

PROPOSTA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE RESSONÂNCIA DE UMA HASTE UTILIZANDO MATERIAIS ACESSÍVEIS

Experimental proposal for teaching rod resonance using accessible materials

Vinicius Moésio Rosário Queiroz [vinicius.queiroz@alunos.ufersa.edu.br]

João Victor Medeiros Oliveira [joao.oliveira01327@alunos.ufersa.edu.br]

Vinicius de Araújo Medeiros [vinicius.medeiros72230@alunos.ufersa.edu.br]

Departamento de Engenharias

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró

Rua Francisco Mota 570, CEP 59625-900, Costa e Silva, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil

Jusciane da Costa e Silva [jusciane@ufersa.edu.br]

Gustavo Oliveira Gurgel Rebouças [gustavoreboucas@ufersa.edu.br]

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física-Polo 09

Departamento de Ciências Naturais, Matemática e Estatística

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró

Rua Francisco Mota 570, CEP 59625-900, Costa e Silva, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil

Recebido: 23/12/2025

Aceito: 06/04/2026

Resumo

A vibração é um fenômeno presente no cotidiano, cuja compreensão é essencial em diversas áreas do conhecimento. No estudo de sistemas vibrantes, a frequência de ressonância é um parâmetro fundamental, porém, nos ensinos médio e superior, esta temática costuma ser abordada apenas em casos simples, como o oscilador massa-mola e o pêndulo simples. Tal limitação negligência a importância de outros sistemas, como as oscilações forçadas e amortecidas. Este trabalho propõe um experimento didático para o ensino de ressonância de forma prática e interativa, por meio da construção de um sistema simples de oscilações forçadas utilizando um motor DC de 9V. Esses motores, comumente encontrados em brinquedos e controles de videogame, produzem vibrações perceptíveis e oferecem uma alternativa acessível para a experimentação em sala de aula. No aparato proposto, uma haste vibrante permite observar e analisar a frequência de ressonância do sistema. Durante a montagem e o uso do dispositivo, os estudantes exploram conceitos de oscilação amortecida, forçada e ressonância, além de compreenderem a influência de diferentes parâmetros físicos. A proposta busca aproximar o ensino da realidade dos sistemas físicos, tornando o aprendizado mais dinâmico e superando a abordagem mecanizada presente em muitos materiais didáticos.

Palavras-Chave: Oscilações; Ressonância; Ensino de Física; Oscilações Forçadas; Materiais Acessíveis.

Abstract

Vibration is a ubiquitous phenomenon in everyday life, and its understanding is essential in various fields of knowledge. In the study of vibrating systems, resonance frequency is a fundamental parameter; however, in high school and undergraduate education, it is usually restricted to idealized cases, such as the mass-spring oscillator and the simple pendulum. This limitation overlooks the importance of more complex systems, such as forced and damped oscillations. This work proposes a didactic experiment for teaching resonance in a practical and interactive way, through the

construction of a simple forced oscillation system using a 9V DC motor. These motors, commonly found in toys and video game controllers, produce perceptible vibrations and offer an accessible alternative for classroom experimentation. In the proposed apparatus, a vibrating rod allows the observation and analysis of the system's resonance frequency. During the assembly and operation of the device, students explore concepts such as damped and forced oscillation, resonance, and the influence of different physical parameters. The proposal aims to bring teaching closer to the reality of physical systems, making learning more dynamic and overcoming the purely mechanized approach present in many educational materials.

Keywords: Oscillations; Resonance; Physics Teaching; Forced Oscillations; Accessible Materials.

Introdução

Na natureza, diversos movimentos apresentam repetição em intervalos de tempo determinados. Este comportamento está presente em fenômenos cotidianos, como o movimento de um lustre suspenso, a vibração de uma corda em um instrumento musical, o pêndulo de um relógio clássico, o comportamento do amortecedor de veículos e outros dispositivos de absorção de impacto. Em sistemas biológicos, a periodicidade se manifesta na respiração (expansão e contração dos pulmões), nos batimentos cardíacos, no ato de caminhar e no bater das asas de um pássaro. Tais eventos, denominados fenômenos oscilatórios ou periódicos, constituem um dos pilares essenciais da Física para a descrição de diversos sistemas naturais (Rao, 2009; Chechurin; Chechurin, 2017).

Apesar de sua notória presença no cotidiano e em diversas áreas do conhecimento, o ensino da física de oscilações em sala de aula frequentemente restringe-se a abordagens meramente teóricas e expositivas, carecendo de conexão com sistemas reais. Este cenário pode resultar na redução do interesse dos discentes, bem como na dificuldade de compreensão e, principalmente, de visualização prática dos princípios e fenômenos relacionados aos conceitos de oscilações. Adicionalmente, mesmo quando ocorrem aulas experimentais, grande parte delas apresenta caráter improvisado, esporádico e assistemático, o que compromete seu potencial formativo e sua integração ao currículo escolar (Carvalho et al., 2014).

