

**EMÍLIA DO CARMO ELIAS GOMES SOBREIRA**

**ATIVIDADES EXPERIMENTAIS EM MODO INVESTIGATIVO COMO ESTRATÉGIA  
PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DA FÍSICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Alexandre Tadeu G. de Carvalho

Coorientador: Daniel Rodrigues Ventura

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S677a  
2023

Sobreira, Emília do Carmo Elias Gomes, 1987-  
Atividades experimentais em modo investigativo como  
estratégia para aprendizagem significativa no ensino da Física /  
Emília do Carmo Elias Gomes Sobreira. – Viçosa, MG, 2023.  
1 dissertação eletrônica (144 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexo.

Inclui apêndice.

Orientador: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Física, 2023.

Referências bibliográficas: f. 108-113.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.588>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Física (Ensino médio) -  
Experiências. I. Carvalho, Alexandre Tadeu Gomes de, 1959-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Física.  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

CDD 22. ed. 530.071

**EMÍLIA DO CARMO ELIAS GOMES SOBREIRA**

**ATIVIDADES EXPERIMENTAIS EM MODO INVESTIGATIVO COMO ESTRATÉGIA  
PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DA FÍSICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 07 de julho 2023

Assentimento:



Documento assinado digitalmente

**EMÍLIA DO CARMO ELIAS GOMES SOBREIRA**

Data: 04/10/2023 11:10:41-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Emília do Carmo Elias Gomes Sobreira**  
Autora



Documento assinado digitalmente

**ALEXANDRE TADEU GOMES DE CARVALHO**

Data: 04/10/2023 11:26:12-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho**  
Orientador

*A Tadeu, Renan e Liz.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais Antônio e Maria Helena, pelo apoio e compreensão da importância da educação.

Ao meu esposo Tadeu, pelo apoio incondicional durante esta jornada.

Aos meus filhos Renan e Liz, por entenderem minhas ausências, mesmo quando estava fisicamente presente. Vocês são a razão da minha vida.

As minhas irmãs Eveline, Eliane e meus cunhados José Antônio e Jardel.

Ao meu orientador Alexandre, por toda paciência e disponibilidade ao longo destes anos. Por ter acreditado em mim, quando eu mesma duvidava da minha capacidade. Minha eterna gratidão, admiração e respeito.

Ao professor Daniel Rodrigues Ventura, pela coorientação durante a aplicação da sequência didática.

Aos professores Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho, Álvaro José Magalhães Neves, Eduardo Nery Duarte de Araújo, Orlando Pinheiro da Fonseca Rodrigues, Regina Simplício Carvalho e Vagson Luiz de Carvalho Santos, vocês não imaginam o quanto eu cresci pessoal e profissionalmente durante estes anos. Gratidão por todos os ensinamentos e pronta disponibilidade em solucionar minhas dúvidas, que não foram poucas.

A professora Andreza Germana da Silva Subtil, pela gentileza em ter participado da construção de um *podcast*.

Ao professor Hallan Souza e Silva e seu orientando Julimar Simões de Paula, por terem elaborado e gentilmente cedido as simulações computacionais.

Aos colegas do mestrado, sempre cordiais, em especial a Sandra Suely por todas as horas em que estudamos juntas.

Aos amigos do Colégio Estadual Dr. João Rodrigues França, minha primeira escola como efetiva, pela acolhida e carinho que tiveram para comigo.

Aos amigos do Colégio Estadual Dr. José Bastos França.

Aos amigos da Escola Estadual Professor Gonçalves Couto.

Às diretoras Luciana e Elisângela, pela pronta disponibilidade na organização de meus horários.

Aos meus alunos e ex-alunos das escolas citadas, que são o motivo da minha busca por aperfeiçoamento profissional.

À Sociedade Brasileira de Física, por disponibilizar o Mestrado Profissional de forma a capacitar os professores da rede pública de educação.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

*“Lembra de onde você veio e aonde que você chegou”.*  
(Filipe Costa Silva)

## RESUMO

SOBREIRA, E. C. E. G., M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2023. **Atividades experimentais em modo investigativo como estratégia para aprendizagem significativa no Ensino da Física.** Orientador: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho. Coorientador: Daniel Rodrigues Ventura.

A experimentação é uma das formas mais estimulantes e eficazes de se ensinar física, permitindo que os alunos elaborem coletivamente os conceitos, sendo possível a testagem de hipóteses e a observação de fenômenos. O uso de materiais simples e/ou de baixo custo possibilitam a reprodução dos experimentos pelos estudantes, auxiliando-os no desenvolvimento de suas habilidades manuais e cognitivas, na observação, na análise e interpretação de dados e compreensão de resultados. Elaboramos e praticamos um ensino apoiado na investigação, tornando a aprendizagem ativa e interessante, utilizamos para tanto um conjunto de quatro experimentos para proporcionar uma aprendizagem na qual o aluno fosse o protagonista, participando ativamente de todo o processo de ensino e aprendizagem. Os experimentos propostos e trabalhados foram: pêndulo simples, vela oscilante, motor de Heron e motor de Elástico. Dessa forma buscamos proporcionar uma aprendizagem significativa e duradoura, estimulando o desenvolvimento do pensamento crítico e autônomo dos alunos. Buscando inserir mecanismos que contribuam com o desenvolver do aluno e despertem seu interesse, fizemos ainda uso do software Tracker para análise de vídeo dos experimentos.

Palavras-chave: Experimentação. Ensino por investigação. Vela oscilante.

