



e-Boletim de Física

International Centre for Physics
Instituto de Física, Universidade de Brasília
Ano XX, XXXXX • <http://periodicos.unb.br/index.php/e-bfis> • eBFIS 9 9101-1(2020)

ENSINO DE ENERGIA MECÂNICA NUM SISTEMA MASSA-MOLA SOB UM OLHAR INVESTIGATIVO MECHANICAL ENERGY TEACHING IN A MASS-SPRING SYSTEM UNDER AN INVESTIGATIVE LOOK

Ageu Pereira de Almeida*

*Curso Ensino Médio Integrado - Técnico em Agronegócio,
Instituto Federal do Tocantins, 77.410-470, Gurupi, TO, Brasil.*

Antonio Eduardo Alexandria de Barros†

*Curso Ensino Médio, Secretaria da Educação, Juventude e Esportes,
Diretoria Regional de Ensino de Araguaína, 77809-320, Araguaína, TO, Brasil.*

Regina Lelis de Sousa‡ and Érica Cupertino Gomes§

Curso de Física, Universidade Federal do Tocantins, 77824-838, Araguaína, TO, Brasil.
(Dated: 25 de setembro de 2020)

As atividades investigativas têm sido uma alternativa às aulas tradicionais de Física na busca de estratégias capazes de levar os alunos ao debate, propiciando a discussão, argumentação e reflexão. Neste trabalho apresentamos uma proposta para trabalhar o Oscilador Linearmente Amortecido - OLA, considerando o atrito entre duas superfícies secas de um sistema massa-mola, assunto pouco abordado em livros didáticos. Inicialmente, foi realizado um levantamento histórico do ensino por investigação e sua importância para a aprendizagem. Em seguida, fizemos o tratamento matemático do OLA e a partir de suas equações construímos uma simulação computacional utilizando a linguagem Python acrescida do módulo gráfico tridimensional Vpython. E, por último, foi proposto um roteiro de uma sequência investigativa, com o intuito de explorar conceitos de energia mecânica e as suas transformações.

Palavras-chave: Ensino por Investigação. Energia Mecânica. Ensino de Física. Simulação Computacional.

Investigative activities have been an alternative to traditional Physics teaching in the search for strategies capable of leading students to the debate, providing discussion, argumentation and reflection. In this work, we present a proposal to work the Linearly Damped Oscillator, considering the friction between two dry surfaces of a mass-spring system, a subject rarely addressed in textbooks. Initially, a historical survey of teaching by research and its importance for learning was carried out. Then, we did the mathematical treatment of Linearly Damped Oscillator and from its equations we built a computational simulation using the Python language plus the three-dimensional graphics module Vpython. Finally, a script of an investigative sequence was proposed, in order to explore concepts of mechanical energy and its transformations.

Keywords: Research Teaching. Mechanical Energy. Physics teaching. Computational Simulation.

I. INTRODUÇÃO

O Ensino de Física no Brasil em geral é marcado por ser basicamente teórico, abstrato, realizado de maneira expositiva e com uso exagerado de cálculos matemáticos

e, muitas das vezes, transmitido ao aluno como algo acabado e imutável. Para Munford e Lima [1], o ensino de ciências tem sido apresentado através de proposições, princípios e leis científicas que são repassadas para os estudantes como verdades absolutas, sem se preocupar com a problematização ou promovendo diálogos entre teorias e evidências do mundo real. Nesse modelo de ensinar ciências, são mínimas as oportunidades de implementar investigações e de se questionar acerca dos assuntos e fenômenos estudados. A consequência é que os alunos, especialmente da Educação Básica, não aprendem Física e constroem representações inapropriadas sobre os

* ageuphysics@gmail.com

† aeadebarros@gmail.com

‡ rlsousa@mail.uft.edu.br

§ ericagomes@uft.edu.br

fenômenos estudados.

Muitos autores defendem a ideia de trabalhar aulas experimentais para que os estudantes possam fazer investigações e questionamentos acerca de fenômenos físicos e o que está se estudando em sala de aula. Quando a escola não possui laboratório de ciências, pode ser utilizado o laboratório de informática para atividades investigativas. Neumann e Barroso [2], por exemplo, acreditam que:

A distribuição em larga escala de simulações e animações computacionais para o ensino de física torna-se possível pelas novas linguagens desenvolvidas para a internet. A produção destas simulações e animações permite a investigação de suas possibilidades didáticas e o desenvolvimento de materiais didáticos adequados à proposta metodológica do professor ([2], p.1)

É importante que os professores de Física, da Educação Básica, tenham a oportunidade de conhecer, apreciar e avaliar as estratégias de ensinar Física de maneira investigativa, procurando diversificar sua metodologia, tornando o processo de ensino mais significativo e facilitando a aprendizagem de conceitos e princípios físicos. Os PCN+ [3] dizem que:

A escola não pode ficar alheia ao universo informatizado se quiser, de fato, integrar o estudante ao mundo que o circunda, permitindo que ele seja um indivíduo autônomo, dotado de competências flexíveis e apto a enfrentar as rápidas mudanças que a tecnologia vem impondo à contemporaneidade. ([3], p. 229-230).