As atividades experimentais configuram-se como uma estratégia pedagógica relevante para o processo de ensino e aprendizagem, pois favorecem a compreensão dos conteúdos e tornam o processo educativo potencialmente significativo (Araújo, 2003). A realização de experimentos possibilita ao aluno a compreensão da natureza da ciência e de seus conceitos fundamentais, além de estimular o desenvolvimento de atitudes investigativas e críticas. É importante destacar que o objetivo principal da abordagem experimental não deve ser restrito à mera verificação das ideias apresentadas nos livros didáticos (Borges, 2002; Moreira, 1991). Pelo contrário, o enfoque deve ser a promoção do pensamento crítico nos estudantes a respeito da ciência e do mundo circundante (Freire, 1987; Gaspar, 2009; Sagan, 2006). Ademais, as práticas experimentais contribuem para identificar concepções alternativas ou não científicas e têm potencial de despertar ativamente o pensamento crítico sobre a física e a ciência, permitindo ao estudante compreender seus conceitos e os limites de validade (Steven; Lehman, 1993; Tavares; Farias; Silva, 2020).

O uso de programas e aplicativos de análise de vídeo, como o *Tracker* (Tracker, 2025) e o *Lablet* (Lablet, 2025), tem se difundido amplamente devido à acelerada popularização dos smartphones com câmeras de alta qualidade e ao aumento de trabalhos com foco nesta temática. Propostas de experimentos de física que utilizam materiais acessíveis podem ser filmadas e analisadas por meio de softwares gratuitos e de uso intuitivo, contando com diversos tutoriais disponíveis. Desta forma, é possível realizar experimentos que, anteriormente, necessitavam de equipamentos de

laboratório de custo elevado com sensores sofisticados, bastando filmar os experimentos com os devidos cuidados requeridos pelo programa.

Assuntos como cinemática e leis de Newton (Rossini et al., 2020), rolamento em um plano inclinado (Rebouças et al., 2023; Sasaki, 2019), rotações e momento de inércia (Sasaki, 2018; Santos et al., 2020) e oscilações (Bonventi Jr., 2015; Moraes et al., 2020), dentre outros, fazem uso de programas de análise de vídeo para a coleta de dados. Esta técnica facilita a coleta e a visualização gráfica de diversas grandezas relevantes ao experimento em sala de aula.

Neste trabalho, apresentamos uma proposta de aparato experimental construído com material acessível, que pode ser utilizado ou adaptado conforme o contexto da aplicação, para estudar aspectos qualitativos e quantitativos de um sistema oscilatório. Será investigada a vibração de uma haste que estará com uma das extremidades presa (engastada) enquanto a outra extremidade pode oscilar livremente devido a uma força externa que retira o sistema inicialmente de sua posição de equilíbrio. Neste caso, o sistema oscila de maneira amortecida até parar completamente, caracterizando-se como um Oscilador Harmônico Amortecido (OHA). A massa na extremidade livre é um motor DC de vibração que permite o controle externo de sua frequência de vibração. A amplitude de oscilação será máxima quando a frequência de vibração do motor coincidir com a frequência de ressonância natural do sistema oscilatório, situação em que o sistema se comporta como um Oscilador Harmônico Forçado (OHF).

Oscilador Harmônico e a Haste Engastada

O movimento oscilatório denominado harmônico pode ser definido, de maneira simplificada, como um sistema unidimensional que, na ausência de forças dissipativas, ocorre quando o corpo está sujeito a uma força restauradora diretamente proporcional ao deslocamento e que atua no sentido oposto ao movimento. Ou seja, se um corpo é retirado de sua posição de equilíbrio, a força restauradora tende a trazê-lo de volta, conforme definido pela Lei de Hooke:

$$F = -kx \quad (1)$$

Sendo F a força restauradora, k é a constante de proporcionalidade (ou constante elástica) e x é o deslocamento em relação a posição de equilíbrio. A posição em função do tempo $x(t)$ do movimento oscilatório é descrita pela função:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2)$$

Onde A é a amplitude do movimento, ω é a frequência angular e ϕ a fase inicial. A frequência angular é diretamente relacionada com a frequência de oscilação f , que indica o número de repetições, ou ciclos, do movimento em uma unidade de tempo, e ao período de oscilação T , que é o tempo necessário para completar um ciclo. A relação entre essas grandezas é dada por:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

Associando a Equação (1) à Segunda Lei de Newton e à Equação (2), é possível determinar a frequência natural de oscilação (ω) para um sistema de massa m :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

A frequência natural (ω) também é conhecida como frequência de ressonância do sistema. Consequentemente, um sistema que é perturbado passará a vibrar com esta frequência característica.

