

Uso da análise de vídeo para a investigação do rolamento de uma esfera sobre um plano inclinado impresso em 3D

G. Gevu^{1*}; C. C. Vieira¹, R.C.M. Medeiros¹, M.P.P de Castro¹, L. Mota¹

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro;

*giancarlogevu@pq.uenf.br

Resumo

A velocidade (v_{CM}) e a aceleração (a_{CM}) do centro de massa de uma esfera de borracha ao rolar sobre um plano inclinado para diferentes inclinações foram investigadas usando o software Tracker. O experimento consistiu em gravar vídeos em câmera lenta do movimento da esfera. Os ângulos estudados foram $19,2^\circ$, $20,2^\circ$, $21,6^\circ$ e $22,3^\circ$. Para cada inclinação, uma sequência de pontos experimentais foi gerada a partir da marcação da posição da esfera ao longo do plano e em função do tempo. O sistema foi analisado usando a dinâmica do rolamento e a a_{CM} e v_{CM} foram determinadas. Os valores encontrados foram 2,3, 2,5, 2,6 e 2,77 m/s² e 1,07, 1,11, 1,16 e 1,21 m/s para $19,2^\circ$, $20,2^\circ$, $21,6^\circ$ e $22,3^\circ$, respectivamente. Os resultados mostraram-se consistentes com a teoria, ou seja, a a_{CM} determinada experimentalmente se aproximou do valor teórico esperado e a v_{CM} diretamente proporcional à inclinação do plano, exibindo um perfil linear refletido pelo valor de $r = 0,9839$.

Palavras-chave: Ensino de Física, Tracker, Cultura Maker, TIC.

1. Introdução

No contexto aplicado das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) ao ensino de ciências, a análise de vídeo permite a exploração de diferentes conceitos científicos em cenários que não se limitam aos laboratórios didáticos^[1-3]. Dentre as potencialidades, destaca-se a simplicidade operacional, sendo possível a obtenção dos vídeos a partir das câmeras de smartphones convencionais. Além disso, a ação do(a) discente na concepção e execução do experimento atua como elemento motivador, permitindo maior envolvimento e aprendizagem do conteúdo. A análise de vídeo permite o monitoramento do movimento de um objeto a partir de uma referência espacial definida e de uma escala temporal conhecida^[4,5]. Neste trabalho, apresenta-se uma análise do comportamento da velocidade do centro de massa de uma esfera em rolamento sobre um plano inclinado impresso em 3D para diferentes inclinações. Os dados foram interpretados e discutidos à luz da dinâmica do rolamento, exibindo concordância com o previsto na teoria. Assim, a abordagem apresentada figura-se como potencial alternativa para o ensino da mecânica no âmbito do ensino básico e até mesmo em nível superior.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

Para a aquisição e análise dos dados, foram utilizados: um Smartphone (modelo POCO X3 NFC); uma esfera maciça de borracha; um plano inclinado confeccionado via impressão 3D; uma impressora 3D de filamento flexível (marca/modelo Creality Ender 351).

2.2. Metodologia

As gravações foram feitas em câmera lenta com números de quadros reduzidos a 120 fps (*frames per second*), cuja finalidade foi registrar o rolamento de uma esfera sobre um plano inclinado sob diferentes ângulos, medidos em relação à horizontal – a saber, 19,2°, 20,2°, 21,6° e 22,3°. Os vídeos foram analisados por meio do software *Tracker*, disponível para download de forma gratuita.

Para a coleta dos dados experimentais, o comprimento da rampa foi medido com auxílio de uma régua e o valor obtido foi inserido no software como referência espacial. Para cada inclinação, uma sequência de pontos experimentais da posição em função do tempo foi gerada a partir da marcação, quadro a quadro, durante seu rolamento. Conhecendo-se a evolução temporal da posição, a aceleração e a velocidade da esfera puderam ser estimadas a partir de tratamentos matemáticos.