Ainda sob a perspectiva do uso de tecnologia digital e computação no processo de ensino, a Base Comum Curricular [4] traz que

Tanto a computação quanto as tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) estão cada vez mais presentes na vida de todos, não somente nos escritórios ou nas escolas, mas nos nossos bolsos, nas cozinhas, nos automóveis, nas roupas etc. Além disso, grande parte das informações produzidas pela humanidade está armazenada digitalmente. Isso denota o quanto o mundo produtivo e o cotidiano estão sendo movidos por tecnologias digitais, situação que tende a se acentuar fortemente no futuro. ([4], p.473)

Percebe-se que, documentos oficiais que traçam características do Ensino Médio, destacam a importância do uso de TDIC's no ensino. Além desse incentivo, diversas revistas, programas de pós-graduação, congressos e importantes grupos de pesquisadores têm consolidado a pesquisa no Ensino de Ciências. Mas grande parte dessa

pesquisa não chega aos professores sendo apenas compartilhadas entre os pesquisadores. Há uma grande carência de pesquisas aplicadas, desenvolvidas em sala de aula, para que possa envolver professores e alunos [5].

Esse trabalho consiste em uma proposta de ensino desenvolvida em uma disciplina do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF e voltada a professores da rede básica de ensino, que pode ser reproduzida por professores de Física. O conteúdo considerado é a conservação e perda de energia em um sistema harmônico simples e amortecido, conteúdo esse que está inserido dentro do tópico de Energia Mecânica e que pode oferecer dificuldades no processo de ensino aprendizagem em função de certa complexidade. A implementação se consolidou por meio da construção de uma simulação computacional em linguagem Python acrescida do módulo gráfico tridimensional Vpython, que pode ser instalada e executada em computadores com sistema operacional Windows ou Linux. A proposta é que seja utilizado a metodologia de “Ensino por Investigação”, em que os alunos trabalhando em grupos e orientados pelo professor, procuram delinear hipóteses e conclusões através da investigação realizada por meio da simulação computacional.

II. BREVE HISTÓRICO DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

Quando se trata de ensino por investigação, indiretamente associa-se o questionamento, o planejamento, as explicações ligadas as evidências e a comunicação. A questão principal é promover aos alunos o aprender ciências fazendo ciência. No ensino por investigação, o papel do professor deve mudar em relação a dinâmica das aulas, pois estes devem tomar várias decisões, correr riscos e modificar suas rotinas em sala de aulas enfrentando dificuldades e dilemas.

Tem-se a noção de que o ensino por investigação é algo novo no cenário da educação, contudo as primeiras ideias surgiram no século XIX, quando as Ciências passaram a fazer parte dos currículos de vários países [6]. As Ciências nos currículos escolares baseavam-se nas observações que culminavam nos princípios gerais. Os alunos, inicialmente, descobriam, através da observação, o mundo natural e posteriormente obtinham resultados das observações. Isso a diferenciava dos estudos clássicos, no caso, a matemática e a gramática.

Bybee Thomas Huxley [6, 7], biólogo e médico britânico, impulsionou a necessidade de introduzir o ensino de Ciências nos currículos escolares, pois acreditava que estes promoviam o desenvolvimento intelectual do aluno. Deboer [8] destaca a importância da inclusão da ciência no currículo escolar e sobre o seu ensino e destaca a relevância do laboratório e das atividades práticas em ensino de ciências. Em geral, os acadêmicos e intelectuais da época, afirmavam que o ensino de ciências não deveria ser dogmático e sim indutivo para promover a busca pelo

conhecimento.

Ainda no século XIX, observa-se três maneiras diferentes de prática educacional utilizadas nos laboratórios: a "descoberta verdadeira", a "verificação" e a "investigação". A primeira consistia na liberdade total da exploração do mundo natural de acordo com os seus interesses. Na abordagem denominada "verificação" os alunos confirmavam fatos ou princípios científicos no laboratório, observando o que os eles já sabiam e o que deveriam encontrar. Na terceira, a descoberta deveria ser orientada pelo professor a resolver problemas para quais não desconheciam a solução.

