

Autores : Filipe Rocha Dutra, Renan Mendonça Valente, Leandro de Oliveira Pereira, Rafael de Sousa Dutra
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
Paracambi
leandro.pereira@ifrj.edu.br

INTRODUÇÃO

Quando objetos são colocados em movimento no interior de um fluido em repouso, forças dinâmicas de arrasto, opostas ao movimento, surgem, dissipando energia, como uma força de atrito. Essas forças dependem das propriedades físicas do fluido, como densidade ρ e viscosidade η , e geométricas dos corpos, bem como da velocidade relativa v entre o corpo e o fluido no qual se encontra imerso. Essa força é expressa por meio da seguinte relação: $F_a = \frac{C_a \rho A v^2}{2}$, sendo A a área da seção transversal e C_a o chamado coeficiente de arrasto. O coeficiente de arrasto depende da velocidade através do número de Reynolds $Re = \rho L v / \eta$, sendo L o comprimento do objeto e η a viscosidade dinâmica do fluido. Um caso comumente discutido na literatura é a situação em que uma esfera lisa de raio R se desloca no interior de um fluido, no regime de baixas velocidades, longe do regime de escoamento turbulento. Neste caso o coeficiente de arrasto é inversamente proporcional ao número de Reynolds $C_a \sim 24/Re = 24\eta/\rho L v$, que substituído na equação, obtém-se a força de Stokes: $F_a = b v$. A compreensão de como a força de arrasto depende da geometria dos corpos, para além da geometria esférica discutida anteriormente, não é bem estabelecida, mesmo para formas regulares. Isto se deve à complexidade de como o coeficiente de arrasto depende do número de Reynolds para diferentes formas, e da dificuldade de obter experimentalmente essa dependência.

OBJETIVO, MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo discute a aerodinâmica de cilindros de diferentes comprimentos, cujos movimentos são influenciados pela força de arrasto do ar. Para isso, investigamos a constante de amortecimento γ . É uma extensão de um trabalho antes realizado, que investigamos a dependência da força de arrasto em função do raio de diferentes discos de papelão.

Foram construídos cilindros de papelão de mesmo raio $r = 7,5 \pm 0,1\text{cm}$ e diferentes comprimentos (0,6cm, 1,8cm, 2,5cm, 3,8cm, 4,9cm, 6,0cm e 7,5cm). Construímos um sistema massa-mola com um cilindro com massas aferidas, tendo o sistema com a mesma massa aproximada $m = 217,0 \pm 0,2\text{g}$. É importante igualar as massas para analisar o efeito isolado da força de arrasto influenciada apenas pelo comprimento dos discos, tendo a força peso fixa. A partir disto, foram gravados vídeos, os quais posteriormente foram analisados no software Tracker Video Analysis, permitindo rastrear o movimento oscilatório dos cilindros. A figura 1 ilustra a montagem experimental.