Um dos sistemas mais simples de osciladores harmônicos é o sistema massa-mola, onde uma massa oscila horizontalmente, presa a uma extremidade de uma mola. Neste caso, a constante (k) é a constante elástica da mola, e a frequência de oscilação é exatamente a Equação (4). Outro exemplo é o pêndulo simples que, para pequenas oscilações, comporta-se como um oscilador harmônico, composto por uma massa presa a um fio inextensível de comprimento L (e massa desprezível). Há diversos sistemas oscilatórios e embora a complexidade matemática da descrição da frequência natural e de outros parâmetros aumente para sistemas mais elaborados, persiste o princípio de que todo sistema oscilatório possui uma frequência típica característica, fundamental para o estudo da dinâmica (Nussenzveig, 2014; Rao, 2009).

Para sistemas reais os tipos de oscilações podem ser classificados em livres e forçadas. As oscilações livres ocorrem quando o sistema oscila em virtude de uma excitação inicial não repetida, mantendo-se em movimento na ausência de força externas adicionais e reduzindo a amplitude com o tempo. Nestes casos, o movimento se mantém sem aplicação contínua de forças externas. Devido à presença de forças dissipativas (como atrito ou amortecimento interno do material), a amplitude do movimento reduz-se progressivamente ao longo do tempo até que o sistema retorne ao equilíbrio. As oscilações forçadas dependem da aplicação contínua de uma força externa periódica. A frequência de oscilação do sistema, após um curto período de transição, passa a ser ditada pela frequência dessa força externa. O fenômeno conhecido como ressonância manifesta-se quando a frequência de excitação coincide com uma das frequências naturais do sistema (Quesada, 2012). A característica mais marcante desse fenômeno é a ocorrência de deslocamentos com maior amplitude, mantendo-se constantes ao longo do tempo e a depender da intensidade da força, isso pode resultar em tensões e deformações elevadas, podendo causar deformações que comprometam a integridade do sistema (Borobia, 2012).

A proposta deste trabalho é construir um sistema oscilatório com materiais acessíveis, composto por uma haste engastada (fixada rigidamente em uma das extremidades), conforme apresentado na Figura 1(a). Na extremidade livre da haste, um motor de vibração de massa 12,0 g está acoplado, fixado com o uso de fita adesiva. Quando o sistema é perturbado e retirado de sua posição de equilíbrio com a mão, ele é liberado para oscilar livremente. Por se tratar de um sistema real, que inevitavelmente possui forças dissipativas, o sistema oscila com a sua frequência natural, porém com sua amplitude reduzindo-se progressivamente até a parada completa. Neste cenário de oscilação livre e com perdas de energia, o sistema se comporta como um Oscilador Harmônico Amortecido (OHA).

A Figura 1(a) ilustra que os fios dos conectores do motor de vibração estão ligados a uma fonte de tensão variável, possibilitando o controle da frequência de rotação do motor. Neste caso, com o motor em rotação e variando-se sua frequência com o uso da fonte, é possível identificar o instante em que a frequência de rotação coincide com a frequência de ressonância do sistema devido à estabilização da amplitude máxima de oscilação. Este sistema de oscilação, por sua vez, caracteriza-se como um Oscilador Harmônico Forçado (OHF). Diferentemente do OHA, o OHF é caracterizado pela presença de uma força externa dependente do tempo que continuamente fornece energia ao sistema, contrabalanceando as perdas por amortecimento, e assim, mantendo a amplitude de oscilação.

