



O simulador conservação de energia mecânica

Marco P.M. de Souza¹ , Cristiane M. de Oliveira¹ , Rhakny P.P. Araújo¹

¹Departamento de Física, Universidade Federal de Rondônia, Campus Ji-Paraná, Ji-Paraná, RO, Brasil.

Palavras-chave

simulador
aplicativo
conservação de energia
energia cinética
energia potencial

Resumo

Atualmente, os benefícios do uso de simulações computacionais no ambiente escolar são amplamente reconhecidos pelos educadores. O incentivo ao uso dessas simulações nas salas de aula é respaldado pela Base Nacional Comum Curricular, um documento normativo que define as aprendizagens essenciais para a educação básica. Este artigo concentra-se na exploração do simulador Conservação de Energia Mecânica, um simulador gratuito desenvolvido com o propósito de ilustrar as transformações entre as energias cinética, potencial gravitacional e potencial elástica. Esse aplicativo faz parte do SimuFísica®, um software multilíngue e multi-plataforma que oferece simuladores computacionais para o ensino de física que funcionam tanto on-line quanto off-line. Ao longo do artigo, são apresentados de maneira objetiva algumas características da plataforma SimuFísica® e os detalhes do funcionamento do simulador Conservação de Energia Mecânica. Dois exemplos ilustrativos são apresentados, demonstrando o aplicativo em ação na resolução de problemas de mecânica.

1. Introdução

As vantagens decorrentes da incorporação de recursos computacionais no ambiente educacional são amplamente reconhecidas pelos educadores contemporâneos. Diversos estudos destacam o ganho no aprendizado, medido quantitativamente, por alunos que participaram de aulas apoiadas por recursos como gamificação [1, 2] ou simulações computacionais [3, 4]. Essas pesquisas evidenciam melhorias na

motivação, no engajamento, na visualização de fenômenos abstratos e na interatividade, entre outros aspectos.

O princípio da conservação da energia mecânica é um dos tópicos da física cujo ensino pode ser significativamente enriquecido com o apoio de recursos didáticos que vão além das aulas tradicionais. Um exemplo de atividade experimental é a proposta que envolve o movimento de bolinhas por trilhas com diferentes trajetórias, visando

O princípio da conservação da energia mecânica é um dos tópicos da física cujo ensino pode ser significativamente enriquecido com o apoio de recursos didáticos que vão além das aulas tradicionais

Autor de correspondência. E-mail: marcopolo@unir.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2024, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

aumentar a compreensão dos estudantes em relação aos conceitos de movimento e energia [5]. Paralelamente, no âmbito computacional, várias dissertações defendidas no Brasil fundamentam-se em propostas didáticas baseadas no simulador Energia do Parque de Skate, integrante da plataforma PhET [6]. A relevância dessas abordagens é reforçada pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que destaca habilidades da Competência Específica 1, relacionadas ao conhecimento da lei da conservação da energia, incentivando o uso de simulações computacionais e outros aplicativos como parte do letramento científico, tanto no Ensino Fundamental quanto no Ensino Médio [7].

Nesse contexto, destacamos, neste trabalho, o simulador Conservação de Energia Mecânica da plataforma SimuFísica®. Nossa principal motivação ao criar esse simulador foi apresentar à comunidade acadêmica o potencial de um software desenvolvido nacionalmente, gratuito e compatível com telas pequenas de *smartphones*. O simulador ilustra as transformações entre as energias cinética, potencial gravitacional e potencial elástica e pode servir como apoio na resolução de problemas relacionados à lei da conservação de energia mecânica. Ao longo das próximas seções, discutimos o simulador Conservação de Energia Mecânica, apontando alguns detalhes sobre seu funcionamento e algumas limitações. Finalizamos o artigo expondo exemplos de uso do simulador, envolvendo a solução de dois problemas de mecânica, e algumas considerações finais.