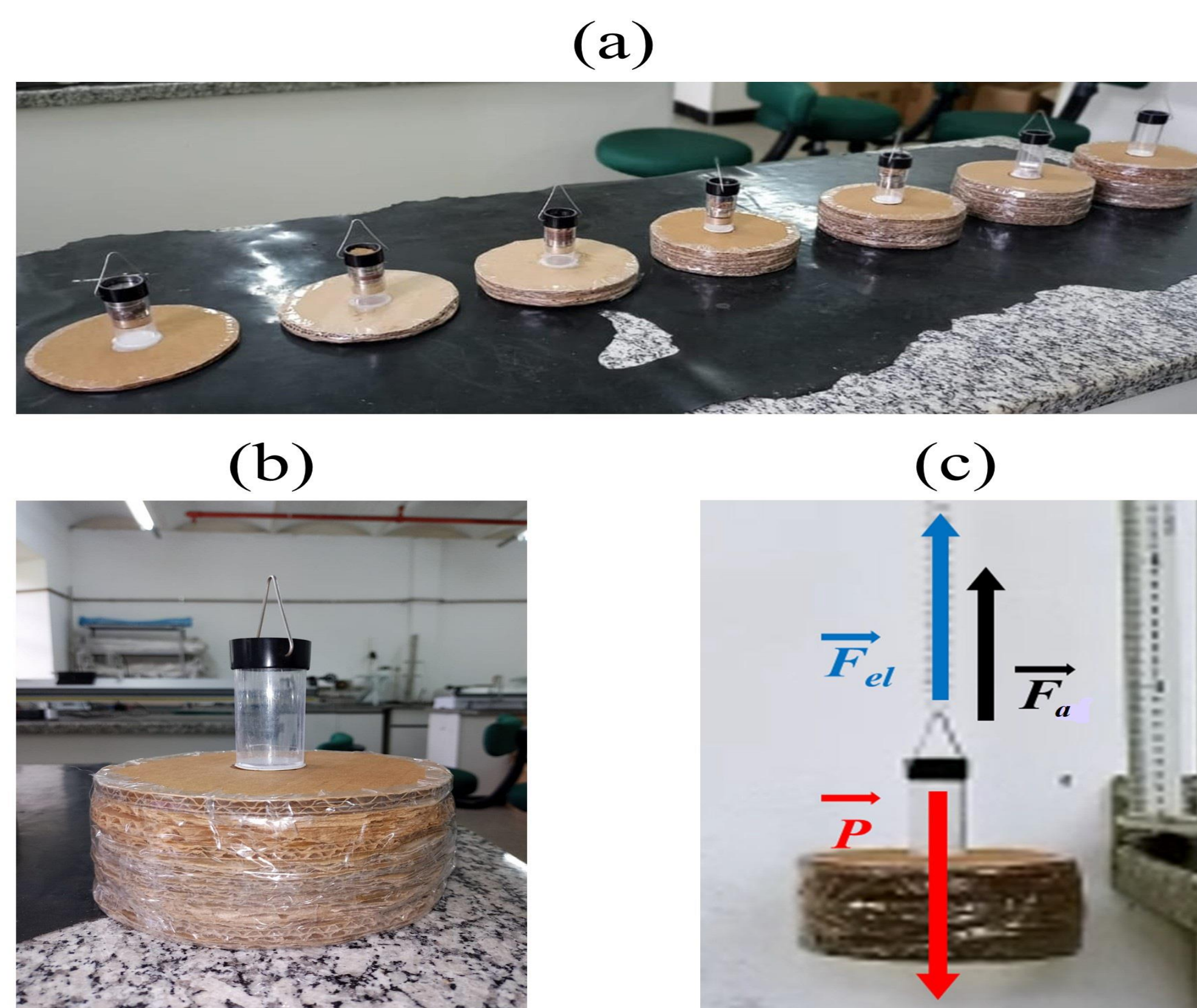


Figura 1 – Arranjo experimental. (a) 7 cilindros de papelão cortados com diâmetros iguais e comprimentos 0,6 cm, 1,8 cm, 2,5 cm, 3,8 cm, 4,9 cm, 6,0 cm e 7,5 cm. (b) Pequeno cilindro de plástico colado a base superior cilindro. (c) Esquema das forças atuantes no cilindro de papelão em uma dada realização experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As oscilações exibidas na figura 2 mostram um comportamento de amortecimento subcrítico para o movimento do cilindro de comprimento $L = 7,5\text{cm}$, em que temos as conhecidas soluções oscilatórias amortecidas. Neste caso o sistema mecânico executa diversas oscilações com a amplitude modulada por uma exponencial decrescente com constante de tempo $2/\gamma$ ($\gamma = \text{constante de amortecimento}$). Obteve-se um comportamento decrescente da constante de amortecimento γ em função do comprimento L , conforme representado na figura 3.