No início do século XX, John Dewey propôs o ensino por investigação como estratégia metodológica para o ensino de ciências [9, 10]. A preocupação de Dewey era que as escolas não estavam acompanhando as principais mudanças ocorridas nos Estados Unidos encadeados pelos interesses capitalistas [11]. Dewey acreditava que as instituições sociais, incluindo as escolas, deveriam acompanhar essas mudanças pois a educação é vista como um "processo de reconstrução e reorganização da experiência, pelo qual lhe percebemos mais agudamente o sentido, e com isso nos habilitamos a melhor dirigir o curso de nossas experiências futuras" [12]. Foi nesse contexto que surgiram as ideias de Dewey onde a educação escolar era vista como construtora de uma sociedade humanizada e democrática. De acordo com Pessoa [11], Dewey reorganizou o conceito de conhecimento da época de forma que os objetos da Ciência passaram a ser incorporados no âmbito das atividades humanas, o que ele chamou de "experiência".

A. Ensino por Investigação no Século XXI

Nos últimos anos, o ensino por investigação vem sendo utilizado com o propósito de desenvolver nos alunos a capacidade de argumentação e suas habilidades cognitivas, através de procedimentos como elaboração de hipóteses, anotação e análise de dados [13].

Em uma proposta investigativa deve haver um problema a ser investigado, formulação de hipóteses, planejamento do processo investigativo, construção de explicações e repasse dessas explicações [6, 14]. Para Newman [14], as atividades investigativas devem envolver o uso de comprovação, fundamento e criatividade na elaboração de explicações sobre fenômenos naturais. Este autor destaca a verificação de evidência pelos alunos, como parte do processo de investigação. O ato de investigar ajuda os alunos a compreenderem a ciência e desenvolverem o raciocínio científico. De acordo com Newman [14], quando os alunos estão envolvidos na investigação, eles fazem indagações, levantam hipóteses sobre fenômenos reais, desenvolvem explicações e apresentam essas explicações para os colegas.

III. SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO - SEI

Uma SEI para o ensino de Ciências propõe-se a introduzir os alunos no universo das Ciências, tendo como objetivo gerar possibilidades aos estudantes para que eles participem de problemas e temas relacionados a fenômenos naturais [15]. Quanto a importância das SEI em sala de aula Carvalho [16] enfatiza que:

[...] as sequências de ensino investigativas, isto é, sequência de atividades (aulas) abrangendo um tópico do programa escolar em que cada atividade é planejada, do ponto de vista do material e das interações didáticas, visando proporcionar aos alunos: condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e adquirindo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores.

Uma SEI inicia-se preferencialmente por um problema contextualizado, prático ou conceitual, que permita aos alunos refletir nos aspectos importantes do fenômeno científico, levantar hipóteses, testá-las e inferir conclusões sobre o fenômeno estudado. O professor pode propor o problema através de experimento, simulação computacional, texto ou pesquisa. Após resolver o problema, é necessário a realização de uma atividade de estruturação do conhecimento desenvolvido pelos alunos [15, 16]. Essa estruturação pode ser feita através de leitura de texto selecionado pelo professor, que permita que os alunos façam comparações e pensem em soluções para o problema. Posteriormente é importante propiciar uma atividade de contextualização do conhecimento no cotidiano dos alunos, "pois nesse momento eles podem sentir a importância do conhecimento construído do ponto de vista social" [16]. Essa última atividade pode ser feita através da socialização das ideias levantadas pelos alunos e pode ser usada para aprofundamento do tópico estudado.

IV. O PROGRAMA COMPUTACIONAL

O problema/fenômeno físico apresentado neste trabalho é concebido por meio de simulação computacional. Assim, faz-se necessário explanar um pouco sobre tais ferramentas.

As simulações e animações computacionais constituem um processo eficaz para apresentar conceitos científicos e despertar o interesse pela ciência, tornando-se uma das maneiras de envolver o aluno nos assuntos estudado em sala [17]. O uso destas simulações e animações viabiliza a investigação de fenômenos físicos dentro do próprio espaço escolar permitindo outras possibilidades didáticas

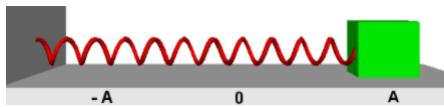


Figura 1. Ilustração do Movimento Harmônico no simulador.

e o desenvolvimento de materiais didáticos que possam ser usados pelo professor.

O trabalho consistiu em realizar uma simulação de um sistema massa-mola nas aulas de energia mecânica sob a perspectiva do ensino por investigação. Para isso foi elaborado uma simulação que envolve conceitos de energia cinética e potencial elástica em um sistema que permite estudar a atuação de forças conservativas e não conservativas.