2. O simulador conservação de energia mecânica

O simulador Conservação de Energia Mecânica faz parte da plataforma SimuFísica® [8, 9], uma abrangente coleção de aplicativos de simulação computacional desenvolvida para aprimorar o ensino de física. Esse software, de acesso gratuito, destaca-se por sua versatilidade, sendo compatível com dispositivos de diferentes tamanhos de tela e variados sistemas operacionais. A experiência com o SimuFísica® pode ser vivenciada on-line, acessando-o através de seu endereço na internet¹, ou por meio de download e instalação disponíveis nas principais lojas de aplicativos, como Google Play (Android)², App Store (iOS e iPadOS)³, Microsoft Store (Windows)⁴ e Snapcraft (Linux desktop)⁵. O SimuFísica® é atualmente oferecido em três idiomas: português, inglês e espanhol, proporcionando ampla acessibilidade a usuários de diferentes nacionalidades. Vale destacar que os aplicativos do SimuFísica® não se limitam a ilustrar fenômenos físicos; eles buscam, de maneira mais abrangente, *simular* processos com base nas equações fundamentais da física. Longe de serem apenas animações, essas simulações

têm o objetivo de proporcionar uma representação mais fiel e dinâmica de eventos físicos complexos.

A Fig. 1 exibe a versão destinada a computadores desktop do aplicativo Conservação de Energia Mecânica. Após acionar o botão “Iniciar” na barra de ferramentas inferior, o objeto, simbolizado pela bolinha vermelha e tratado como puntiforme, desloca-se ao longo de uma trajetória unidimensional composta por até três segmentos de reta horizontais com alturas h_1 ,

Nossa principal motivação ao criar esse simulador foi apresentar à comunidade acadêmica o potencial de um software desenvolvido nacionalmente, gratuito e compatível com telas pequenas de smartphones

h_2 e h_3 , identificados pelas linhas tracejadas na Fig. 1 e interligados por trechos curvos. Uma expressão matemática para o formato da trajetória, isto é, $y(x)$, pode ser encontrada na Ref. [10].

O simulador calcula e apresenta, em tempo real, a velocidade e a altura do objeto em qualquer instante de tempo. Essa operação é realizada por

meio da solução numérica de um sistema de equações diferenciais ordinárias não lineares, cuja dedução está disponível para consulta na Ref. [11]. Além disso, o aplicativo contém um gráfico de barras horizontais que representa as energias cinética e potencial gravitacional do objeto, a energia potencial elástica da mola e a energia mecânica total. Esses elementos visuais contribuem significativamente para a compreensão instantânea e intuitiva das variáveis e princípios físicos envolvidos na conservação de energia mecânica.

O simulador é extremamente versátil, oferecendo amplas possibilidades de configuração. Os usuários têm a flexibilidade de ajustar as alturas das regiões horizontais de maneira intuitiva, seja por meio do cursor do mouse ou do toque, caso estejam utilizando um dispositivo com tela sensível ao toque. Além disso, a linha de referência da altura pode ser facilmente ajustada desmarcando a opção “Travar ref. altura”.



Figura 1 - Aplicativo conservação de energia mecânica na versão 1.9.1 para desktops. Disponível em <https://simufisica.com/simulacoes/conservacao-energia-mecanica/>.

Para proporcionar uma experiência mais personalizada, o simulador oferece opções adicionais. A inclusão da altura máxima atingida pelo objeto na tela pode ser habilitada marcando-se a caixa de seleção “Altura máxima”. A velocidade da simulação pode ser ajustada por meio do parâmetro h e/ou marcando-se a caixa de seleção “Acelerar”. Adicionalmente, é possível incluir uma malha com escala na tela, selecionando-se a opção “Escala”. Essas configurações permitem uma adaptação precisa do ambiente de simulação conforme as preferências e objetivos do usuário, resultando em uma experiência de aprendizado mais envolvente e personalizada.

Outra possibilidade de ajuste diz respeito às condições iniciais, como a altura, que pode ser regulada tanto pela componente horizontal da posição do objeto (x_0) quanto pelas alturas h_1 , h_2 e h_3 , além da velocidade escalar inicial do objeto (v_0). No que se refere aos parâmetros, há flexibilidade para modificar a massa m do objeto, a constante elástica k da mola, o coeficiente de atrito cinético μ_c na região horizontal central (conforme ilustrado na Fig. 2) e a aceleração da gravidade g . Essa possibilidade de customizar as condições iniciais e os parâmetros oferece aos usuários um controle refinado sobre as variáveis fundamentais da simulação, permitindo uma análise mais abrangente e específica de diferentes cenários e suas implicações físicas.

