

A phyphox no estudo do movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola

Albino Rafael Pinto¹, Carlos Saraiva²

¹Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras

²Agrupamento de Escolas de Trancoso, Trancoso

Introdução

Na Física do 10.º ano, na atividade laboratorial “AL 1.2. Movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola: transformações e transferências de energia”, é habitual deixar cair uma bola de uma determinada altura e usar um sistema de aquisição de dados para medir as correspondentes alturas de ressalto. Nesta atividade, de acordo com as aprendizagens essenciais (AE), é sugerido “investigar, experimentalmente, o movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola, com base em considerações energéticas”. Além disso, é importante “comparar energias dissipadas na colisão de uma mesma bola com diferentes superfícies, ou de bolas diferentes na mesma superfície, a partir dos declives das retas de regressão de gráficos da altura de ressalto em função da altura de queda”.

Neste artigo, explicamos como esta atividade laboratorial pode ser facilmente realizada com a aplicação phyphox instalada num telemóvel.

Material necessário

Bolas com elasticidades diferentes, telemóvel e a aplicação phyphox.

Procedimento

Instalar a aplicação gratuita phyphox que está disponível para Android e iOS. Ativar a aplicação no telemóvel e selecionar a opção “Colisão (IN)elástica” (ver destaque a verde na figura 1). Aparece a imagem da figura 2 com o triângulo branco intermitente situado na barra superior laranja (ver destaque a verde na figura 2). Ao clicar nesse triângulo, aparecem duas linhas verticais brancas o que significa que a aplicação está configurada para iniciar o registo (ver destaque a verde na figura 3).

Depois, deixar cair uma bola e a aplicação phyphox utiliza o “Cronómetro Acústico”, para medir o intervalo de tempo entre colisões sucessivas, da bola com a superfície da mesa, até um máximo de cinco. Com base nesses intervalos de tempo, considerando que o módulo da aceleração gravitacional é $9,81 \text{ m/s}^2$ e que a



Figura 1 - Ativação da phyphox.

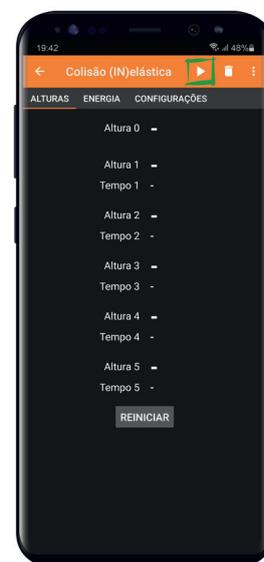


Figura 2 - Iniciar o registo.

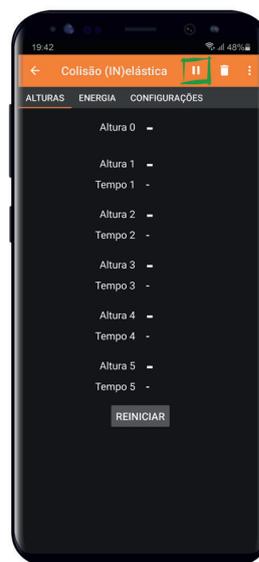


Figura 3 - O cronómetro está pronto.

resistência do ar é desprezável, a aplicação determina as alturas máximas atingidas pela bola em cada ressalto

(da Altura 1 até à Altura 5). A altura inicial de onde a bola foi largada (Altura 0) é calculada pela aplicação, admitindo que a percentagem de energia mecânica dissipada na primeira colisão é igual à da segunda (figura 4). Esta aproximação é aceitável, uma vez que a percentagem de energia dissipada é aproximadamente a mesma em todas as colisões. O “REINICIAR” da aplicação permite fazer novas medidas.