## ABSTRACT

SOBREIRA, E. C. E. G., M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2023. **Experimental activities in an inquiry-based learning as a strategy for meaningful learning in Physics Teaching.** Adviser: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho. Co-adviser: Daniel Rodrigues Ventura.

Experimentation is one of the most stimulating and effective ways of teaching physics, allowing students to collectively elaborate concepts, making it possible to test hypotheses and observe phenomena. The use of simple and/or low-cost materials makes it possible for students to reproduce experiments, helping them to develop their manual and cognitive skills, observation, analysis and interpretation of data and understanding of results. We develop and practice teaching based on research, making learning active and interesting. To do so, we use a set of four experiments to provide learning in which the student is the protagonist, actively participating in the entire teaching and learning process. The experiments proposed and worked on were: simple pendulum, oscillating candle, Heron engine and Elastic engine. In this way, we seek to provide meaningful and lasting learning, stimulating the development of students' critical and autonomous thinking. Seeking to insert mechanisms that contribute to the student's development and arouse their interest, we also used the Tracker software to analyze video of the experiments.

Keywords: Experimentation. Teaching by investigation. Candle oscillating.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>11</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
<b>FUNDAMENTOS EM ENSINO</b> .....	<b>15</b>
2.1 Teoria pedagógica de Dewey .....	16
2.2 Teoria pedagógica de Carl Rogers .....	18
2.3 Aprendizagem experiencial de David Kolb.....	20
2.4 Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel .....	23
2.5 Teoria da mediação de Vigotski.....	24
2.6 A aprendizagem e o ensino de ciências: Pozo e Crespo .....	26
2.7 Estado da Arte na aprendizagem através da experiência .....	30
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>34</b>
<b>FUNDAMENTOS DE FÍSICA</b> .....	<b>34</b>
3.1 Movimento Oscilatório.....	34
3.1.1 Movimento Harmônico Simples (MHS).....	35
3.1.2 Pêndulo simples .....	37
3.1.3 MHS amortecido .....	42
3.1.5 Ressonância.....	47
3.1.6 Pêndulo físico .....	48
3.1.7 Pêndulo paramétrico .....	50
3.1.8 Vela oscilante apagada – movimento oscilatório amortecido .....	52
3.1.9 Vela oscilante acesa – movimento oscilatório ressonante .....	54
3.1.10 Simulações computacionais .....	57
3.2 Termodinâmica .....	63
3.2.1 Lei Zero da Termodinâmica .....	63
3.2.2 1ª Lei da Termodinâmica .....	64
3.2.3 2ª Lei da Termodinâmica .....	66
3.2.4 Motor de Heron .....	67
3.2.5 Motor térmico de elástico .....	69
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>74</b>
<b>A SEQUÊNCIA DIDÁTICA</b> .....	<b>74</b>
4.1 Sequência didática – Oscilações .....	76
4.1.1 Pêndulo simples .....	76
4.1.2 Vela oscilante .....	80
4.2 Sequência didática – Termodinâmica .....	84
4.2.1 Motor de Heron .....	85
4.2.2 Motor de elástico .....	89
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>92</b>
<b>RELATO E DISCUSSÃO</b> .....	<b>92</b>

5.1 Oscilações .....	94
5.2 Primeira lei da Termodinâmica .....	96
5.3 Avaliação diagnóstica e formativa .....	98
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>106</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>114</b>
<b>1) PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS .....</b>	<b>114</b>
<b>2) PRODUTO EDUCACIONAL.....</b>	<b>120</b>

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

Em nosso país, o Brasil, o ensino da física na educação básica é caracterizado, tipicamente, por aulas expositivas e padronizadas, que fazem uso excessivo da matemática e que são desprovidas de significado para o estudante, em detrimento da explicação conceitual e de atividades experimentais, desconsiderando-se que quase toda elaboração conceitual decorre da experiência (MENDES e BATISTA, 2016).

Essas abordagens do ensino da Física associam a esta disciplina dificuldade de compreensão, pouca relevância para a vida e são incapazes de despertar a curiosidade e o interesse dos alunos, elementos que motivam o aprendizado.

Experimentos têm um papel central na investigação científica em Física e também no ensino/aprendizagem desta ciência. Segundo Richard Feynman, o teste de todo o conhecimento é o experimento; o experimento é o único juiz da “verdade” científica. No ensino, as atividades experimentais são uma forma educativa de estimular, no processo de ensino e aprendizagem, a criatividade, a atitude crítica e reflexiva, proporcionando aos estudantes um aprendizado mais significativo.

A autonomia intelectual é uma condição essencial para que os indivíduos mantenham sua capacidade produtiva na atual Sociedade do Conhecimento, onde a criatividade é primordial e o saber alcança uma rápida obsolescência. Em razão destes aspectos a escola deve fomentar, além da aprendizagem de conhecimentos objetivos, a metacognição, capacitando o aluno a administrar o seu próprio processo de aprendizagem (POZO, 2002).

Na aprendizagem baseada em investigação, a experimentação pode ensejar discussões capazes de conduzir à elaboração de modelos físicos e de suas representações conceituais, de propiciar a compreensão dos conceitos e da atividade científica. A aprendizagem é orquestrada pelo professor, que fomenta a investigação por meio da observação, coleta e análise de dados, elaboração de hipóteses e suas testagens, síntese dos resultados e formulação de conclusões. Este modo ativo de ensino/aprendizagem estimula o trabalho colaborativo e uma postura crítica e reflexiva diante dos fatos da vida, conduzindo à processos de metacognição e à construção da autonomia intelectual (PEDASTE et al., 2015).