A barra de ferramentas horizontal localizada na parte inferior mantém uma padronização em todos os simuladores da plataforma SimuFísica®, embora a quantidade de botões varie de uma simulação para outra. A seguir, apresentamos uma lista indicando a função de cada botão do simulador de conservação de energia mecânica:

- “Iniciar”: Começa ou pausa a simulação.
- “Reiniciar”: Recomeça a simulação mantendo todos os parâmetros, condições iniciais e configurações realizados.
- “Exemplos” (Fig. 3): Nesse botão, o usuário encontra configurações pré-montadas, como “Vale com atrito”, “Descida com mola” e “Movimento num plano”, para que seja agilizado o uso em sala de aula por parte do professor.

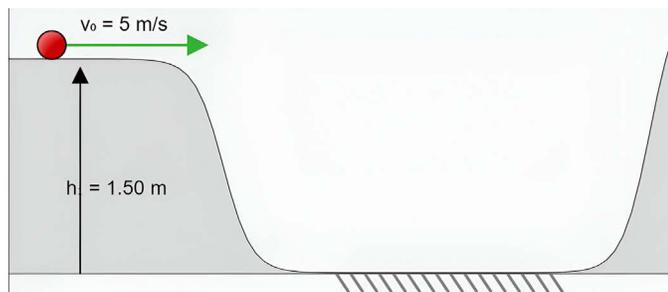


Figura 2 - Parte do app Conservação de Energia Mecânica mostrando a região central plana com atrito não-nulo na trajetória.

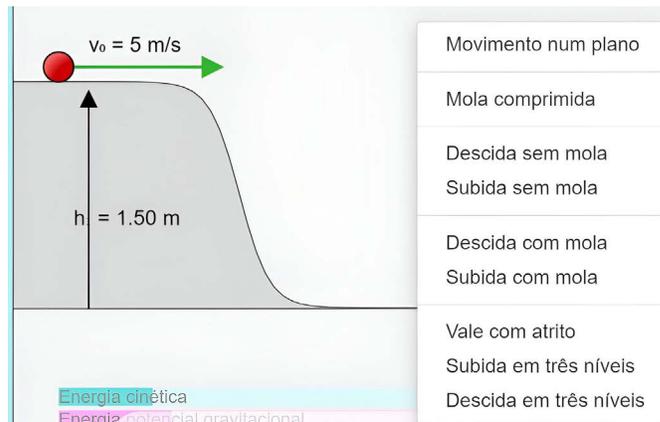


Figura 3 - Parte do app Conservação de Energia Mecânica mostrando as opções disponíveis no botão “Exemplos”.

- “Home”: Acessa a página inicial da plataforma SimuFísica®, onde o usuário pode ter acesso aos outros simuladores.
- “Resetar”: Reinicia a simulação e apaga todos os parâmetros, condições iniciais e configurações realizados.
- “Tela cheia”: Coloca o *app* em tela cheia.
- “Info”: Apresenta ao usuário informações básicas sobre o simulador e um vídeo ilustrativo sobre seu funcionamento.
- “Salvar”: Grava todos os parâmetros, condições iniciais e configurações realizadas no navegador (no caso de uso on-line) ou no aplicativo (no caso de uso off-line).

Assim como em qualquer programa que emprega cálculos numéricos, o aplicativo Conservação de Energia Mecânica apresenta erros numéricos que dependem do passo de integração utilizado na resolução das equações diferenciais ordinárias (EDOs). No aplicativo em questão, essa resolução é feita pelo método de Runge-Kutta de quarta ordem [12]. O passo de integração está diretamente relacionado ao parâmetro h exibido no aplicativo, permitindo que o usuário configure uma simulação com maior velocidade de execução, embora isso resulte em um aumento correspondente no erro numérico.