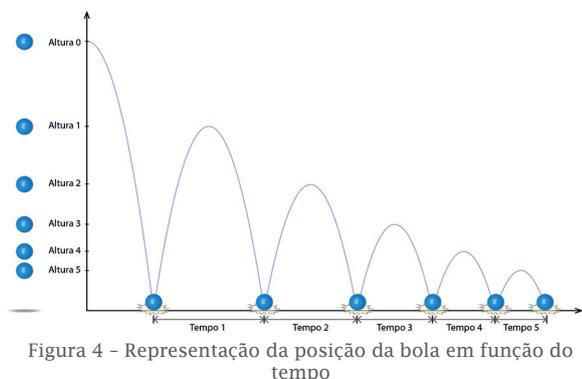


Figura 4 - Representação da posição da bola em função do tempo

Para a realização desta experiência, em geral, não é necessário alterar as configurações da aplicação. No entanto, se o nível de ruído na sala de aula for suficiente para ativar o “Cronómetro acústico”, podemos alterar o “Limiar” para um valor superior até um máximo de 1. Assim, a aplicação reage ao som produzido pela colisão e não ao ruído do ambiente. A localização do telemóvel deve estar o mais próximo possível da zona de impacto, para que os dados sejam registados convenientemente.



Figura 5 - Configurações da experiência.

Fizemos o vídeo “A phyphox no estudo do movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola”, que está disponível no Youtube e cujo link consta nas referências, para explicar o procedimento desta atividade e algumas funcionalidades muito interessantes da phyphox.

Resultados

Usámos uma bola reaproveitada dos desodorizantes “roll-on”, uma bola de golfe e outra de borracha. A superfície onde ocorreram as colisões foi o tampo de uma mesa feito de madeira. Apresentamos os resultados obtidos com a bola de desodorizante (figura 6).

A aplicação mede, apenas, o intervalo de tempo entre colisões sucessivas. Os restantes valores são calculados a partir destes. Por exemplo, ao dividir-se o “Tempo 1” por 2 obtém-se o tempo de queda que é igual ao de subida, ou seja,

$$t_{\text{queda}} = \frac{0,50408}{2} = 0,25204 \text{ s}$$



Figura 6 - Resultados obtidos com uma bola de desodorizante e uma superfície de madeira.

Apesar de no ecrã do telemóvel serem indicados os valores dos tempos com três casas decimais, a aplicação regista os valores com mais casas decimais. Ao clicar nos três pontos, no canto superior direito da barra laranja, podemos seleccionar “Exportados Dados” para ter acesso aos valores com mais casas decimais.

Considerando um referencial de eixo vertical, com origem no tampo da mesa, a equação que traduz o movimento da bola durante a queda é $y = \frac{1}{2}gt^2$, obtendo-se a altura

$$y = \frac{1}{2} \times 9,81 \times 0,25204^2 = 0,31159 \text{ m}$$

ou seja, aproximadamente igual ao valor 31,16 cm apresentado pela aplicação (Altura 1).

Admitindo que o movimento da bola ocorreu apenas na direção vertical e que existiu conservação de energia mecânica durante a queda e ressalto da bola, a percentagem de energia mecânica que permaneceu na bola em relação à energia mecânica antes da sua colisão com o tampo da mesa foi

$$\frac{E_{\text{Antes da colisão}}}{E_{\text{Depois da colisão}}} \times 100 = \frac{mgh_{\text{ressalto}}}{mgh_{\text{queda}}} \times 100 = \frac{h_{\text{ressalto}}}{h_{\text{queda}}} \times 100 \%$$



Figura 7 - Percentagem de energia mecânica que permaneceu na bola em cada colisão.

No caso da segunda colisão obteve-se o valor

$$\frac{h_2}{h_1} \times 100 = \frac{22,448}{31,159} \times 100 = 72,043 \%$$

que é aproximadamente 72,0 % (ver destaque a verde na figura 7).

Assumindo-se que este valor foi igual na primeira colisão, a aplicação determina a altura inicial (Altura 0) de onde a bola foi largada

$$\frac{h_1}{h_0} \times 100 = 72,043$$

$$h_0 = \frac{h_1 \times 100}{72,043} = \frac{31,159 \times 100}{72,043} = 43,251 \text{ cm}$$

sendo aproximadamente igual ao valor 43,25 cm apresentado pela aplicação (Altura 0).

Com base nos resultados, traçámos o gráfico da altura de ressalto em função da altura de queda para as bolas de borracha, de roll-on e de golfe, quando colidiram com o tampo da mesa. Durante a realização das experiências, a superfície da mesa encontrava-se fixa e praticamente indeformável.