A simulação computacional foi totalmente construída pelos autores do projeto como uma das atividades da disciplina Processos e Sequência de Ensino e Aprendizagem do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF. A escolha para escrita foi a linguagem Python, desenvolvida por Guido Van Rossum em 1991, devido a sua facilidade de aprendizado, além de ser uma linguagem livre e possuir grande compatibilidade com outras linguagens de programação e sistemas operacionais. Também foi utilizado o módulo Visual Python, conhecido como Vpython, que permite criar a simulação em 3D. Essa é uma linguagem de programação orientada a objetos, interpretada e interativa. O Python possui módulos, classes, exceções, tipos de dados dinâmicos de muito alto nível e digitação dinâmica. Existem interfaces para muitas chamadas de sistema e bibliotecas, bem como para vários sistemas de janelas. Novos módulos embutidos são facilmente escritos em C ou C++ (ou em outros idiomas, dependendo da implementação escolhida). O Python também é utilizável como uma linguagem de extensão para aplicativos escritos em outros idiomas que precisam de interfaces de script ou automação fáceis de usar [18].

A linguagem de programação Python, adicionada de um módulo de gráficos 3D chamado Visual Python permite aos usuários criar objetos como esferas e cones no espaço 3D e exibe esses objetos em uma janela. Isto torna mais fácil para criar visualizações simples, permitindo que os programadores se concentram mais no aspecto computacional de seus programas. A simplicidade de VPython o tornou uma ferramenta para a ilustração de física simples, especialmente no ambiente educacional [19].

A ideia inicial para desenvolver a simulação, foi considerar um bloco preso em uma mola, e que pode oscilar em torno de um ponto $x = 0$ ao sofrer uma deformação $x = A$ (ver Figura 1). Nesse sistema teremos uma força restauradora aplicada pela mola e matematicamente modelada pela lei de Hooke e uma força de atrito devido ao contato entre as superfícies sólidas. É comum que os livros didáticos dos cursos superiores tragam apenas uma descrição para o sistema massa-mola

sem atrito (Oscilador Harmônico Simples - OHS) e para o sistema massa-mola amortecido com atrito viscoso (Oscilador Harmônico Amortecido - OHA). O sistema massa-mola com atrito de contato entre duas superfícies secas (Oscilador Linearmente Amortecido - OLA) não costuma ser abordado em alguns livros didáticos do ensino superior. No entanto este trabalho propõem o trabalho deste tópico específico com turmas de 1º ano do Ensino Médio regular, por se tratar de um tópico que pode ser trasladado para o cotidiano do aluno.

Para descrever as equações do OLA, vamos considerar que na Figura 1 está agindo a força elástica, $F_{el} = -kx$ e a força de atrito, que neste caso é oposta a velocidade do corpo e pode ser expressa por $f_{at} = \mu mg$. Quando o corpo estiver em repouso atuará uma força de atrito estático e para o bloco começar o movimento a força elástica precisa ser maior do que a força de atrito estático. Caso o bloco entre em movimento passará a atuar uma força de atrito dinâmico. A força resultante no corpo vai depender do sentido do movimento, de acordo com a segunda lei de Newton, se a velocidade for negativa (movimento da direita para esquerda) teremos

$$F_{res} = F_{el} + f_{at} \quad \text{para } v < 0$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx + \mu_c mg$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x - \mu_c g = 0 \quad (1)$$

Onde $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ é a frequência de oscilação. Para resolver a equação diferencial 1 usaremos uma mudança de variável. Reescrevendo a equação 1

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2(x - \frac{\mu_c g}{\omega^2}) = 0$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 y = 0 \quad (2)$$

onde

$$y = x - \frac{\mu_c g}{\omega^2} \quad (3)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dx}{dt} \quad e \quad \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (4)$$

substituindo o resultado das equações de 4 em 2 temos,

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0 \quad (5)$$

A equação característica da equação diferencial 5 é dada por

$$r^2 + \omega^2 = 0$$

cujas raízes são dadas por

$$r = \pm \sqrt{-\omega} = \pm i\omega$$

Assim, a solução geral de 5 será

$$y(t) = C_1 \cos(\omega t) + C_2 \sin(\omega t) \quad (6)$$

substituindo a equação 3 na equação 6, teremos

$$x(t) = C_1 \cos(\omega t) + C_2 \sin(\omega t) + \frac{\mu c g}{\omega^2} \quad (7)$$

Fazendo:

$$A_n = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}; \quad D = \frac{\mu c g}{\omega^2}$$

$$\sin(\phi) = \frac{C_2}{A_n} \quad \text{e} \quad \cos(\phi) = -\frac{C_1}{A_n} \quad (\phi \text{ é o ângulo de fase})$$