Uma estimativa do erro numérico pode ser obtida ao compararmos a evolução do valor da energia total do sistema (soma das energias cinética, potencial gravitacional e potencial elástica) ao longo do tempo com seu valor inicial. Esse processo é realizado em uma configuração isenta de atrito, onde não ocorre dissipação de energia mecânica. O resultado gráfico da energia total do sistema, considerando-se a configuração padrão de inicialização do simulador (ver Fig. 1), com $h = 10$, está apresentado na Fig. 4. Nesse caso, a energia mecânica total E_T deveria permanecer constante em

$$E_T = \frac{mv_0^2}{2} + mgh_1 = 32,5 \text{ J.} \quad (1)$$

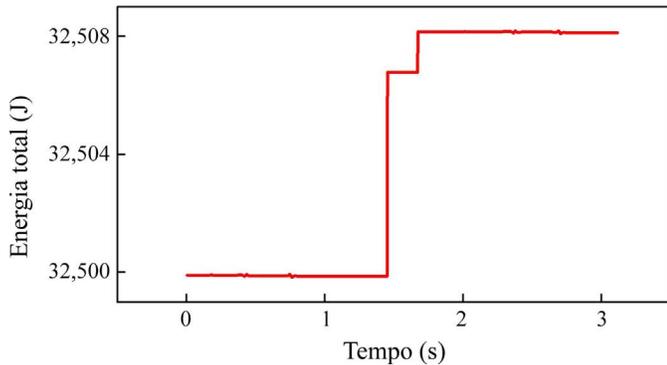


Figura 4 - Energia mecânica total calculada pelo simulador Conservação de Energia Mecânica ao longo do tempo, obtida por meio da função `console.log()` do Javascript, inserida no código-fonte do aplicativo. Ela foi calculada tomando por base os valores da velocidade escalar, da altura e da deformação da mola em todos os instantes de tempo. Parâmetros e condições iniciais considerados: $v_0 = 5$ m/s, $x_0 = 30$ cm, $k = 200$ N/m, $h_1 = 2,0$ m, $h_2 = 0,5$ m, $h_3 = 2,5$ m, $m = 1$ kg, $g = 10$ m/s², $\mu_c = 0$ e $h = 10$ (passo de integração numérico).

O aplicativo, contudo, apresenta uma leve mudança nesse valor. A maior variação ocorre em torno de $t = 1,45$ s, momento em que o objeto começa a interagir com a mola. Ao longo de todo o percurso, no qual o objeto parte de $x_0 = 30$ cm (altura = 2,0 m) e retorna a esse mesmo ponto após colidir com a mola, há uma variação relativa no valor da energia mecânica total de $(32,508 - 32,500) / 32,500 \approx 0,025\%$. Essa discrepância sutil decorre do erro numérico associado a essa configuração específica e ao valor de h igual a 10.

3. Exemplos de uso do app na resolução de problemas

Apresentamos aqui o uso do aplicativo como ferramenta de apoio na visualização e nos cálculos relacionados em dois problemas-exemplo da mecânica envolvendo o princípio da conservação de energia.

3.1. Encontrando a deformação máxima de uma mola

Problema: Um objeto de massa 5 kg é lançado com velocidade de 4 m/s sobre uma superfície horizontal sem atrito contra uma mola ($k = 500$ N/m) em repouso. Encontre a deformação máxima sofrida pela mola.

Nesta e na questão da Seção 3.2 denotaremos o instante inicial pelo índice i e o instante final por f . Como a energia mecânica se conserva, ela é a mesma em ambos os instantes

$$E_i = E_f. \quad (2)$$

Aqui, o instante inicial é aquele referente ao lançamento do objeto, em que o sistema possui apenas energia cinética. Já no instante final, que identificamos como o momento em que a mola atinge sua deforma-

ção máxima, o sistema apresenta unicamente energia potencial elástica. Tendo isso em mente, a Eq. (2) torna-se

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{kx_m^2}{2}, \quad (3)$$

cujas solução para a deformação máxima x_m é dada por

$$x_m = v_0 \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (4)$$

Inserindo-se os valores numéricos, chegamos em uma deformação máxima de $x_m = 40$ cm, de acordo com o que pode ser visto no *inset* da Fig. 5.