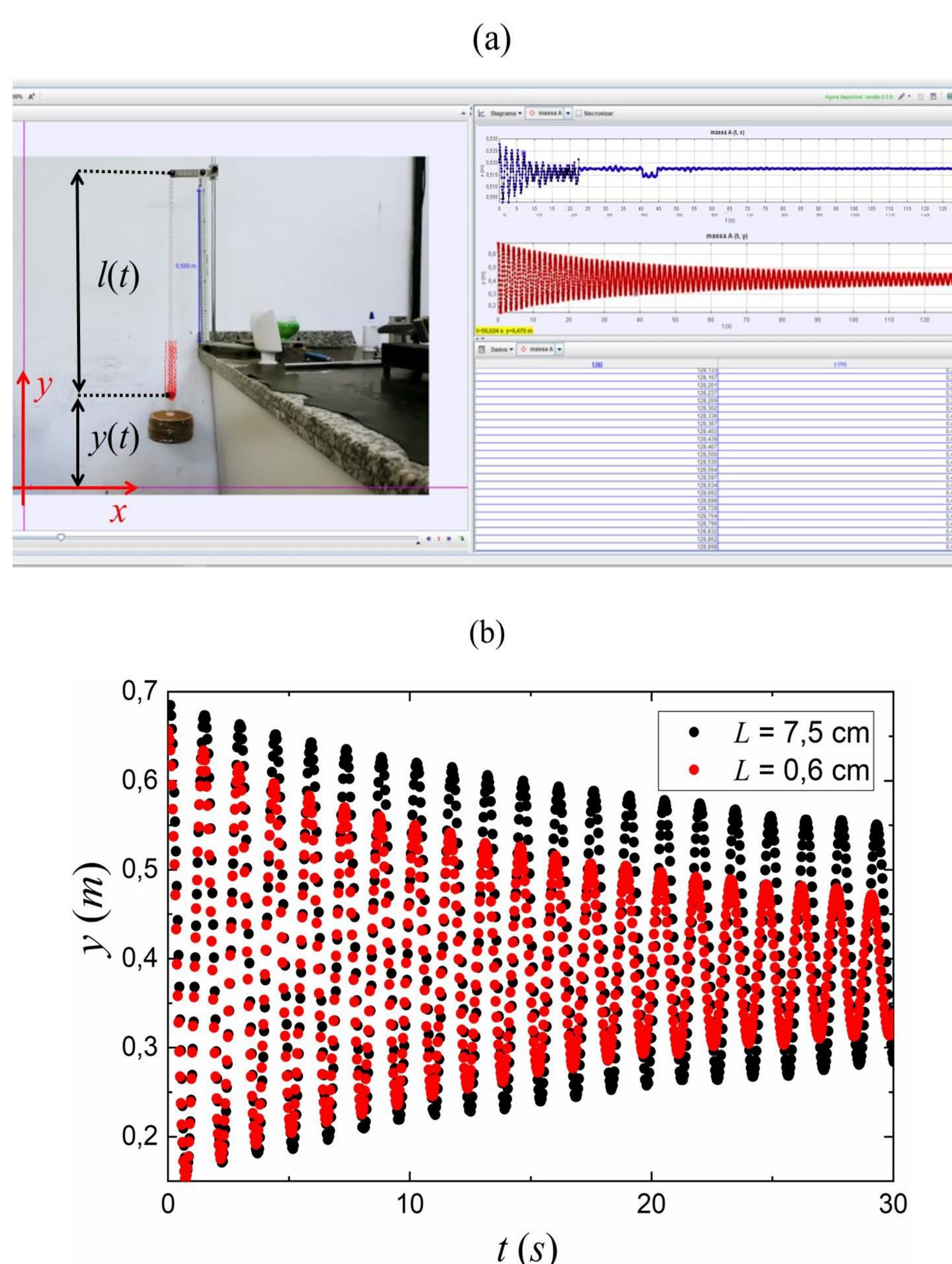


Figura 2 – (a) Interface gráfica do programa Tracker, contendo uma foto do experimento em análise, para o cilindro maior de comprimento $L = 7,5\text{cm}$. Nesta figura temos os dados referentes as coordenadas x (quadrados azuis) e y (quadrados vermelhos) em função do tempo t . (b) Posição vertical em função do tempo para os cilindros de comprimentos 0,6cm e 7,5cm, conforme a legenda