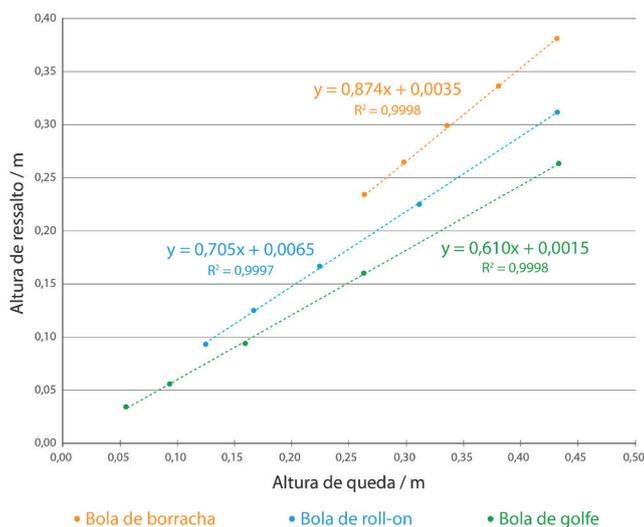


Figura 8 - Gráfico da altura de ressalto em função da altura de queda.

A razão entre a energia mecânica que permaneceu na bola após a colisão e a energia mecânica antes da sua colisão com o tampo da mesa, obtém-se a partir do declive da reta que melhor se ajusta ao conjunto de valores obtidos (figura 8). Assim, a percentagem da energia mecânica que permaneceu nas bolas de borracha, de roll-on e de golfe após cada colisão foi 87,4 %, 70,5 % e 61,0 %, respetivamente. Atendendo a que a diminuição da energia mecânica da bola de borracha após cada colisão com o tampo da mesa foi menor (12,6 %), podemos concluir que a elasticidade deste par de materiais é maior.

O coeficiente de restituição, e , é o quociente entre o módulo da velocidade imediatamente depois da colisão e o módulo da velocidade imediatamente antes da colisão. Considerando que a energia mecânica se conserva du-

rante a queda e ressalto da bola, o coeficiente de restituição também pode ser obtido com base nas alturas de queda e de ressalto, $e = \sqrt{\frac{h_{\text{ressalto}}}{h_{\text{queda}}}}$. Portanto, é igual à raiz quadrada do declive da reta do gráfico da figura 8.

O coeficiente de restituição é uma medida da energia que é dissipada e esta está relacionada com a elasticidade dos materiais em colisão. Quanto maior a elasticidade, maior será o coeficiente de restituição e menor a dissipação de energia. Para uma colisão perfeitamente elástica, o coeficiente de restituição é igual a 1 e não há dissipação de energia. Neste caso, a altura de queda será igual à de ressalto. Para uma colisão perfeitamente inelástica, o coeficiente de restituição é zero, sendo nula a altura de ressalto. Nas situações apresentadas, o coeficiente de restituição está compreendido entre 0 e 1, sendo 0,935 para a bola de borracha, 0,840 para a bola de roll-on e 0,781 para a bola de golfe. A percentagem de energia mecânica dissipada durante a colisão da bola de borracha com o tampo da mesa é menor (maior coeficiente de restituição), então maior é a elasticidade dos materiais em contacto.

Durante a colisão, parte da energia mecânica da bola transforma-se essencialmente em som e em energia interna da bola e da superfície, manifestando-se pelo aumento da temperatura das superfícies que contactam.

Os resultados obtidos nas experiências podem ser guardados através da leitura, a partir da phyphox, por QR code. Para isso, clicar em “+” e, de seguida, em “Adicionar experiência com código QR” como mostra a figura 9.



Figura 9 - Leitura dos QR codes a partir da phyphox.

Os QR codes das experiências para cada uma das bolas encontram-se na figura 10.



Figura 10 - QR codes das experiências.

Produzimos o vídeo “Regressão linear com a calculadora gráfica CASIO fx-CG50”, que está disponível no Youtube e cujo link está na referência 8 abaixo, para explicar como se faz a regressão linear.

Conclusão

A nossa proposta requer um equipamento de fácil acesso que é o telemóvel e, por isso, a atividade laboratorial “AL 1.2. Movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola: transformações e transferências de energia” pode ser facilmente realizada com a turma organizada em pequenos grupos de alunos. Os grupos devem usar bolas ou superfícies diferentes, para que possam comparar os resultados obtidos.

