análise realizada do oscilador vertical no regime subcrítico, acompanhada da lei de Hooke, traz uma perspectiva experimental sobre a aproximação $\omega \approx \omega_0$. Porém, a proposta não se restringe a apenas esses dois experimentos; outras configurações que envolvam a medição de intervalos de tempo a partir do movimento de algum objeto podem ser realizadas, desde que a chave óptica e a escala de tempo se apliquem.

O recurso tecnológico carrega consigo vantagens, desafios e possibilidades. É notável a proposta de inclusão de TDIC no processo de ensino-aprendizagem, pois várias ferramentas podem ser empregadas ao longo de diferentes etapas, ou seja, montagem e planejamento da atividade prática (simulações), execução do experimento (uso do circuito e do *smartphone*/aplicativo) e análise dos dados (editores de planilha e gráfico). Além disso, devido ao fato de eventos sonoros reais e/ou induzidos serem utilizados para a demarcação de intervalos de tempo, o material se mostra como recurso potencial para a inclusão de estudantes com deficiência visual em atividades experimentais, os quais poderiam investigar qualitativamente fenômenos físicos a partir da percepção auditiva dos pulsos sonoros finitos.

A função Cronômetro Acústico, ao acessar um sensor comum a todos os *smartphones* (o microfone), aumenta

o alcance da metodologia apresentada entre os usuários deste tipo de produto, uma vez que esses aparelhos estão cada vez mais presentes na sociedade como um todo. Como mencionado ao longo do trabalho, a tela do *Phyphox* pode ser compartilhada em rede com outros dispositivos (computador, por exemplo), possibilitando a realização de atividades demonstrativas e/ou investigativas em grupo.

À primeira vista, a materialização do circuito ilustrado na Figura 1 pode parecer um empecilho para a aplicação em alguns cenários devido à associação de diferentes tipos de componentes eletrônicos (alguns não tão familiares quando se pensa em formação inicial de professores de Física). Outro desafio pode ser a realização das medidas em um ambiente ruidoso, o que comprometeria ou até mesmo inviabilizaria a coleta de dados. Quanto ao primeiro ponto, deve-se destacar que a montagem do circuito não é apresentada como incumbência do professor, mas sim como um processo de construção colaborativa com os estudantes.

Embora os experimentos propostos sejam voltados para a Mecânica, a Física por trás dos componentes eletrônicos pode ser explorada. Neste ponto, destaca-se a presença de elementos semicondutores (diodo, por exemplo), o que proporciona um caminho para a discussão sobre tópicos de Física Moderna e Contemporânea. Isto posto, torna-se imprescindível uma política de formação inicial e continuada que incentive e atualize os docentes para o exercício de uma prática docente profícua; algumas ações possíveis, por exemplo, seriam cursos de atualização envolvendo (re)apresentação e associação de componentes eletrônicos ativos e passivos, e divulgação de ambientes virtuais para simulações de circuitos e capacitação para a sua utilização. Além disso, a integração do circuito com o *smartphone* permite uma introdução segura do segundo nas atividades experimentais de Mecânica, pois o aparelho não é utilizado como móvel (como por exemplo, na utilização do acelerômetro intrínseco para a determinação da aceleração), o que pode levar a impactos e danos indesejáveis aos usuários.

As dificuldades relacionadas ao ambiente ruidoso podem ser contornadas com a elaboração da(s) atividade(s) em ambiente(s) para além da sala de aula. São notórios os problemas de salas superlotadas e de falta de infraestrutura (laboratório estruturado) em muitas instituições. Sendo assim, para os casos onde tais fatores tornem a implementação inexecutável, propõe-se, sob a orientação do docente, a construção coletiva em espaços para além das fronteiras da instituição escola/universidade. Tal atividade, por sua vez, pode ser empregada como avaliação (parcial) dos estudantes envolvidos.

Aqui, vale ressaltar que a utilização dos dispositivos eletrônicos no ambiente escolar deve estar em consonância com o Art. 2º, § 1º da Lei 15.100/2025, o qual explana que, durante a(s) aula(s), “o uso de aparelhos eletrônicos é permitido para fins estritamente

pedagógicos ou didáticos, conforme orientação dos profissionais de educação” [21].

Finalmente, o material desenvolvido pode contribuir para composição de um laboratório não estruturado e, consequentemente, ser reutilizado em turmas posteriores com outros vieses a partir do recorte local e temporal.

Agradecimentos

Este trabalho teve apoio do programa PROTEC, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.

Referências

- [1] M.A. Moreira, Rev. Prof. Fís. **1**, 1 (2017).
- [2] M.A. Moreira, Estud. Av. **32**, 94 (2018).
- [3] V.R.N. Schuhmacher, J.P. Alves e E. Schuhmacher, Ciênc. educ. (Bauru) **23**, 3 (2017).
- [4] A.R. Arantes, M.S. Miranda e N. Studart, Física na Escola **11**, 27 (2010).
- [5] A.G. Bezerra Jr., L.P. Oliveira, J.A. Lenz e N. Saavedra, Cad. Bras. Ens. Fís. **29**, 469 (2012).
- [6] L.P. Vieira, *Experimentos de Física com Tablets e Smartphones*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (2013).
- [7] A.S. Fontes, M.C. Batista, R.C. Schwerz e M.C.D. Neves, Ens. Saúde e Ambient. **12**, 3 (2019).
- [8] A. Hernández, A. Gomes, E. Sinnecker, R. del Grande, R. Capaz e S. Cardoso, Rev. Bras. Ensino Fís. **43**, e20210248 (2021).
- [9] C.E. Aguiar e M.M. Pereira, Rev. Bras. Ensino Fís. **34**, 3 (2012).
- [10] R. Hessel, C.S. Oliveira, G.A. Santarine e D.R. Vollet, Rev. Bras. Ensino Fís. **30**, 1501 (2008).
- [11] F.F. Luiz, L.E.S. Souza e P.H. Domingues, Rev. Bras. Ensino Fís. **38**, e2504 (2016).
- [12] G. Dionisio e W.C. Magno, Rev. Bras. Ensino Fís. **29**, 287 (2007).
- [13] M.A. Cavalcante, A. Bonizzia e L.C.P. Gomes, Rev. Bras. Ensino Fís. **30**, 2501 (2008).
- [14] S.L. Silva, J.T. Guaitolini Junior, G.S. Ramos e A.C. Gama, Cad. Bras. Ens. Fís. **33**, 2 (2016).
- [15] L.S. Pedroso, J.A. Pinto, J.A. Macêdo e G.A. Costa, Lat. Am. J. Phys. Educ. **14**, 4 (2020).
- [16] S.S. Costa, *Eletrônica e Phyphox: integração e inclusão de tecnologias no ensino de Física*. Trabalho de Conclusão de Curso, Colégio Pedro II, Rio de Janeiro (2023).
- [17] P. Falstad, *Circuit Simulator*, disponível em: <https://www.falstad.com/circuit/>.
- [18] C.B. Lima, Rev. Ilha Dig. **2**, 97 (2010).
- [19] RWTH Aachen University, *Phyphox*, disponível em: <https://phyphox.org/>.
- [20] M.A. Sousa e A.A. Santos, Rev. Bras. Geof. **28**, 2 (2010).
- [21] BRASIL. Lei nº 15.100, de 13 de janeiro de 2025. Brasília, 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/115100.htm.