A equação 7, pode ser escrito na forma

$$x(t) = A_n \cos(\omega t + \phi) + D \quad \text{para} \quad v < 0$$

A equação da velocidade será

$$v(t) = -\omega A_n \sin(\omega t + \phi)$$

Da condição inicial $v(0) = 0 \rightarrow 0 = \sin(\phi) \rightarrow \phi = 0$, então

$$x(t) = A_n \cos(\omega t) + D \quad \text{para} \quad v < 0 \quad (8)$$

e

$$v(t) = -\omega A_n \sin(\omega t) \quad (9)$$

Para velocidade positiva (movimento da esquerda para direita) teremos

$$F_{res} = F_{el} - f_{at} \quad \text{para} \quad v > 0$$

Resolvendo pelo mesmo processo usado para velocidade negativa, teremos

$$x(t) = A_n \cos(\omega t) - D \quad \text{para} \quad v > 0 \quad (10)$$

e

$$v(t) = -\omega A_n \sin(\omega t) \quad (11)$$

Nos pontos de retorno, nas extremidades do movimento considerando t_{ret} , temos

$$0 = -\omega A_n \sin(\omega t_{ret}) \rightarrow \sin(\omega t_{ret}) = 0$$

$$\rightarrow \omega t_{ret} = n\pi \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

As equações 8 e 10 podem ser escritas na forma

$$x(t) = A_n \cos(\omega t) \pm D$$

$$x(t) = A_n \cos(\omega t) + D \cos(n\pi) \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (13)$$

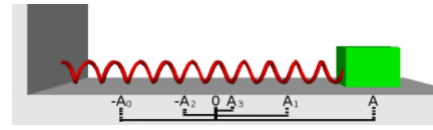


Figura 2. Oscilador Linearmente Amortecido.

Os valores de n representam o número de semi-oscilações executadas. Quando o valor de n for par o objeto estará com velocidade negativa e quando n for ímpar velocidade positiva. Para determinar a constante A_n , usaremos a condição inicial $x(0) = A_0 + D = A$ e a continuidade da função $x(t)$ nos pontos de retornos onde $v = 0$ e o corpo inverte o sentido do movimento.

A perda de energia mecânica, devido ao atrito entre as superfícies, fará com que a amplitude do movimento diminua como o passar do tempo, portanto o valor de A_n não será constante. Para $n = 0$ e $t_0 = 0$ teremos $A_n = A_0$, para $n = 1$ e $t_1 = \frac{\pi}{\omega}$ teremos $A_n = A_1$, para $n=2$ e $t_2 = \frac{2\pi}{\omega}$ teremos $A_n = A_2$, para $n=3$ e $t_3 = \frac{3\pi}{\omega}$ teremos $A_n = A_3$, onde $A > A_0 > A_1 > A_2 > A_3 \dots$, e assim sucessivamente até o corpo ficar em repouso, veja Figura 2. Da condição inicial

$$t_0 = 0 \rightarrow x(0) = A \rightarrow A = A_0 + D \rightarrow \boxed{A_0 = A - D}$$

Para a função $x(t)$ ser contínua nos retornos

$$t_1 = \frac{\pi}{\omega} \rightarrow x_0\left(\frac{\pi}{\omega}\right) = x_1\left(\frac{\pi}{\omega}\right) \rightarrow -A_0 + D = -A_1 - D \rightarrow \boxed{A_1 = A - 3D}$$

$$t_2 = \frac{2\pi}{\omega} \rightarrow x_1\left(\frac{2\pi}{\omega}\right) = x_2\left(\frac{2\pi}{\omega}\right) \rightarrow A_1 - D = A_2 + D \rightarrow \boxed{A_2 = A - 5D}$$

$$t_3 = \frac{3\pi}{\omega} \rightarrow x_2\left(\frac{3\pi}{\omega}\right) = x_3\left(\frac{3\pi}{\omega}\right) \rightarrow -A_2 + D = -A_3 - D \rightarrow \boxed{A_3 = A - 7D}$$

$$t_4 = \frac{4\pi}{\omega} \rightarrow x_3\left(\frac{4\pi}{\omega}\right) = x_4\left(\frac{4\pi}{\omega}\right) \rightarrow A_3 - D = A_4 + D \rightarrow \boxed{A_4 = A - 9D}$$

⋮

$$t_n = \frac{n\pi}{\omega} \quad \text{para} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \rightarrow \boxed{A_n = A - (2n + 1)D}$$

Portanto, quando a força de atrito não for desprezível, o valor da deformação da mola x (equação 13) e da velocidade v (equação 11) irá diminuir com tempo à medida que o valor de A_n decrescer e, nesse caso, teremos perda de energia mecânica. Em resumo, as equações para a posição e a velocidade do OLA, são expressas por

$$x(t) = [A - (2n + 1)\frac{\mu c g}{\omega^2}] \cos(\omega t) + \frac{\mu c g}{\omega^2} \cos(n\pi) \quad (14)$$

$$v(t) = -\omega [A - (2n + 1)\frac{\mu c g}{\omega^2}] \sin(\omega t) \quad (15)$$

```

1 #-*- coding: utf-8 -*-
2 ##### Movimento Harmônico Linearmente Amortecido #####
3 ##Ideia Inicial ----> F = -kx + mi*m*g ou F = -kx - mi*m*g
4 from visual import *
5 from visual.graph import *
6 from math import *
7 from visual.controls import *
    
```