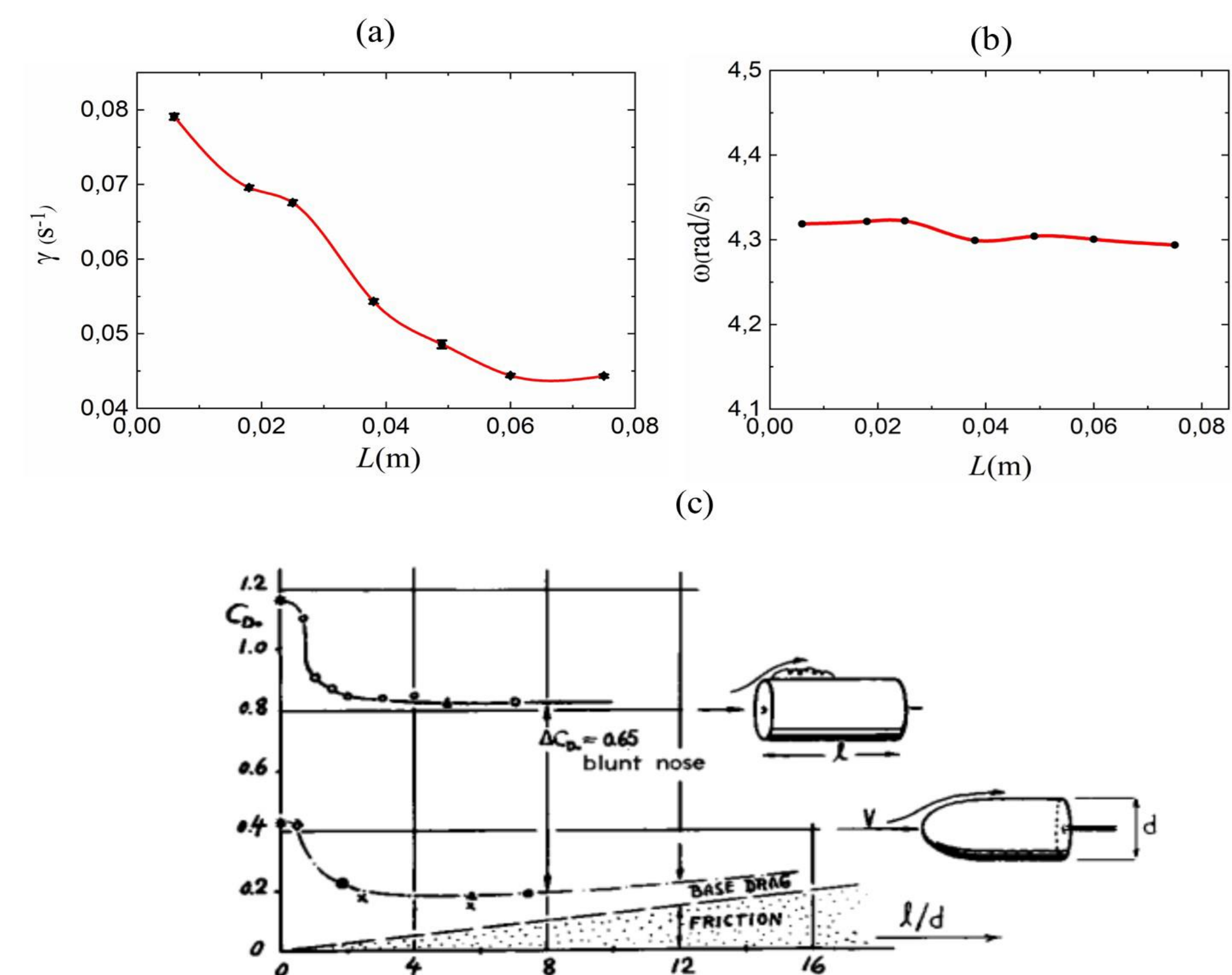


Figura 3 – Figura 5: (a) Constante de amortecimento em função do comprimento do cilindro de papelão. A linha vermelha serve apenas de guia para os olhos. (b) Frequência angular de oscilação em função do comprimento do cilindro. (c) Ilustração adaptada da referência (Hoerner fluid dynamics, 1965). Coeficiente de arrasto hidrodinâmico em função da razão entre o comprimento e o diâmetro, de cilindros de formatos diferentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho propomos uma prática de baixo custo. Investigamos a aerodinâmica de cilindros de papelão, de diferentes comprimentos e mesmo raio, por meio da vídeo-análise de seus movimentos oscilatórios amortecidos pelo ar. Fixando a massa do sistema, investigamos a constante de amortecimento γ dos cilindros, ajustando um conhecido modelo matemático, que descreve o movimento observado durante o experimento. Justificamos qualitativamente o comportamento experimental de decréscimo da constante de amortecimento em função do comprimento do cilindro, com resultados para a constante aerodinâmica de cilindros encontrados na literatura, devido a proporcionalidade entre a constante aerodinâmica e a constante de amortecimento $C_a \sim \gamma$.

REFERÊNCIAS

L.D. Landau and E.M. Lifshitz, Fluid Mechanics (Pergamon, Oxford, 1987). | M.S.D. Cattani, Elementos de Mecânica dos Fluidos (Edgard Blucher, Sao Paulo, 2005). | B.R. Munson, T.H. Okiishi, W.W. Huebsch e A.P. Rothmayer, Fundamentals of fluid mechanics (John Wiley Sons, New York, 2006). | H.M. Nussenzveig, Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor (Editora Blucher, São Paulo, 2018). | T. Kroetz. Revista Brasileira de Ensino de Física, 35, (2013). | H. A. Son, S. Lee e J. Lee. Water, 12, n. 6, 1790, (2020). | P. V. S. Souza e P. M. C. Oliveira. Revista Brasileira de Ensino de Física, 38, (2016). | F. S. Hoerner. Fluid-dynamic drag. Hoerner fluid dynamics, 1965. | C. E. Aguiar e G. Runimi. Revista Brasileira de Ensino de Física, 26, 297-306, (2004). | B. S. G. Almeida e R. C. Silva. Revista Brasileira de Ensino de Física, 37, 3505-1-3505-9, (2015). | L. O. Pereira et al. Revista Brasileira de Ensino de Física, 43, (2021). | V. L. B. de Jesus. Experiments and Video Analysis in Classical Mechanics (Undergraduate Lecture Notes in Physics). (1. ed. Cham: Springer International Publishing AG, 2017).