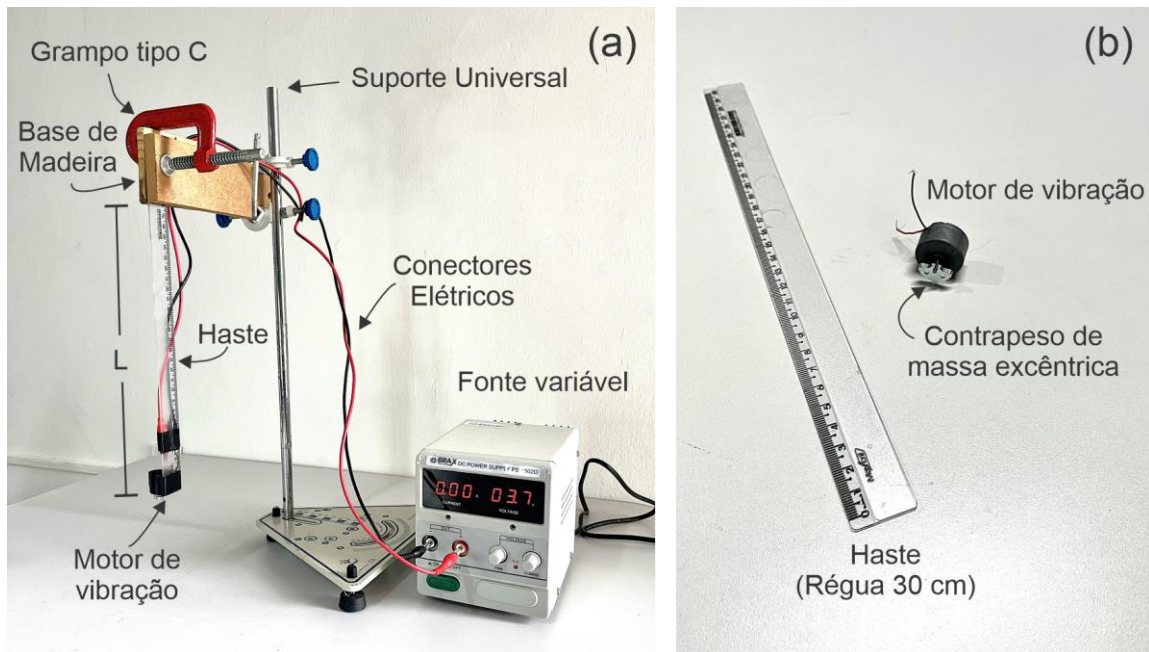


Figura 1: (a) Montagem do experimento com os materiais utilizados e (b) detalhe do motor de vibração e haste, neste caso uma régua plástica de 30,0 cm.
Fonte: Os autores.

Os primeiros estudos sobre o comportamento de estruturas delgadas, como vigas e hastes, foram realizados por Leonhard Euler (1744) e Daniel Bernoulli (1751). A formulação desses trabalhos deu origem à clássica Teoria de Euler–Bernoulli, que permanece como a base fundamental para a análise de flexão e vibração de vigas e hastes delgadas até o dia de hoje (Hoffmann, 2014). Esta seção apresenta o assunto de maneira simplificada, já que o experimento proposto é simples e focado na observação e na análise qualitativa e quantitativa dos fenômenos OHA e AHF. Para uma abordagem mais profunda e o detalhamento das derivações matemáticas completas, estas podem ser encontrados nas referências (Nussensveig, 2014; Rao, 2009; Chechurin; Chechurin, 2017).

Materiais e Métodos

Para a montagem da proposta experimental, foram utilizados: uma régua plástica de 30 cm, um motor de vibração, comumente encontrado em controles de *videogames*, um suporte universal, grampo do tipo “C”, fonte de alimentação de corrente contínua com controle de tensão controlada e cabos elétricos. A régua é usada como haste vibratória. A Figura 1(a) apresenta a montagem do experimento com os materiais indicados. Cabe ressaltar que os componentes podem ser adaptados: o suporte universal pode ser substituído por uma estrutura de canos de PVC e o motor de vibração pode ser adquirido comercialmente ou encontrado em sucatas de eletrônicos, por exemplo.

O motor de vibração (detalhe na Figura 1(b)) utilizado nesta proposta apresenta tensão nominal de 9,0 V. No entanto, é possível controlar sua frequência de vibração por meio do ajuste da tensão e, conseqüentemente, da corrente elétrica fornecida aos seus terminais. De forma simplificada, este dispositivo apresenta um contrapeso de massa excêntrica que, ao girar, gera a vibração desejada. Para o desenvolvimento deste trabalho, as tensões aplicadas variaram entre 0,00 e 7,00 volts. Esta faixa de valores foi escolhida por se manter abaixo da tensão nominal de 9,0 V, garantindo que a integridade do componente ao não exceder a recomendação do fabricante.

Para obter a posição da extremidade livre da haste em função do tempo, foi utilizado o *Software* de análise de vídeo *Tracker* (Tracker, 2025). Embora existam outros programas também

gratuitos e com as mesmas funcionalidades, como o Lablet (Lablet, 2025). Optamos pelo *Tracker* por se consolidar como uma excelente ferramenta de análise de vídeos, gratuita e desenvolvida inicialmente para o ensino de Física (Carvalho; Christian; Belloni, 2013). O *software* permite realizar experimentos junto aos discentes, mesmo em escolas com pouca ou nenhuma estrutura de laboratório, possibilitando a obtenção de resultados com qualidade e com potencial para fomentar discussões sobre os conceitos físicos de interesse (Bonventi Jr; Aranha, 2015).