Figura 3. Módulos utilizados.

onde

$$n = \text{int}\left(\frac{\omega t}{\pi}\right) \quad n = 0, 1, 2, 3... \quad (16)$$

E ainda temos, para implementação no código, a equação da Energia Mecânica associada ao sistema massa-mola:

$$E = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 \quad (17)$$

A escrita do código do programa pode finalmente ser realizada e as equações serão aquelas que estarão implementadas em linguagem Python em um arquivo de notas, como o Notepad, ou na interface IDE que vem instalado juntamente com o Python. Antes de escrever o código é necessário importar os módulos que serão utilizados na simulação. Para fazer a modelagem computacional do OLA foram utilizados os módulos da Figura 3. O módulo "visual" importa o VPython, cuja função é criar a simulação em 3D. O comando "visual.graph" é usado para possibilitar a construção de gráficos da amplitude, velocidade e energia, "math" é usado para que o programa consiga fazer os cálculos e com o "visual.controls" podemos criar botões de controles (play, pause, reset e os sliders). Toda linha, exceto a primeira que é uma interpretação do tipo de caracteres utilizado, começando com o símbolo # são comentários, não fazendo parte do código do programa. A descrição do algoritmo implementado em Python não é o objetivo do trabalho e por isso não será realizada no desenvolvimento do texto. Neste caso, os autores optaram por mencionar apenas os módulos necessários para a simulação e o código completo encontra-se disponível para download ¹. Após importar os módulos e escrever todo o código do programa, o arquivo deve ser salvo com o final ".py", e ser executado para rodar a simulação.

Na modelagem foram utilizadas as equações 14, 15 e 16. No algoritmo para solução do problema, os valores da massa (m) e posição inicial do bloco (A) foram fixados em 8 kg e 5 m e não podem ser alterados durante a execução. Ao executar a simulação temos a opção de variar a constante elástica k de 20 a 120 N/m e o coeficiente de atrito μ_c de 0 a 0,6. Na Figura 4 a simulação foi executada com k=120 N/m e $\mu_c = 0$. Nesse caso temos o Oscilador Harmônico Simples, com a força de atrito

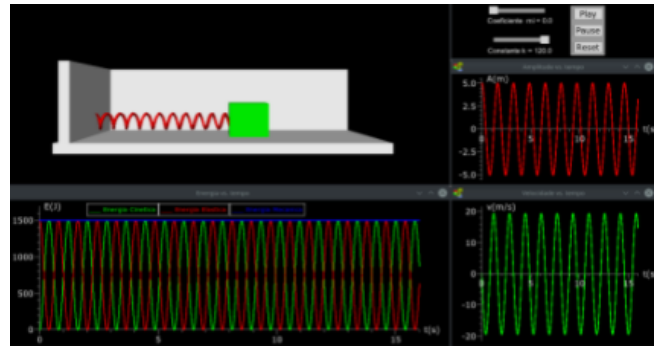


Figura 4. Simulação com $\mu_c = 0$ e k=120 N/m.

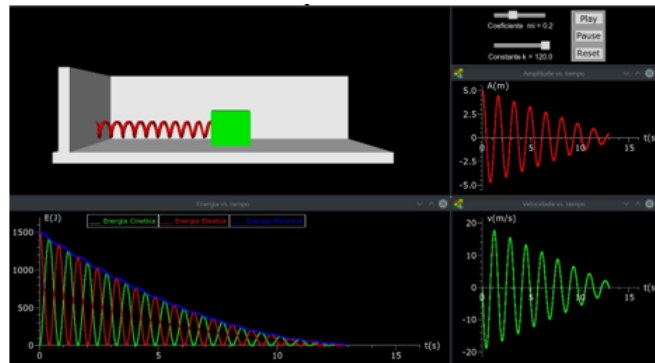


Figura 5. Simulação com $\mu_c = 0,2$ e k = 120N/m.

nula e na horizontal atua apenas a força elástica. Podemos notar que o gráfico da amplitude e da velocidade não sofrem decaimento dos valores máximos e mínimos ao longo do tempo e o gráfico da energia mecânica mostra que temos uma conservação de energia. É possível observar também que $E = K + U$ é uma constante, em que E é a energia mecânica, K a energia cinética e U a energia potencial elástica.

Um outro exemplo de uso do programa é mostrado na Figura 5, na qual apresenta-se o resultado da simulação executada com $k = 120N/m$ e $\mu_c > 0$. Nesse caso temos o Oscilador Linearmente Amortecido, no qual a força de atrito é diferente de zero. Podemos notar que o gráfico da amplitude e da velocidade decrescem linearmente com o tempo, embora não varie os valores máximos e mínimos ao longo do tempo e o gráfico da energia mecânica mostra que temos perda de energia.