Os dados obtidos foram analisados à luz da cinemática e da dinâmica do rolamento de um corpo rígido. Partindo da 2ª Lei de Newton e considerando as forças que agem sobre a esfera durante o rolamento, podemos escrever a equação de movimento conforme a Eq.1^[6]:

$$I_{CM} \cdot \alpha - m \cdot g \cdot \text{sen } \theta = - m \cdot a_{CM} \quad (1)$$

sendo m a massa da esfera, g a aceleração da gravidade, θ o ângulo do plano inclinado medido em relação à horizontal, α a aceleração angular, a_{cm} a aceleração do centro de massa (CM) e $I_{CM} = 2/5 mR^2$ o momento de inércia de uma esfera de raio R em relação ao seu CM.

Para um referencial fixo no solo, o CM descreve um movimento retilíneo uniformemente acelerado. Considerando a Eq.1, a aceleração e a velocidade do CM ao longo do eixo do movimento podem ser expressas, respectivamente, pelas Eq.2 e Eq.3.

$$a_{CM} = \frac{5}{7} \cdot g \cdot \text{sen} \theta \quad (2)$$

$$v_{CM} = \left(\frac{10}{7} \cdot g \cdot l \cdot \text{tg} \theta \right)^{1/2} \quad (3)$$

sendo l o comprimento da rampa.

3. Resultados e Discussão

A Fig. 1(a) corresponde à curva da velocidade do CM da esfera em função do tempo para a rampa inclinada a 22,3°. O movimento de descida teve duração aproximada de 0,40 s. Os pontos indicados na figura correspondem à primeira derivada da posição. No gráfico, a reta contínua representa o ajuste linear dos dados experimentais e o coeficiente de correlação $r = 0,98853$ indica a boa adequação dos dados à uma função de primeiro grau. O coeficiente angular obtido refere-se à aceleração impressa ao centro de massa da esfera. O comportamento observado é compatível com a previsão teórica, tendo em vista que o movimento realizado pelo centro de massa da esfera apresenta aceleração constante^[1,6]. Para a inclinação em questão, o valor obtido experimentalmente para a_{CM} foi de $(2,77 \pm 0,06)$ m/s², o que representa uma diferença

percentual ($e\%$) de aproximadamente 4% com relação ao previsto pela Eq. 2. Na Tab.1 são apresentados esses valores para as demais inclinações investigadas.

Tabela 1. Valores experimentais da aceleração do centro de massa da esfera para diferentes inclinações.

θ	$a_{CM} (m/s^2)$	$e\%$
19,2°	$2,3 \pm 0,1$	0,3 %
20,2°	$2,5 \pm 0,1$	1,7%
21,6°	$2,6 \pm 0,1$	1,5%
22,3°	$2,77 \pm 0,06$	4,2 %