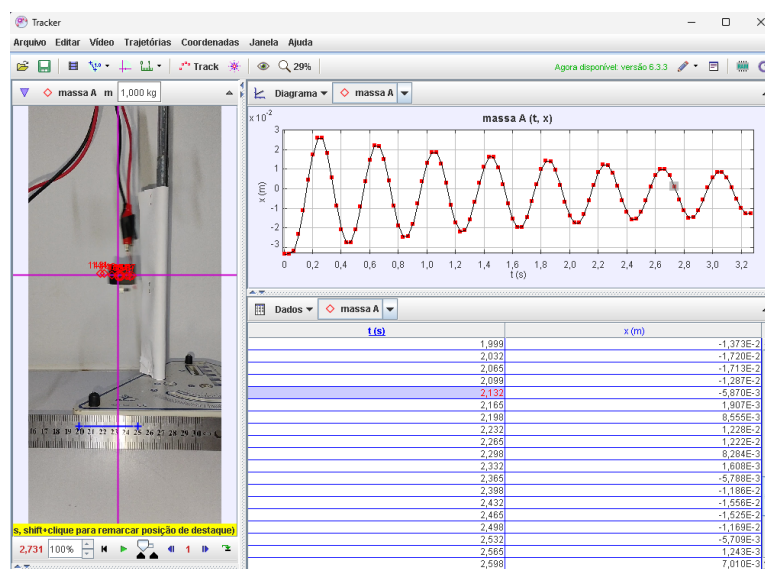


Figura 2: Captura de tela do *software Tracker* mostrando uma análise realizada para este trabalho. À esquerda, o vídeo com os pontos obtidos e a barra de calibração. Na parte direita superior o gráfico da oscilação e abaixo a tabela com os dados da posição do ponto escolhido em função do tempo.

Fonte: Os autores.

O programa *Tracker* possibilita o rastreamento de um ponto de interesse em movimento a partir de um vídeo. Desse modo, a ferramenta gera uma série de dados que representam a posição em função do tempo $x(t)$, com um intervalo de tempo constante. A Figura 2 apresenta a interface do *Tracker* com a análise de um dos vídeos utilizados para a obtenção dos dados, especificamente para o caso do OHA. No momento de uso já é possível identificar visualmente o comportamento oscilatório da extremidade do sistema haste-motor. Estes dados gerados pelo *Tracker* (em formato tabular) podem ser exportados e utilizados em outros *softwares* especializados para a construção de gráficos e ajustes de curvas.

Resultados

A montagem experimental permite fixar uma extremidade da haste verticalmente, na parte superior, definindo o comprimento livre da haste como a distância entre o ponto de fixação (engaste) até a extremidade inferior (onde o motor é acoplado). Dessa forma, é possível realizar os experimentos com distintos comprimentos (L). Foram selecionados três comprimentos distintos como variáveis de estudo: $L = 22,0$ cm, $L = 25,0$ cm e $L = 28,0$ cm. A escolha desses valores justifica-se pela dificuldade de controlar a frequência de excitação do motor para hastes mais curtas, o que inviabiliza a entrada em ressonância de forma controlada.

A Figura 3 apresenta a posição do motor em função do tempo para uma oscilação livre e para a oscilação forçada para a haste de 22,0 cm. É possível identificar os dois tipos de oscilação, a

oscilação livre (pontos pretos) na qual a amplitude diminui com o tempo, caracterizando o OHA e a oscilação forçada (pontos vermelhos), com a manutenção da amplitude devido à força restauradora do motor de vibração ao se operar na frequência de ressonância do sistema haste-motor. O período de oscilação obtido para as seis primeiras oscilações foi de 0,18 s, correspondendo a uma frequência de 5,55 Hz. A partir da quarta oscilação livre, o período começa a sofrer dessincronização em relação a OHF. Isto pode ocorrer devido a oscilações em outras componentes espaciais tornarem-se mais evidentes, lembrando que estamos trabalhando com um sistema real e, portanto, sujeito a diversas forças dissipativas.