Uma simulação computacional, jamais é uma transcrição perfeita do real, nessa modelagem buscou-se aproximar do real o funcionamento de um oscilador com atrito entre superfícies secas. O código dessa simulação pode ser modificado e adaptado de acordo com a necessidade do leitor.

¹ Link para download do código: https://sites.google.com/site/afisicaemfoco/ola_atrito_seco.py?attredirects=0&d=1

V. PROPOSTA DE SEQUÊNCIA INVESTIGATIVA

Essa sequência tem um caracter investigativo e sua finalidade é que alunos possam observar a conservação e perda de energia mecânica em um sistema físico. Nessa simulação o estudante deve ser capaz de analisar a energia cinética e a energia potencial elástica assim como será possível investigar o comportamento da energia em um sistema com e sem atrito.

Em diversos livros didáticos do Ensino Médio, verifica-se que apenas o Movimento Harmônico Simples (MHS) do sistema massa-mola é abordado pelos autores. A análise do MHS é feito como parte introdutória para o estudo de ondulatória, fazendo abordagem apenas do caracter oscilatório do movimento e desprezando o estudo da energia destes sistemas. Nesse trabalho fazemos uma proposta de inserir o movimento harmônico nas aulas de energia mecânica, lembrando que esse conteúdo deve ser visto após os alunos estudarem as Leis de Newton e a Lei de Hooke. Ao fazer essa investigação o estudante poderá verificar uma aplicação das leis da mecânica, além de investigar o comportamento da energia em sistemas oscilatórios. Portanto, essa investigação não tem como finalidade substituir as aulas sobre energia, mais sim complementar as aulas do professor sobre esse assunto.

VI. BREVE ROTEIRO DA SEQUÊNCIA INVESTIGATIVA

Aos professores que irão utilizar essa sequência didática, sugerimos que inicialmente ministre para os alunos uma aula ou forneça um texto introdutório sobre energia e suas transformações.

Para aplicar essa sequência investigativa é necessário que os alunos tenham conhecimentos sobre: a) Movimento variado; b) Leis de Newton; c) Lei de Hooke; d) Força de atrito.

Sugerimos que os trabalhos sejam realizados em grupos de no máximo 3 alunos por computador, e que eles façam anotações das observações da simulação, para posterior discussões com os demais colegas.

PROBLEMA A SER INVESTIGADO - É possível um corpo ter um movimento perpétuo mesmo na presença de forças dissipativas, ou seja, é possível ficar em movimento sem nunca parar na presença de atrito?

Nesta etapa os alunos devem discutir em grupos, fazendo as devidas anotações para compartilhar com os demais colegas, se é ou não possível existir uma máquina que tenha movimento perpétuo.

Sugerimos que a execução da simulação inicie com o coeficiente de atrito (μ_c) nulo e a constante elástica no valor mínimo ($k = 20N/m$), conforme Figura . Após iniciar a simulação os alunos devem observar o comportamento dos gráficos da amplitude, da velocidade e da energia e discutir em grupo. Como etapas posteriores a este primeiro contato sugerimos variar os valores do

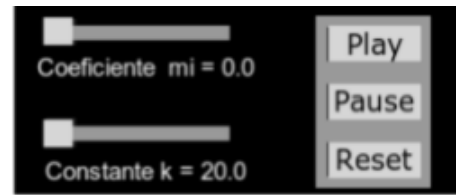


Figura 6. Simulação com $\mu_c = 0$ e $k = 20N/m$.

coeficiente de atrito e da constante elástica até os valores máximos ($k = 120N/m$ e $\mu_c = 0,6$), de diferentes maneiras.

Os alunos devem analisar e debater com o grupo o porquê do bloco não se mover ao colocar a máxima força de atrito e a mínima força elástica. Abaixo temos sugestões de situações problema que podem ser trabalhadas para que o ensino por investigação realmente aconteça. Com esse objetivo, os alunos devem responder discutindo com o grupo e executando a simulação, escolhendo os parâmetros desejados, sempre que necessário.

- O que ocorre com a energia mecânica, potencial elástica e cinética, quando o coeficiente de atrito é nulo? Seria possível deixar um plano perfeitamente liso para se obter uma força de atrito nula?
- Ao aumentar o valor da constante elástica, mantendo o coeficiente de atrito nulo, o que ocorre com o tempo de uma oscilação (período), ou seja, o tempo que o bloco leva para sair de um ponto e retornar ao mesmo lugar? A energia mecânica fica constante?
- Se colocar um alto valor para o coeficiente de atrito e um valor pequeno para a força elástica, corre o risco do bloco não se mover? Para o bloco iniciar o movimento qual força deverá ser maior?
- O que ocorre com a energia mecânica quando o coeficiente de atrito é maior do zero?
- A perda de energia depende do coeficiente de atrito?
- Voltando ao questionamento inicial é possível um corpo ter um movimento perpétuo?