Para possibilitar aos estudantes o desenvolvimento e o uso de raciocínio científico, o ensino por investigação deve considerar não somente os conhecimentos de processos, mas também o conceitual e o epistêmico. Estes três tipos de conhecimento, quando considerados e trabalhados de modo intrincado, podem contribuir para o desenvolvimento do raciocínio científico (SASSERON, 2018). Segundo Pozo e Crespo (2009), a maioria dos alunos não aprende a ciência que lhes é ensinada. Apesar de saberem fazer, os estudantes não sabem para que servem aqueles resultados e como aplicá-los e explicá-los.

Considerando o exposto acima, descrevemos neste trabalho a produção e oferta de aulas experimentais de Física, apoiadas na linguagem multimídia e desenvolvidas em modo investigativo, bem como a avaliação da eficácia destas aulas na aprendizagem dos estudantes de ensino médio da rede pública do Estado de Minas Gerais. Este trabalho ocorreu no decorrer dos anos de 2021 e 2022, abarcando o período pandêmico (Covid-19). A pandemia impôs a oferta de aulas remotas e muitos alunos não dispunham de recursos para acessar as aulas oferecidas por meio das plataformas digitais, com isso a aprendizagem ocorreu de forma insatisfatória, aguçando a dificuldade de aprendizagem.

No período remoto foram ministradas aulas no formato do ensino por investigação, onde os alunos foram instigados a relacionar o experimento com o conteúdo. Estas aulas no formato investigativo tiveram sequência no decorrer de 2022, pós-pandêmico, e tornaram-se parte da minha prática docente.

Observamos que quando o aluno tem a oportunidade de visualizar, por meio de materiais didáticos que exibem experimentos concretos, a dinâmica da aula torna-se diferente da aula expositiva tradicional. A participação tornou-se ativa, gerando tempestade de ideias (brainstorming), de opiniões e discussão sobre o fenômeno que estava sendo analisado.

Os experimentos utilizados nas sequências didáticas e que apresentamos nesta dissertação foram relacionados a oscilações e a termodinâmica, conforme segue:

- 1) Oscilações
  - i) Pêndulo simples
  - ii) Vela oscilante (pêndulo físico)
- 2) Termodinâmica
  - i) Motor de Heron

ii) Motor de elástico

Nas sequências didáticas, os experimentos foram selecionados e aplicados seguindo uma sequência do experimento menos instigante para o mais instigante, sob nossa ótica.

A sequência didática referente a oscilações foi ofertada e aplicada remotamente, para alunos do 1º ano do ensino médio de escolas públicas, no ano de 2021, exclusivamente em modo remoto.

A sequência didática referente a termodinâmica foi ofertada e aplicada remotamente, em 2021, e presencialmente, em 2022, para alunos do 2º ano do ensino médio de uma escola pública. Vale ressaltar que as turmas de 2º ano em 2022, eram compostas, na sua maioria, pelos mesmos alunos das turmas de 1º ano de 2021, que participaram das aulas no formato remoto.

Durante o ano de 2021, participamos de dois eventos acerca do ensino por investigação, com a apresentação de resumos e trabalhos: o Simpósio de Integração Acadêmica (SIA/UFV) e do II Encontro Mineiro de Ensino de Física (EMEFis/UFLA). Já em 2022, apresentamos trabalho no Encontro de Outono da Sociedade Brasileira de Física (EOSBF).

Em novembro de 2022, participamos da Feira de Ciências, da Escola Estadual Professor Gonçalves Couto, na qual os alunos apresentaram experimentos, relacionados aos conteúdos tratados em sala de aula. As explicações e respostas dos alunos aos questionamentos dos professores avaliadores revelou a solidez de conhecimentos dos alunos.

São muitas as dificuldades encontradas, para que o aluno saia da sua zona de conforto, aquela na qual ele é mero ouvinte, e tenha interesse pelo novo. As atividades experimentais permitiram perceber que a visualização da evolução de um fenômeno conduz a uma aprendizagem instigante e duradoura. O aluno antes passivo se torna agente ativo no processo de ensino-aprendizagem.

É importante ressaltar que, em razão da inexistência de laboratório físico na escola da rede estadual de ensino nas quais as sequências didáticas foram aplicadas, a experimentação ocorreu dentro da sala de aula, por meio da exibição do próprio experimento ou de vídeos destes, e também com o auxílio das simulações computacionais do Phet (Universidade do Colorado).

O presente trabalho conta com mais cinco capítulos além deste capítulo 1, introdutório, que objetiva situar o leitor acerca de nosso trabalho e nossa motivação,

além de oferecer-lhe um panorama geral da dissertação. No capítulo 2, tratamos das teorias de aprendizagem, que nortearam tanto a construção das sequências didáticas quanto a análise dos resultados da aplicação destas, estes últimos apresentados nos capítulos posteriores. No capítulo 3, abordamos o formalismo dos osciladores harmônicos, versando desde o pêndulo simples, o pêndulo físico até o pêndulo paramétrico. Elaboramos e apresentamos uma nova explicação, original, para o centenário problema da vela oscilante. Segue-se uma seção sobre as leis da Termodinâmica, abordando especialmente o motor de Heron e o motor de Elástico. Finalizamos o capítulo desenvolvendo a teoria do ciclo termodinâmico do motor de Elástico. No capítulo 4, tratamos da construção da sequência didática e de seus fundamentos metodológicos. No capítulo 5, apresentamos nossos resultados e desenvolvemos discussões sobre a aplicação da sequência didática. No capítulo 6, de Conclusão, apresentamos nossas considerações finais a respeito de nosso trabalho. Seguem-se as referências.