Esta experiência foi realizada com os nossos alunos do 10º ano em contexto de sala de aula. No entanto, atendendo à sua fácil execução e à simplicidade do equipamento necessário, esta atividade pode ser replicada pelos alunos em casa.

Num fenómeno de colisão, como o que foi apresentado, a altura de ressalto é diretamente proporcional à altura de queda e, por esta razão, o ajuste linear é o único que faz sentido. O coeficiente de correlação, R^2 , obtido nas três experiências é muito próximo de 1 (0,9997 e 0,9998). Numa experiência nunca se eliminam completamente os erros e há que considerar as inerentes incertezas dos equipamentos. Contudo, os valores obtidos aproximam-se do previsto no modelo teórico.

Agradecimento

Os autores agradecem à professora Eugénia Gomes, do Agrupamento de Escolas da Lixa, pela revisão do texto.



Albino Rafael Mesquita Pinto é professor no Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras, Licenciado em Física pela Universidade da Beira Interior e Mestre em Física pela Universidade do Minho. Desenvolve simulações utilizando ferramentas computacionais de acesso gratuito.

É autor do blog: <http://fisicanalixa.blogspot.com/>. Em 2022 ganhou o “Prémio André Freitas – Boas práticas pedagógicas” atribuído pela Sociedade Portuguesa de Física.



Carlos Alberto Alexandre Saraiva é Licenciado em Física pela Universidade de Coimbra, Mestre em Ensino de Física e Química pela Universidade de Aveiro e professor no Agrupamento de Escolas de Trancoso.

Os autores deste artigo são coautores de simulações, de artigos publicados na Gazeta de Física e de recursos digitais premiados pela Casa das Ciências. São embaixadores da aplicação phyphox que é uma referência mundial.

Referências

- [1] A aplicação “phyphox” está disponível para Android e iOS em: <https://phyphox.org/>

- [2] Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva, Determinação do valor da aceleração gravítica com a app phyphox, *Gazeta de Física*, vol. 1, pp. 18-20, 2021.
- [3] Vídeo “Determinação do valor da aceleração gravítica com a aplicação phyphox” disponível em: <https://youtu.be/TraWBZuXZV8>

- [4] Vídeo “O meu telemóvel é um osciloscópio - My smartphone is an oscilloscope” disponível em: <https://youtu.be/10Gg059wUxc>

- [5] Vídeo “O meu telemóvel é uma balança. My smartphone is a scale” disponível em: https://youtu.be/326_HGXSrPA

- [6] Vídeo “Outras funcionalidades da phyphox - Other features of phyphox” disponível em: https://youtu.be/muD_lkm1g0w

- [7] Vídeo “A phyphox no estudo do movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola” disponível em: <https://youtu.be/GJ7poBvRayc>

- [8] Vídeo “Regressão linear com a calculadora gráfica CASIO fx-CG50” disponível em: <https://youtu.be/8x2HterQ43A>

- [9] Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva, Determinação do período e da frequência de um sinal sonoro com a aplicação phyphox, *Gazeta de Física*, vol. 46 nº 2, pp. 34-37, 2023.
- [10] Sebastian Staacks et al., Simple Time-of-Flight Measurement of the Speed of Sound Using Smartphones, *The Physics Teacher*, 57, February, pp. 112-113, 2019.
- [11] Sebastian Staacks et al, Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox, *Physics Education*, 53, July, pp. 1-6, 2018.
- [12] Sebastian Staacks et al., Collaborative smartphone experiments for large audiences with phyphox, *European Journal of Physics*, 43, 2022.
- [13] Vídeo “Smartphone-Experiment: (In)elastic Collision (en)” disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ikvtPDwV1FE>
- [14] D Dahnuss et al, Marbles and smartphone on physics laboratory: an investigation for finding coefficient of restitution, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1918 022005, 2021.
- [15] Jesi Pebralia, Determining the Coefficient of Restitution Through the “Bouncing Ball” Experiment using Phyphox, *International Journal of Applied Sciences and Smart Technologies*, Volume 4, Issue 1, pages 35-46, 2022.