3.2. Movimento com atrito

Problema: Um objeto é solto do repouso a uma altura de 1,8 m na borda de um vale, como mostrado na Fig. 6, instante (i). Considere que a região mais baixa, que possui uma extensão de 1,5 m, possui um coeficiente de atrito cinético de 0,25. Desconsidere o atrito nas demais regiões. Qual é a altura máxima

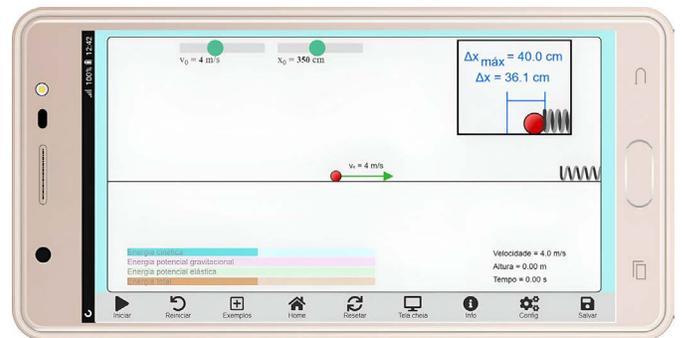


Figura 5 - Simulador Conservação de Energia Mecânica configurado para o problema da Sec. 3.1. O inseto mostra a região do aplicativo em torno da mola alguns instantes após o objeto atingir o máximo de sua deformação e começar a voltar.

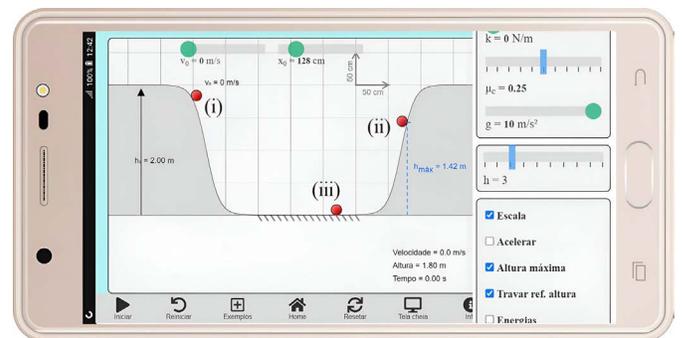


Figura 6 - Simulador Conservação de Energia Mecânica configurado para o problema da Sec. 4.2. A imagem mostra a superposição de três instantes em torno do objeto: (i) antes do início do movimento, (ii) instantes após atingir a altura máxima e (iii) instante no qual o objeto para na região central.

alcançada pelo objeto após passar pela primeira vez pela superfície com atrito? Quantas vezes o objeto passa pela região com atrito até parar?

Como esse problema possui parte da trajetória com atrito, a energia mecânica não se conserva. Podemos começar calculando a energia dissipada por atrito quando o objeto passa completamente pela região central. Sabendo-se que essa região possui um comprimento de $D = 1,5$ m e que o trabalho realizado pela força de atrito é dado pelo produto do módulo da força de atrito ($F_{at} = \mu_c mg$) pela distância D percorrida, escrevemos a energia dissipada E_d no percurso com atrito como

$$E_d = \mu_c mgD. \quad (5)$$

A energia potencial gravitacional do objeto na altura máxima será sua energia potencial gravitacional no início menos a perda pela dissipação:

$$mgh_f = mgh_i - \mu_c mgD, \quad (6)$$

cujas solução para h_f é dada por

$$h_f = h_i - \mu_c D. \quad (7)$$

Considerando os valores numéricos, chegamos em $h_f = 1,425$ m, o que responde a primeira parte do problema, como podemos ver na Fig. 6. O *app* arredondou o valor devido à altura máxima sempre ser apresentada com duas casas decimais.

Para saber o número N de vezes que o objeto passa pela parte da trajetória mais baixa do percurso, basta dividirmos a energia total inicial pela energia dissipada por atrito em cada passada, o que leva à equação

$$N = \frac{h_i}{\mu_c D}. \quad (8)$$

Substituindo os valores, chegamos em $N = 4,8$, o que indica cinco passagens pela região mais baixa até parar, sendo que, na última passagem, o objeto completa apenas 80% do comprimento do percurso. Esse resultado pode

ser visto de forma aproximada na Fig. 6, no instante (iii), ao compararmos a posição final do objeto com a escala apresentada pelo *app*. Outros problemas resolvidos com o uso do *app* podem ser encontrados na Ref. [13].

4. Considerações finais

Este artigo apresentou o simulador Conservação de Energia Mecânica, da plataforma SimuFísica®, como uma ferramenta educacional para o ensino de física. Ao explorar a crescente aceitação do uso de simulações computacionais nas salas de aula, observamos como essa aplicação se alinha com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular, consolidando seu papel como um recurso valioso para professores.