O produto educacional desenvolvido, como parte das exigências do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, é apresentado como apêndice, sendo composto de uma exposição detalhada da construção da sequência didática com dicas e suporte para sua reprodução por outros professores da educação básica.

A sequência didática, vídeos de curta duração desenvolvidos por nós, ao longo desde trabalho podem ser acessados livremente no seguinte endereço eletrônico: <https://6434614eba979.site123.me/>.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTOS EM ENSINO

No ensino expositivo, tradicional, o professor é visto como o detentor de todo conhecimento e os alunos, são meros ouvintes e receptores deste conhecimento. Ao falar-se de experimentação, ocorre a associação direta com a necessidade de se ter um laboratório provido de toda a aparelhagem utilizada nos meios científicos.

A motivação para a aprendizagem decorre de aspectos emocionais, sentimentos, como curiosidade e ambição pelo poder. Acredita-se (ARAÚJO e ABIB, 2003) que a experimentação seja um instrumento didático que produz motivos para que os alunos desenvolvam a atividade de estudo, viabilizando assim a apropriação cultural dos conhecimentos científicos escolares a partir da memorização voluntária. Para ser eficaz no despertar a atenção do estudante, o experimento não deve ter uma resposta óbvia, imediata, mas ao mesmo tempo permitir a formulação clara de uma pergunta (POZO, 2002).

No ensino, a experimentação abrange os contextos epistemológico, pedagógico e processual, pois congrega concepções de ciência, de conhecimento científico e de método científico. Abrange também concepções de aprendizagem, conhecimentos prévios dos alunos e das relações entre conteúdo e método. Quando as atividades experimentais são integradas com outras experiências de aprendizagem metacognitivas e quando incorporam ideias ao invés de simplesmente materiais e procedimentos, podem promover o aprendizado da ciência (POZO e CRESPO, 2009) (HOFSTEIN e LUNETTA, 2004) (HIGA e OLIVEIRA, 2012). A gênese da compreensão da ciência é um processo cíclico que liga experimento, conceitos e princípios.

Os notáveis teóricos educacionais americanos John Dewey (1859-1952), Carl Rogers (1902-1987) e David Kolb (1939) forneceram as bases teóricas para o ensino por investigação e para a aprendizagem através da experiência. Enquanto o psicólogo David Paul Ausubel (1918-2008), também americano, desenvolveu a teoria da aprendizagem significativa, que trata dos diferentes modos que uma nova informação pode ser assimilada a uma estrutura cognitiva pré-existente.

O também psicólogo Lev Semionovitch Vigotski (1896-1934), de origem russa, desenvolveu a teoria socioconstrutivista, segundo a qual o desenvolvimento cognitivo se dá por meio da interação social, mediada pela utilização de instrumentos e

signos. Outros renomados autores que trataram da aprendizagem através da experiência são o físico brasileiro Alberto Gaspar (1957-2018) e o psicólogo espanhol Juan Ignacio Pozo Municio (dados biográficos não apurados, mas sabidamente vivo). Estes teóricos e autores compõem o referencial que norteou nossa escolha por ensinar pelo método investigativo utilizando de atividades experimentais. A seguir faremos uma breve digressão do trabalho de cada um deles, dentro deste escopo.

Pretende-se mostrar neste trabalho que o aluno é um ser que adentra no ambiente escolar com suas crenças e ideias devido ao meio sociocultural em que está inserido, e por meio da experimentação que propomos ao trabalhar por investigação, ele observa que fatores e ocorrências de seu cotidiano fazem parte do fascinante mundo da ciência.

As crianças e adolescentes, enquanto seres em formação, devem ser orientados pelo professor, mediador entre o conhecimento científico e o conhecimento de “mundo” que o aluno carrega consigo, buscando desmistificar alguns mitos e levando-os a chegar a suas próprias conclusões, por meio de discussões produtivas do objeto em estudo.

## **2.1 Teoria pedagógica de Dewey**

John Dewey, natural de Burlington (EUA), nasceu em 1859, vindo a falecer em 1952. Formado em filosofia, psicologia e pedagogia pela Universidade de Vermont foi um árduo defensor do experimentalismo, visando o desenvolvimento do indivíduo como um todo nos âmbitos físico, emocional e intelectual.

Dewey acreditava que os seres humanos, tanto crianças quanto adultos, aprendem de forma semelhante e que suas vivências devem ser levadas em consideração. Principalmente com relação às crianças, dizia-se que elas não eram como um quadro em branco ao chegar no ambiente escolar, já dispunham de algumas habilidades formadas ou em processo de formação.

Acreditava que a escola deveria prepará-las para a vida, “afinal, as crianças não estão, num dado momento, sendo preparadas para a vida e, em outro, vivendo” (DEWEY, 1979). Acreditava que a prática e experimentação resultavam em uma aprendizagem mais eficaz, do que o tradicionalismo da época.

Enquanto progressista acreditava firmemente que a escola poderia fomentar nos educandos sua capacidade de pensar, discutir, experimentar, o que culminaria no interesse pelos estudos, pela aquisição de conhecimento.

Com isso, em 1896, surge a Escola de Dewey (Escola Experimental da Universidade de Chicago), onde ele pôs em prática o ensino no qual acreditava. Separou grupos de crianças de acordo com suas faixas etárias, de modo que elas ao desenvolverem atividades domésticas e campais, como cozinhar e costurar, até construção de granjas, trabalhavam a leitura, cálculos matemáticos, história, ciências e artes, conhecimentos que Dewey valorizava.