Após os grupos executarem o roteiro, é importante expor as respostas para a turma, abrindo espaço para discussões e comentários, caso seja necessário o professor pode intervir com questionamentos que levem os alunos às conclusões corretas.

VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino por investigação tem se estabelecido como uma importante estratégia, por ser capaz de possibilitar uma melhoria no processo de ensino e aprendizagem.

Neste processo o professor tem o papel de mediador, possibilitando assim a formação de um aluno crítico.

Este trabalho buscou desenvolver o modelo base para o ensino de energia mecânica indicado e analisar as características do Ensino de Ciências por Investigação. Para isso foi proposto uma sequência de atividades investigativas aplicada no ensino de energia mecânica, visando superar problemas enfrentados no ensino de Física, tais como, aulas desinteressantes com pouca contextualização e conteúdos repassados como produto acabado. No pro-

cesso de elaboração da sequência investigativa, propomos atividades que possibilitem o aluno desenvolver hipóteses na busca da solução do problema a ser investigado. Pode ser necessário adaptações, de acordo com a realidade escolar, para alcançar melhores resultados.

Esperamos que este trabalho contribua com a melhoria da qualidade do Ensino de Física, tornando as aulas mais atraentes e que o aluno possa construir o seu conhecimento relacionando com a prática experimental, tornando-se capaz de criar ideias e discuti-las com professores e colegas, promovendo-as a um contexto científico.

-
- [1] MUNFORD, D. e LIMA, M.E.C. Ensinar Ciências por Investigação: Em que Estamos de Acordo? *Rev. Ensaio* 9, 1, 2007.
- [2] NEUMANN, R. e BARROSO, M.F. Simulações Computacionais e Animações no Ensino de Oscilações, XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, SBF, 2005.
- [3] BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, PCN + Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. MEC/SEMTEC, Brasília, 2002, p. 229–230.
- [4] BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio. Brasília: MEC. Versão entregue ao CNE em 03 de abril de 2018 2018. Disponível em: Disponível em http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site.pdf Acessado em: 02/04/2019
- [5] MOREIRA, M.A. Ensino de Ciências e de Matemática: Resenhas e Reflexões, *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos* 93, 234, 2012.
- [6] RODRIGUES, B.A. e BORGES, A.T. O Ensino de Ciências por Investigação: Reconstrução Histórica, XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba, UTFPR/UFPR, 2008.
- [7] BYBEE, R.W. Teaching Science as Inquiry. *Inquiring Into Inquiry Learning and Teaching in Science*. AAAS, Washington, 2000, p. 20–46.
- [8] Deboer, G. E. Historical Perspectives on Inquiry Teaching in Schools In *Flick Scientific Inquiry and Nature of Science*, Netherland, 2006, p.17–35.
- [9] Ensino por Investigação e Aprendizagem Significativa Crítica: Análise Fenomenológica do Potencial de uma Proposta de Ensino. Tese Doutorado, Universidade Estadual Paulista, 2012.
- [10] Barrow, L. H. A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education* 17, 3, p.265–278, 2006.
- [11] Crítica ao Pragmatismo a Partir de uma Reflexão Sobre o Papel da Ciência no Projeto Filosófico de John Dewey. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- [12] WESTBROOK, R.B e TEIXEIRA, A. John Dewey Editora Massangana, Recife, 2010, p.37. Disponível em <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/me4677.pdf>
- [13] ZÓMPERO, A. F. e LABURÚ, C. E Atividades Investigativas no Ensino de Ciências: Aspectos Históricos e Diferentes Abordagens, *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* 13, 3, (2011).
- [14] NEWMAN, W. J. J. ABELL, S.K. HUBBARD, P. D., McDONALD, J., OTAALA, J. e MARTINI, M. Dilemmas of Ee-aching Inquiry in Elementary Science Methods, *Journal of Science Teacher Education* 15, 4, p.257–279, 2004.
- [15] SASSERON, L. H. e CARVALHO, A. M. P. Almejando a Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: A Proposição e a Procura de Indicadores do Processo, *Investigações em Ensino de Ciências* 13, 3, p.333–352, (2008).
- [16] CARVALHO, A. M. P. In *Ensino de Ciências por Investigação: Condições Para Implementação em Sala de Aula*, Cengage Learning, São Paulo, 2013, p.1–20.
- [17] VEIT, E. A e ARAUJO, I. S. Modelagem Computacional no Ensino de Física, *Revista do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas. CEDU-n*, (2005).
- [18] PYTHON, Disponível em <https://wiki.python.org/moin/> Acessado em: 02/04/2019
- [19] VPYTHON, Disponível em <https://desenvolvimentoaberto.org/2014/03/22/introducao-a-programacao-3d-vphyton/> Acessado em: 02/04/2019