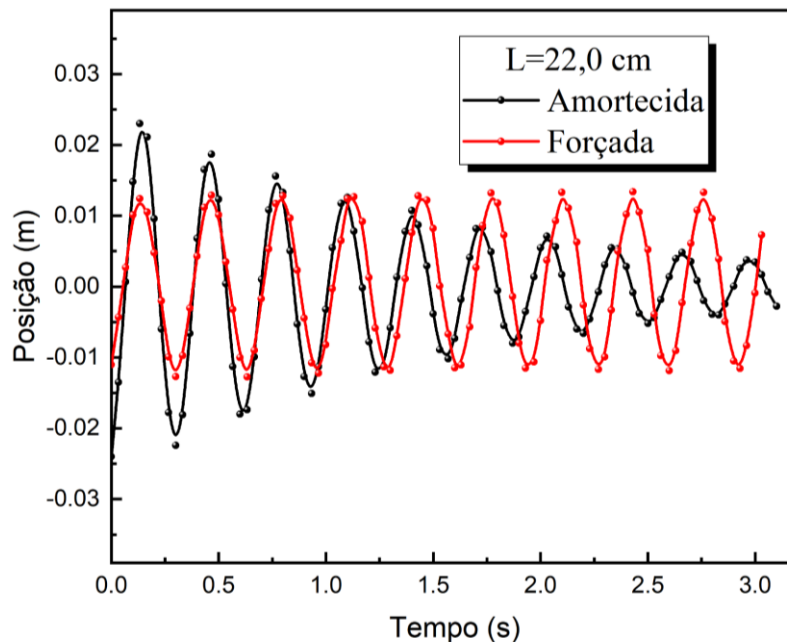


Figura 3: Posição do motor preso à haste em função do tempo para uma haste de 22,0 cm. A oscilação livre está representada por pontos pretos e a oscilação forçada, pontos vermelhos. As linhas são guias de visualização.
Fonte: Os autores.

Na vibração forçada, o motor fornece continuamente energia para o sistema na frequência natural deste, logo a amplitude de oscilação se estabiliza em um valor máximo. Neste caso, diz-se que a frequência natural de oscilação do sistema é a mesma do motor de vibração. Desse modo, ajustando a tensão nos terminais do motor é possível controlar a frequência de vibração e consequentemente, atingir a ressonância do sistema, como pode-se observado na Figura 3 (pontos em vermelho).

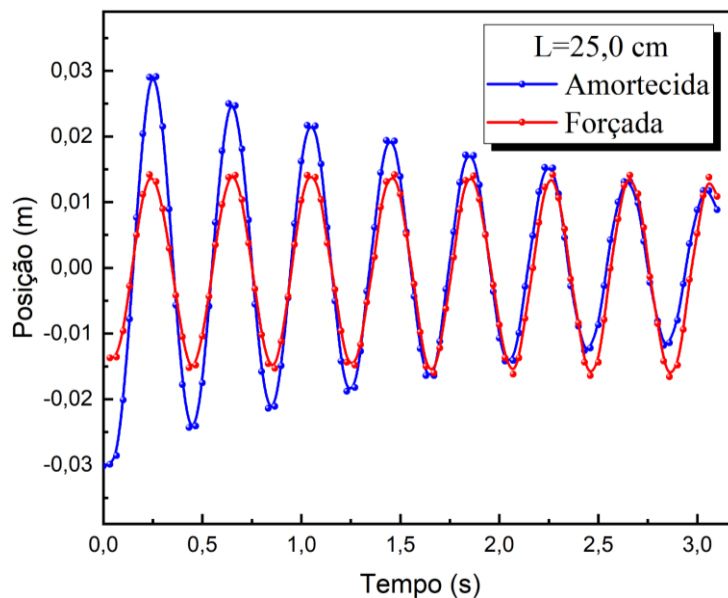


Figura 4: Posição do motor preso à haste em função do tempo para uma haste de 25,0 cm. A oscilação livre está em pontos pretos e a oscilação forçada, pontos vermelhos. As linhas são guias de visualização.

Fonte: Os autores.

A oscilação da extremidade do sistema, para $L = 25,0$ cm, é apresentada na Figura 4. Neste caso, observa-se uma melhor sincronicidade para o OHA e o OHF em relação aos resultados da Figura 3. O amortecimento e a ressonância são marcantes nos resultados, o período obtido foi de 0,40 s, ou 2,50 Hz. Para o comprimento $L = 28,0$ cm, os resultados são apresentados na Figura 5. O período obtido foi de 0,44 s, resultando em uma frequência de ressonância de 2,28 Hz. Neste caso, a sincronicidade entre o OHA e OHF foi ainda maior. As tensões aplicadas em que cada sistema entrou em ressonância foram 5,50 V para $L = 22,0$ cm; 3,90 V para $L = 25,0$ cm e 3,7 V para $L = 28,0$ cm. É possível notar uma relação direta entre a tensão aplicada ao motor e a frequência de vibração necessária para atingir a ressonância. É importante ressaltar que essa relação pode ser afetada por fatores como variações entre modelos de motores de vibração e o desgaste decorrente do tempo de uso, o que pode alterar a curva característica da frequência de vibração em função da tensão do componente.