Um dos grandes méritos da teoria de educação de Dewey foi o de restaurar o equilíbrio entre a educação tácita e não formal recebida diretamente da vida, e a educação direta e expressa das escolas, integrando a aprendizagem obtida através de um exercício específico a isto destinado (escola), com a aprendizagem diretamente absorvida nas experiências sociais (vida). (TEIXEIRA e WESTBROOK, 2010).

Dewey ao correlacionar vida e escola, causou um grande impacto no sistema educacional e nos métodos de ensino, tanto nos Estados Unidos quanto no mundo. No Brasil, esta corrente foi introduzida pelo baiano Anísio Teixeira, seu discípulo, defendendo que o ensino experiencial deveria ser combinado com os conteúdos regulares contidos nos currículos, mesclando a Escola Nova com a Tradicional.

Os trabalhos de John Dewey fundamentaram a abordagem de ensino denominada “Ensino por Investigação” (Inquiry Based Learning). A abordagem de ensino por investigação situa os questionamentos, as ideias e observações dos alunos no centro da experiência de aprendizagem, possibilitando o aprimoramento do raciocínio e das habilidades cognitivas dos alunos, e também a cooperação entre eles, bem como a compreensão da natureza do trabalho científico (ZÔMPERO e LABURÚ, 2011) (SANTANA e FRANZOLIN, 2018) (CARVALHO, 2018).

A Figura 1 mostra um diagrama do modelo de aprendizagem de Dewey que sugere uma reflexão cíclica sobre o processo que envolve planejamento, recuperação, processamento, criação, compartilhamento e avaliação.

**Figura 1 - Modelo investigativo de Dewey**



Fonte: Adaptada de <https://lakelvin.files.wordpress.com/2012/05/il-research-model-oberg2.png>

## 2.2 Teoria pedagógica de Carl Rogers

Rogers (MOREIRA, 2022) considerou a aprendizagem experimental “significante” em comparação com o que chamou de aprendizagem cognitiva “sem sentido”. A sua psicologia da aprendizagem considera as relações interpessoais, bem como a visão holística e sistêmica do indivíduo. Segundo ele um dos meios mais eficazes para promover a aprendizagem consiste em colocar o aluno em confronto experiencial direto com problemas práticos e de pesquisa.

Rogers elencou uma dezena de princípios da aprendizagem, que seguem (ROGERS, 2022) (ROGERS, 1972) (ZIMRING, 2010):

1 – Os seres humanos são intrinsecamente curiosos, naturalmente buscam o conhecimento, e são ambivalentes pois desejam aprender, mas não desejam pagar o preço para tanto. Toda aprendizagem significativa envolve um certo grau de sofrimento antes que se alcance a aprendizagem, a bonança.

2 - Aprendizagem significativa ocorre quando a disciplina escolar, conjunto de conhecimentos específicos, é percebida pelo aluno como relevante para seus próprios objetivos - a disciplina ensinada deve ser relevante para o aluno, ou seja, deve fazer

sentido para a vida dele. Quando o aluno percebe a disciplina como relevante, a aprendizagem se faz com mais rapidez

3 - A aprendizagem que envolve mudança na organização do eu, na percepção de si mesmo, é ameaçadora e tende a suscitar resistência - a mudança de percepção do ser humano, a maioria das vezes é difícil de ser assimilada, pois mudar um conceito já conhecido e em que se acredita é uma atitude nem sempre bem recebida pelo próprio indivíduo. Mudanças são especialmente penosas e ameaçadoras quando as aprendizagens envolvem conceitos contraditórios instalados no indivíduo.

4 - As aprendizagens que ameaçam o "eu" são mais facilmente percebidas e assimiladas quando as ameaças externas se reduzem ao mínimo; por exemplo, quando o aluno se sente à vontade para aprender um tema novo sem fortes cobranças, o conteúdo da disciplina é assimilado com mais facilidade.

5 - Quando a ameaça ao eu é pequena, pode-se perceber a experiência de maneira diferenciada e a aprendizagem pode evoluir; a consciência do aluno ao perceber que pode errar até que aprenda, faz com que este reconheça onde errou e tente novamente. Toda aprendizagem envolve crescente diferenciação das experiências e a assimilação dos significados dessas diferenciações.

6 - Grande parte da aprendizagem significativa é adquirida por meio do confronto experiencial direto com questões práticas; para que a aprendizagem ocorra é preciso ter um significado e para isso é preciso ser experienciado.

7 - Aprendizagem é facilitada quando o aluno participa responsabilmente do processo de aprendizagem; a autonomia do aluno na própria aprendizagem, é um ato mais significativo para o mesmo. A aprendizagem ativa é muito mais eficaz que a aprendizagem passiva.

8 - A aprendizagem autoiniciada que envolve a pessoa do aprendiz como um todo, sentimentos e intelecto, é mais duradoura e abrangente. Uma aprendizagem científica, por exemplo, não pode ser composta somente por anotações, leitura e materiais, mas precisa ter um significado para quem a aprende.

9 - A independência, a criatividade e a autoconfiança são todas facilitadas quando a autocrítica e a auto avaliação são básicas, e a avaliação feita por outros é secundária - ser o seu próprio crítico faz com que a opinião externa seja mais bem aceita. A autonomia é um dos pontos mais importante.

10 - A aprendizagem socialmente mais útil, no mundo moderno, é a do próprio processo de aprender, uma contínua abertura à experiência e à incorporação, dentro

de si mesmo, do processo de mudança - um educador deve saber que o conhecimento prévio nunca deve ser descartado e o que o aluno aprende depois deve completar o que este já sabia previamente.