É importante destacar algumas características relevantes desse aplicativo. Primeiramente, ressalta-se sua compatibilidade com dispositivos móveis, como *tablets* e *smartphones*. Em 2022, cerca de 60% de todo o tráfego na internet envolveu dispositivos móveis [14], enfatizando a importância de otimizar simuladores educacionais para esses dispositivos. Em segundo lugar, sabe-se que taxas mais elevadas de engajamento são alcançadas quando os aplicativos são baixados em lojas [14] como Google Play e App Store, onde o SimuFísica® está disponível. Além da conveniência do acesso rápido, a capacidade de uso off-line é uma consideração crucial, dado que a falta de acesso à internet é uma realidade em muitas escolas no país [15] ou mesmo na casa dos estudantes [16]. Adicionalmente, em várias dessas escolas, o sistema operacional adotado é alguma distribuição Linux, e o SimuFísica® é compatível, podendo ser baixado pela Snapcraft, a loja de aplicativos da Canonical.

Agradecimentos

Este trabalho teve o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (processo 304017/2022-1) e da Universidade Federal de Rondônia - UNIR (Edital Universal de Apoio à Pesquisa, processo SEI 23118.006316/2024-79).

Recebido em: 3 de Março de 2024

Aceito em: 16 de Julho de 2024

Notas

¹Acesso on-line: <https://simufisica.com/>.

²Acesso através do Google Play: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.simufisica>.

³Acesso através da App Store: <https://apps.apple.com/br/app/simuf%C3%ADsica/id6449152916>.

⁴Acesso através da Microsoft Store: <https://apps.microsoft.com/detail/9N7HJV9FMZT>.

⁵Acesso através da Snapcraft: <https://snapcraft.io/simufisica>.

Referências

- [1] J.B. Silva, G.L. Sales, J.B. Castro, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **41**, e20180309 (2019). doi
- [2] D.F. Barringer, J.D. Plummer, J. Kregenow, C. Palma, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **14**, 010140 (2018). doi
- [3] A. Jimoyiannis, V. Komis, *Computers & Education* **36**, 183 (2001). doi
- [4] J.F. Mendes, I.F. Costa, C.M.S.G. de Sousa, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **34**, 2402 (2012). doi

- [5] S.A. Travain, A. Assis, J.L. Cindra, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **35**, 518 (2018). [doi](#)
- [6] PhET, *Energia na Pista de Skate*. Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/energy-skate-park, acesso em 23 de fevereiro de 2024.
- [7] Ministério da Educação, *Base Nacional Comum Curricular*. Disponível em http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf, acesso em 23 de fevereiro de 2024.
- [8] SimuFísica. Disponível em <https://simufisica.com/>, acesso em 23 de fevereiro de 2024.
- [9] M.P.M. de Souza, S.P. Oliveira, V.L. Luiz, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **46**, e20230219 (2024). [doi](#)
- [10] C.M. Oliveira, *Ensino da Temática Energia com Três Aplicativos da Plataforma SimuFísica no Novo Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rondônia, 2023.
- [11] Blog do SimuFísica, *Movimento de uma Partícula em uma Trajetória Unidimensional*. Disponível em <https://simufisica.com/blog/movimento-de-uma-particula-em-uma-trajetoria-unidimensional>, acesso em 26 de fevereiro de 2024.
- [12] W.H. Press, *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing* (Cambridge University Press, New York, 2007), 3ª ed, 1235 p.
- [13] Blog do SimuFísica, *Conservação de Energia*. Disponível em <https://simufisica.com/blog/conservacao-de-energia>, acesso em 26 de fevereiro de 2024.
- [14] Techjury.net, *51 Mobile vs. Desktop Usage Statistics For 2024*. Disponível em <https://techjury.net/blog/mobile-vs-desktop-usage>, acesso em 26 de fevereiro de 2024.
- [15] D.M. Jaime, A.A Leonel, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **46**, e20230309 (2024). [doi](#)
- [16] A.P.P. Matos, M.A.E. Santo, P.V.S. Souza, *A Física na Escola* **21**, 230001 (2023). [doi](#)