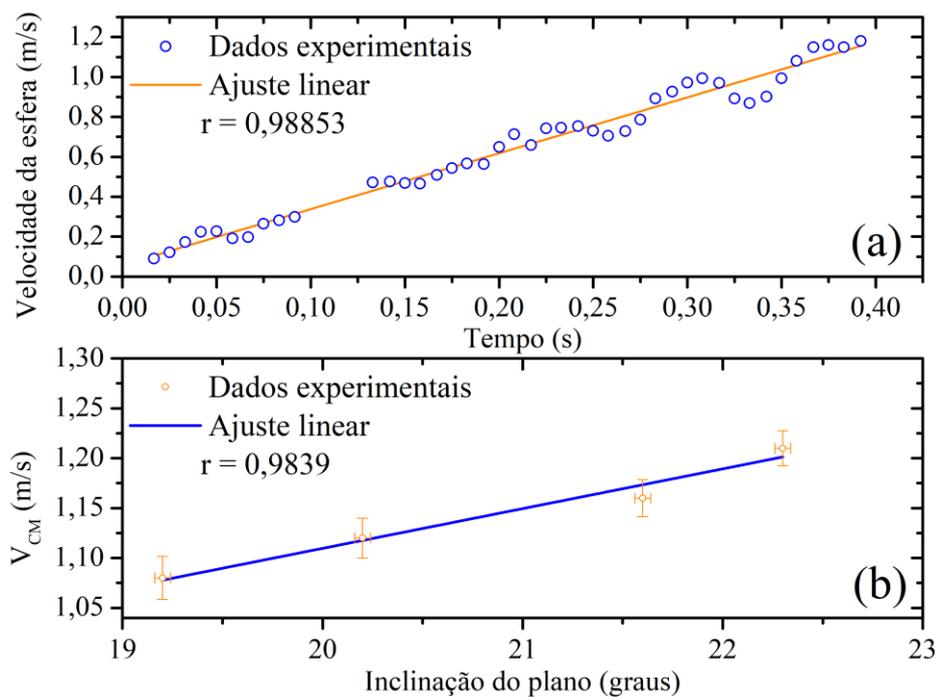


Figura 1. Comportamento da velocidade do centro de massa da esfera em relação ao tempo e ao ângulo de inclinação do plano inclinado.

Já a Fig.1(b) apresenta o comportamento da velocidade do CM no ponto mais baixo da rampa (velocidade final) em função do ângulo de inclinação do plano. Os valores encontrados foram 1,07, 1,11, 1,16 e 1,21 m/s para 19,2°, 20,2°, 21,6° e 22,3°, respectivamente. Os dados experimentais foram bem ajustados por uma função de primeiro grau ($r = 0,9839$) e apresentaram comportamento crescente. Esse aspecto sugere que a velocidade final da esfera

crece conforme a inclinação da rampa é aumentada, corroborando com a relação apresentada na Eq.3.

4. Conclusões

A velocidade do centro de massa (v_{CM}) de uma esfera de borracha ao rolar sobre um plano inclinado com diferentes inclinações foi investigado usando o software *Tracker*. O experimento consistiu em gravar vídeos em câmera lenta do movimento da esfera. Os ângulos estudados foram $19,2^\circ$, $20,2^\circ$, $21,6^\circ$ e $22,3^\circ$. Para cada inclinação, uma sequência de pontos experimentais foi gerada a partir da marcação da posição da esfera ao longo do plano em função do tempo. O sistema foi analisado usando a dinâmica do rolamento e a a_{CM} e a v_{CM} foram determinadas. Os valores encontrados foram $2,3, 2,5, 2,6$ e $2,77 \text{ m/s}^2$ e $1,08, 1,12, 1,16$ e $1,21 \text{ m/s}$ para $19,2^\circ, 20,2^\circ, 21,6^\circ$ e $22,3^\circ$, respectivamente. Os resultados mostraram-se consistentes com a teoria, ou seja, v_{CM} diretamente proporcional à inclinação do plano, exibindo um perfil linear refletido pelo valor de $r = 0,9839$.

Agradecimentos

G. Gevu agradece à Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutoramento junto ao programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da UENF. M.P.P. Castro e L. Mota agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo suporte financeiro por meio dos Processos E-26/211.777/2022 e E-26/210.167/2022.

Referências

- [1] JESUS, V. L. B.; SASAKI, D. G. G. O experimento didático do lançamento horizontal de uma esfera: um estudo por videoanálise. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, p. 1-8 (1507), Jan/Mar. 2015.
- [2] JESUS, V. L. B.; SASAKI, D. G. G. Uma abordagem por videoanálise da propagação de um pulso em uma catenária. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, p. 1-11 (e3301), Set. 2016.
- [3] NUNES, E. T. **As potencialidades da experimentação através da videoanálise para o ensino de física no ensino médio por meio do software Tracker**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Centro de Educação, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, p. 105. 2020.
- [4] SILVA, I. P.; MERCADO, L. P. L. Laboratórios de ensino de física mediados por interfaces digitais. **Revista Multidisciplinar em Educação**, v. 7, n. 17, p. 3-22, Mar. 2020.
- [5] SILVA, V. A.; CRUZ, F. A. Determinação do momento de inércia de um anel não homogêneo com uso da análise de vídeo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 944-956, Ago. 2020.
- [6] NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 1**. Editora Bulcher.1998