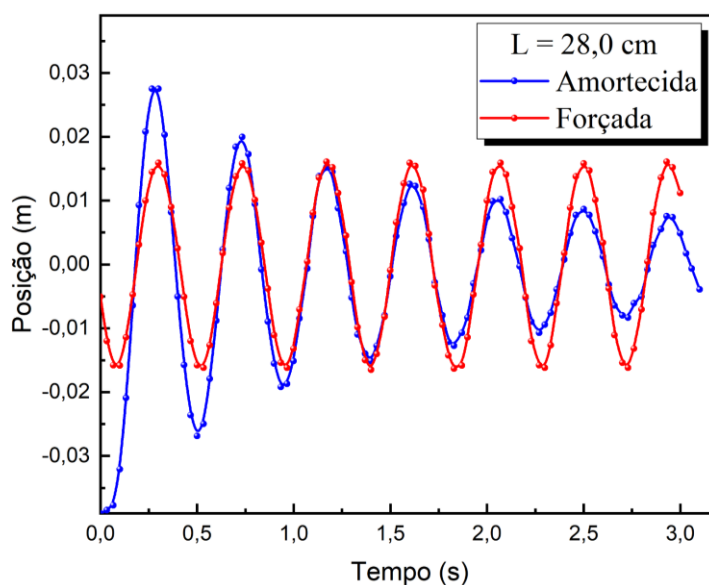


Figura 5: Posição do motor preso à haste em função do tempo para uma haste de 28,0 cm. A oscilação livre (pontos pretos) e a oscilação forçada (pontos vermelhos). As linhas são guias de visualização.
Fonte: Os autores.

Os resultados obtidos, em particular a variação da frequência de ressonância com o comprimento da haste, apresentam uma concordância conceitual com a equação de Euler-Bernoulli para a vibração de uma haste engastada. Para uma haste ideal, a frequência natural de ressonância é proporcional a C/L^2 , onde C depende de parâmetros dos materiais da haste, como densidade, módulo de Young e parâmetros geométricos. Este tipo de estudo é relevante para o entendimento de vigas na área de engenharia de estruturas (Rao, 2009, p. 283).

Embora o sistema experimental aqui estudado não se configure como uma haste engastada ideal, devido à presença da massa do motor de vibração conectado e aos fios de tensão em sua extremidade, o comportamento observado está de acordo com a predição teórica de que a frequência natural de um corpo vibrante é inversamente proporcional ao seu comprimento. Este fato ocorre porque, ao aumentar o comprimento L , a rigidez da haste diminui drasticamente, tornando-a inerentemente mais flexível. A rigidez do sistema, representada pela constante da força, k , na Equação (4), diminui também drasticamente à medida que L aumenta, reduzindo a frequência de ressonância esperada para o sistema.

Considerações Finais

A presente proposta de experimento didático consolida-se como uma ferramenta experimental robusta para a observação direta e a análise dos fenômenos de oscilações amortecidas (OHA) e oscilações forçadas (OHF). Inicialmente, o estudante é capaz de observar a oscilação amortecida por meio de uma perturbação inicial no sistema, o que evidencia a redução da amplitude e a dissipação da energia mecânica. Subsequentemente, o controle preciso do motor de vibração, através da fonte de tensão variável, permite a observação do OHF, caracterizado pela manutenção da amplitude e por uma frequência de vibração bem definida no ponto de ressonância. Desse modo, a experiência proporciona o contato experimental direto com parâmetros fundamentais para o estudo de oscilações como: amplitude, período de oscilação, frequência de oscilação, frequência de ressonância.

Ao realizar a análise de vídeo por meio do *software Tracker*, as observações qualitativas são transformadas em dados quantitativos e representações gráficas. Este procedimento não só confere maior rigor à análise, como também propicia aos estudantes o conhecimento e o domínio de uma ferramenta tecnológica que pode ser utilizada de forma simples para analisar diversos experimentos filmados, desde que sejam seguidas as diretrizes de calibração do programa.

A presente proposta experimental utiliza materiais acessíveis e apresenta potencial para articular os conceitos abstratos frequentemente abordados em aulas expositivas com a realidade física do fenômeno, possibilitando ao estudante uma compreensão potencialmente significativa dos conceitos envolvidos. Através da interação direta com o fenômeno, espera-se que os estudantes sejam protagonistas do seu próprio aprendizado. Tais propostas experimentais têm potencial para estimular habilidades essenciais ao processo formativo, incluindo o pensamento crítico, a introdução à investigação científica, a análise de dados e resolução de problemas. A experiência prática, também contribui para maior participação dos alunos, que se tornam mais ativos no processo de construção do conhecimento, fortalecendo o papel do professor como mediador da aprendizagem em sala de aula.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação pelo financiamento interno dos Editais 12/2023 e 34/2025, bem como as Chamadas Editais Universais CNPq/MCTI nº 10/2023 - Processo nº 404199/2023-2 e Chamada CNPq/MCTI nº 44/2024 – Processo nº 4211000/2025-7. A Fundação de Amparo e Promoção da Ciência, Tecnologia e Inovação do RN (FAPERN), Edital 28/2024.