Em relação ao ensino, Rogers aponta que a facilitação da aprendizagem significativa repousa em certas qualidades atitudinais presentes na relação interpessoal entre professor e aluno, além das habilidades de ensino do professor e sua erudição, assim como da eficácia dos materiais instrucionais. As atitudes do professor que caracterizam a facilitação da aprendizagem significativa são (MOREIRA e MASSONI, 2015):

- Autenticidade do facilitador da aprendizagem. Quando o professor (facilitador) é uma pessoa para seus alunos, não um mecanismo por meio do qual o conhecimento é transmitido de uma geração para outra, a aprendizagem significativa é facilitada.
- Prezar, aceitar, confiar. Uma segunda qualidade do facilitador bem sucedido caracteriza-se por uma estima, uma aceitação, uma confiança pelo aluno que é também pessoa e merecedora da plena oportunidade de aprender.
- Compreensão empática. O professor que apresenta esta atitude é capaz de compreender o aluno, colocando-se no seu lugar, considerando o mundo segundo sua perspectiva. A compreensão empática faz com que o aluno se sinta compreendido, ao invés de julgado ou avaliado.

### 2.3 Aprendizagem experiencial de David Kolb

*“Aprendizagem é o processo pelo qual o conhecimento é criado através da transformação da experiência. O conhecimento resulta da combinação de capturar a experiência e transformá-la.”*

David A. Kolb

O norte-americano David Allen Kolb, nascido em 1939, é um teórico que concentrou seus estudos na aprendizagem experiencial. Teve forte influência de John Dewey, Jean Piaget e implicitamente se apropriou das contribuições de Vigotski.

Kolb valoriza a vivência do indivíduo, sua história, valores e ainda aspectos como o sentir, o pensar e o refletir para compreender a realidade na qual está inserido.

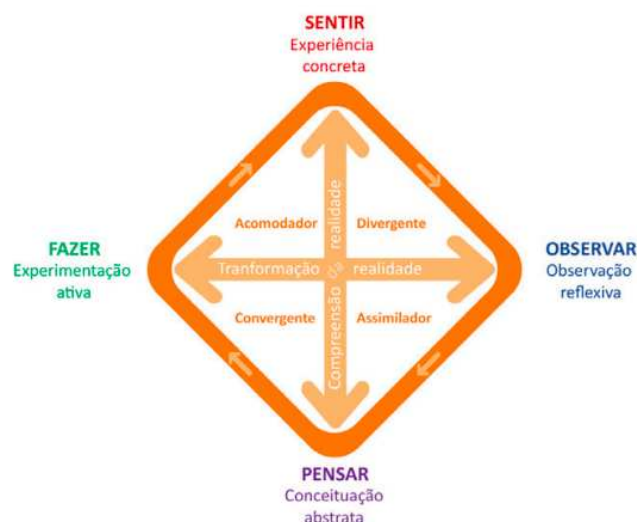
A experimentação é de suma importância para correlacionar prática e teoria, sendo as experiências concretas, a tempestade de ideias (*brainstorm*), que surgem no decorrer da aula, proporcionam a assimilação de novos conceitos. Com esta possibilidade em mente, trabalhamos as sequências didáticas voltadas para a experimentação.

Kolb (2015) cita uma lista de acadêmicos fundamentais da aprendizagem experiencial, cujos estudos ele reuniu em seu ciclo de aprendizagem. São eles:

- William James, teórico do empirismo radical e criador da teoria do conhecimento duplo;
- Kurt Lewin, baseou-se na pesquisa de ação e criador da psicologia social americana, cuja máxima é que “*não existe nada tão prático quanto uma boa teoria*”;
- Carl Rogers, cujos estudos se deram por meio da autorrealização por meio do processo da experiência;
- Carl Jung, desenvolvimento de especialização em integração;
- John Dewey, teórico da educação experiencial, cuja abordagem é progressista;
- Jean Piaget, teórico do construtivismo, defensor de que a inteligência é moldada pela experiência;
- Lev Vigotski, teórico que descreveu a Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI), nomenclatura que será discutida posteriormente, foca no desenvolvimento interno do indivíduo;
- Paulo Freire, tratando da experiência por meio do diálogo e;
- Mary Parker Follet, que centrou seus estudos na experiência criativa, o uso do relacionamento na aprendizagem e juntamente a Rogers, Vigotski e Freire colocaram a relação entre docentes e discentes no centro de suas teorias.

A pesquisa de todos esses teóricos proporcionou a Kolb o desenvolvimento de seu ciclo de aprendizagem experiencial, baseado nos eixos da experiência concreta, observação reflexiva, conceitualização abstrata e experimentação ativa, conforme representado na Figura 2. Deste ciclo provém os estilos de aprendizagem, denominados por ele de *acomodador*, *divergente*, *convergente* e *assimilador*.

Figura 2 - Ciclo de aprendizagem de Kolb



Fonte:

[https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/2361/1/ESTILOS\\_APRENDIZAGEM\\_MOD\\_2.pdf](https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/2361/1/ESTILOS_APRENDIZAGEM_MOD_2.pdf)

Por este ciclo de aprendizagem, observa-se que a compreensão da realidade se dá pelo sentir, pensar e refletir. A experiência concreta (CE) permite a compreensão da realidade por meio dos processos mentais pré-existentes, a observação reflexiva (RO) remete as atitudes a serem tomadas por meio das reflexões acerca do tema de estudo. Na conceitualização abstrata (AC) é importante a troca de opiniões entre os pares a fim de conceitualizar e sua aplicação prática ocorre por meio da experimentação ativa (AE).

Deste ciclo derivam alguns estilos de aprendizagem, o estilo *acomodador*, no qual a aprendizagem ocorre através das experiências práticas, o *divergente* presente na conceitualização abstrata, *convergente*, visando a experiência concreta, relacionada a resolução de problemas, e o *assimilador*, que permite a organização lógica.

Para Kolb a aprendizagem pode ser entendida como “o processo pelo qual o conhecimento é criado através da transformação da experiência” (KOLB, 2015), sendo esta experimentação de suma importância para o estabelecimento de relações entre prática e teoria, na qual o concreto ajuda a consolidar conceitos mais abstratos.

## 2.4 Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel

David Paul Ausubel, natural de Nova Iorque, foi psiquiatra, dedicando-se a psicologia educacional. Defensor da aprendizagem significativa e não mecânica, onde o novo conhecimento deve ser ancorado em algum conhecimento anterior.

Ausubel recomenda o uso de organizadores prévios que sirvam de âncora para a nova aprendizagem e levem ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. (MOREIRA, 2022, p.142).

A aprendizagem mecânica não é duradoura, foi apenas para aquele momento da aula, para um teste ou outra atividade em que aquele conhecimento se fez necessário, mas ao ser preciso recorrer a esse conhecimento novamente, o estudante por diversas vezes não tem o conteúdo bem delineado em sua mente.

Os aspectos cognitivos da aprendizagem significativa de Ausubel, busca fomentar naquele aluno, de forma contundente, o conhecimento em questão, de forma não mecânica e que permaneça mesmo após o decorrer de certo tempo. E a medida em que o aluno precise recorrer a esse conhecimento ele o tenha bem nítido em sua mente.

Porém, Ausubel salienta que a memorização (aprendizagem mecânica) pode ocorrer quando o aluno não visualiza a correlação entre um novo conhecimento e o que foi exposto anteriormente.

A utilização de recursos que facilitem a aprendizagem significativa e duradoura é o grande diferencial. Um novo conhecimento precisa estar ancorado em algo que o aluno já tenha prévio conhecimento, para ser mais efetivo e que vai se modificando com o passar do tempo e com a aquisição de novos conceitos.

(...) a compreensão genuína de um conceito ou proposição implica a posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis  
(...)  
(...) ao procurar evidência de compreensão significativa, a melhor maneira de evitar a “simulação de aprendizagem significativa” é formular questões e problemas de uma maneira nova e não familiar, que requeira máxima transformação do conhecimento adquirido. Testes de compreensão, por exemplo, devem, no mínimo, ser fraseados de maneira diferente e apresentados em um contexto de alguma forma diferente daquele originalmente encontrado no material instrucional. (MOREIRA, 2022, p.143).

A interação entre os antigos e novos conhecimentos, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária (com conhecimento especificamente relevante), cria novos subsunçores, o que leva a reestruturação da rede cognitiva, acarretando na aprendizagem significativa. E um dos principais fatores para que essa aprendizagem ocorra é que o estudante tenha vontade de aprender, para que esta integração de conhecimentos seja ampliada e modificada de acordo com a aquisição de novos conceitos. Segundo Ausubel, "... o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo." (AUSUBEL, 1968, 1978, 1980, 2000 apud MOREIRA, 2022, p.148).

O professor é mediador durante o processo de ensino aprendizagem, auxiliando seus estudantes a desvendarem aquilo que ele já tem conhecimento e integrar com novos conceitos a fim de ampliar sua estrutura cognitiva.

Pelo contrário, a aprendizagem mecânica, ocorre quando um conhecimento é adquirido unicamente mediante a memorização, incorporado arbitrariamente na estrutura de conhecimentos de uma pessoa, sem interagir com o nenhum conhecimento prévio.

As aprendizagens mecânica e significativa são entendidas por Ausubel extremos de um *continuum* de aprendizagens. A forma como adquirimos conhecimento se dá na região intermediária entre esses dois extremos, captando e fixando certas partes do conhecimento e outras somente de forma mecânica.

## 2.5 Teoria da mediação de Vigotski

Lev Semenovich Vigotski, natural da Belarus, ingressou no curso de medicina, mas após um mês de curso, transferiu-se para o curso de direito, dedicando-se a filosofia e história. Foi professor de psicologia e literatura e defendia que o contexto social, histórico e cultural interferia diretamente no desenvolvimento cognitivo.

A abordagem sócio-histórica de Vygotsky defendia a linguagem e as interações sociais como elementos cruciais na formação da consciência humana, e o ser humano era considerado uma realidade concreta, cujo desenvolvimento tinha sua gênese no psiquismo (NUNES; SILVEIRA, 2011. apud SOUZA, 2018.).

Na perspectiva de Vygotsky, são os signos e os instrumentos pedagógicos que fazem a mediação nos processos de ensino e de aprendizagem dos conteúdos escolares e conduzem os estudantes a aprendizagem significativa.

As atividades experimentais podem se constituir em instrumento pedagógico articulador da aprendizagem eficaz de conteúdos científico-escolares.

Quando as atividades de experimentação, enquanto instrumentos pedagógicos, são usados pelo professor de modo referenciado, reflexivo e contextual, podem favorecer e potencializar o desenvolvimento mental dos alunos (WYZYKOWSKI e FRISON, 2018).

A interação social durante o processo de aprendizagem, voltada para a participação do aluno, de forma ativa, propicia uma melhor assimilação do conteúdo ministrado. A Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI) – adotado por alguns autores (GASPAR, 2014) como Zona de Desenvolvimento Imediato (ZDI) ou Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) –, é definido por Vigotski como “a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, tal como medido por sua capacidade de resolver problemas independentemente, e o seu nível de desenvolvimento potencial, tal como medido por meio da solução de problemas sob orientação ou em colaboração com companheiros mais capazes”. (ROGERS, 2022).