Referências

- Araújo, M. S. T. & Abib, M. L. V. S. (2003). Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em 3 dez., 2025, <https://doi.org/10.1590/S1806-11172003000200007>.
- Bonventi Jr., W. & Aranha, N. (2015). Estudo das oscilações amortecidas de um pêndulo físico com o auxílio do “Tracker”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em 3 dez., 2025, <https://doi.org/10.1590/S1806-11173721728>.
- Borges, A. T. (2002). Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, p. 291-313.
- Borobia, J. P. (2012). *Elemento de Máquinas y Vibraciones*. 3. ed. Argentina: McGraw-Hill.
- Carvalho, A. M. P.; Oliveira, C. M. A.; Scarpa, D. L.; Sasserón, L. H.; Sedano, L.; Silva, M. B.; Capechi, M. C. V. M.; Abib, M. L. V. S. & Briccia, V. (2014). *O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativo*. São Paulo: Cengage Learning.
- Carvalho, P. S.; Christian, W. & Belloni, M. (2013). Physlets e Open Source Physics para professores e estudantes portugueses. *Revista Lusófona de Educação*, v. 25, p. 59–72.
- Chechurin, L. & Chechurin, S. (2017). *Physical Fundamentals of Oscillations*. Cham: Springer.
- Freire, P. (1987). *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- Gaspar, A. (2009). *Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental*. São Paulo: Ática.
- Hoffman, A. U. (2014). Modelagem matemática de propagação de trinca em uma haste em queda livre chocando-se transversalmente contra um apoio rígido. *Repositório, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Pampa, Alegrete*. Acesso em 4 nov., 2025, <https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/123456789/411>.
- Lablet (2025). Lablet [software]. GitHub. Acesso em 30 nov., 2025, <https://github.com/czeidler/Lablet>.
- Moraes, E. C. B.; Baptista, H. C.; Souza, A. B. & Santos, L. R. (2020). Investigação da variação de pressão em sistemas de vazão lateral através do princípio de Bernoulli. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em 3 dez., 2025, <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2019-0187>.

- Moreira, M. A. (1991). O ensino experimental e a questão do equipamento de baixo custo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 13, p. 97-103.
- Nussenzveig, H. M. (2014). *Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas*, Calor. v. 2. 4. ed. São Paulo: Blucher.
- Quesada, R. C. (2019). *Controle de vibrações*. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A.
- Rao, S. S. (2009). *Vibrações mecânicas*. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Rebouças, G. O. G.; Mendes, G. A. & Silva, J. C. (2023). O uso do Tracker para o estudo de rolamento no plano inclinado. *Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar*. Acesso em 3 dez., 2025, <https://doi.org/10.21920/recei72023931732743>.
- Rossini, M. R.; Alves, M. J.; Amorin, L. H. & Camargo Filho, P. S. (2020). Estudo da influência do ar no movimento de queda dos corpos: uma comparação entre a previsão teórica e os dados experimentais usando o Tracker. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em 3 dez., 2025, <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0290>.
- Sagan, C. (2006). *O Mundo Assombrado pelos Demônios*. São Paulo: Companhia das Letras.
- Santos, G. B.; Sa, D. A.; Coghi, T. O.; Oliveira Jr., J. M.; Aranha, N. & Bonventi Jr., W. (2020). Pêndulo físico amortecido por atrito seco. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em 3 dez., 2025, <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0121>.
- Sasaki, D. G. G. & Jesus, V. L. B. (2019). Conservação da velocidade do CM de duas partículas sob a ação de forças de atrito em movimento unidimensional ($D=1$). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 3, p. 3503.
- Sasaki, D. G. G. & Jesus, V. L. B. (2018). A simple experiment to determine the moments of inertia of the fidget spinner by video analysis. *The Physics Teacher*. Acesso em 2 dez., 2025, <https://doi.org/10.1119/1.5080587>.
- Steven, A. W. & Lehman, T. A. (1993). The video analysis of the cantilever beam. *The Physics Teacher*, v. 31, p. 102-105.
- Tavares, C. V. F.; Farias, R. M. S. & Silva, I. J. S. (2020). Ondas estacionárias e ressonância: uma experiência de ensino a partir de atividade experimental demonstrativa. *Brazilian Journal of Development*. Acesso em 2 dez., 2025, <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-287>.
- Tracker (2024). *Video analysis and modeling tool*. Versão 6.0.5. Open Source Physics. Acesso em 30 nov., 2025, <https://physlets.org/tracker/>.