A diferença entre esses termos, é tratado na dissertação: *Quando não é quase a mesma coisa – Análise de traduções de Lev Semionovitch Vigotski no Brasil – Repercussões no campo educacional* de Zoia Ribeiro Prestes (PRESTES, 2010), de forma concisa, por isso optamos por tratar de ZDI, como Zona de Desenvolvimento Iminente, por ser o termo mais próximo da tradução direta do russo para o português brasileiro.

A zona blijaichego razvitia é a distância entre o nível do desenvolvimento atual da criança, que é definido com ajuda de questões que a criança resolve sozinha, e o nível do desenvolvimento possível da criança, que é definido com a ajuda de problemas que a criança resolve sob a orientação dos adultos e em colaboração com companheiros mais inteligentes.

(...) A zona blijaichego razvitia define as funções ainda não amadurecidas, mas que encontram-se em processo de amadurecimento, as funções que amadurecerão amanhã, que estão hoje em estado embrionário (VYGOTSKY, p. 379, apud BARISTELA, TEIXEIRA, 2018).

De acordo com a autora, a opção pelo termo **zona de desenvolvimento iminente** é o mais próximo da tradução russa, “pois sua característica essencial é a das possibilidades de desenvolvimento, mais do que do imediatismo e da obrigatoriedade de ocorrência, pois se a criança não tiver a possibilidade de contar com a colaboração de outra pessoa em determinados períodos de sua vida, poderá não amadurecer certas funções intelectuais e, mesmo tendo essa pessoa, isso não garante, por si só, o seu amadurecimento”.

A mediação do professor durante o processo permite que o aluno tenha o auxílio necessário a fim de desenvolver suas capacidades, potencializando o processo de ensino, e dessa forma ele estará apto para interagir com os demais colegas, ser agente ativo da própria aprendizagem.

Segundo Alberto Gaspar (GASPAR, 2014), essa ZDI não tem como ser definida de modo geral, pois cada aluno tem suas limitações que dependem do que será ensinado, cada aluno é único e seu desenvolvimento cognitivo irá diferir dos demais colegas dependendo do estágio em que ele está. A ZDI não tem limites nítidos com relação a indicação de faixa etária, como trata a teoria dos estágios cognitivos de Piaget.

## **2.6 A aprendizagem e o ensino de ciências: Pozo e Crespo**

O livro *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*, dos autores Juan Ignacio Pozo e Miguel Ángel Gómez Crespo, foi um material riquíssimo para a compreensão de como o aluno aprende ciências. A perspectiva deste autor possibilitou repensar o observado *in loco* por esta professora autora ao longo dos anos no que tange à aprendizagem de física (POZO, 2002) (POZO e CRESPO. 2009).

Pozo é formado em Filosofia, Letras e Psicologia, pela Universidade de Madri, onde também se doutorou e atua como professor do curso de psicologia. Ele é um teórico construtivista, com vasto conhecimento em história, geografia, ciências, gramática e nas estratégias cognitivas de aprendizagem (BARISTELA e TEIXEIRA. 2018).

Crespo, foi professor do Departamento de Física e Química do I. E. S. Victoria Kent de Torrejón de Ardoz, Madri. Foi um amante da vida, da inovação e experimentação, vindo a falecer em fevereiro de 2015. Criativo, por natureza, deixou

um legado aos professores que se interessam pelo ensino por investigação e inovação didática, trabalhando colaborativamente com diversos autores, entre eles Pozo, anteriormente aludido (BACAS, 2014) (ZARAGOZA, 2015).

Estes autores, no referido livro, tentam responder o porquê de ser tão difícil aprender física e para isso partem da premissa de que esta dificuldade, por parte dos estudantes, advém da

grande familiaridade do aluno com os conteúdos envolvidos, o que faz com que ele tenha numerosas ideias prévias e opiniões que resultam, de modo geral, úteis para compreender o comportamento da natureza, mas que competem na maioria das vezes com vantagem, com aquilo que é ensinado na escola. (POZO e CRESPO, 2009, p.191)

Conforme posto, a visão dos autores sugere que a familiaridade que os alunos possuem com alguns termos como energia, calor, temperatura, força, movimento, eletricidade, magnetismo, dentre outros, associando-os fora do contexto escolar/acadêmico e relacionando-os mais com questões de seu cotidiano, geram dificuldades em assimilar seu conceito físico, tal qual é ensinado, ou seja, suas crenças pessoais interferem diretamente nessa dificuldade de aprendizagem.

Pozo e Crespo (2009) associam à sobrevivência humana o estabelecimento de ideias e concepções com respeito ao ambiente (físico, cultural e social) em que vivemos que nos permitam prever e controlar eventos relevantes. Estes autores apontam (2009) três origens para os conhecimentos prévios:

- sensorial (concepções espontâneas) baseadas em informações obtidas por meio de interações com o mundo natural;
- cultural (concepções induzidas) relacionadas a um conjunto de crenças compartilhadas pelo grupo social a que o estudante pertence; e
- escolar (concepções analógicas), relacionadas à comparação entre domínios distintos do saber.

São concepções que os estudantes carregam, decorrentes da carência de conhecimentos anteriores, que podem ser construídos individualmente ou socialmente induzidos.

Os conhecimentos prévios, como conceituados por Ausubel, Novak e Hanesian (AUSUBEL, NOVAK, HANESIAN, 1998) são aqueles essenciais para o aprendizado, mas não mencionam a motivação de seu estabelecimento. São os conhecimentos ou

consciência de algum objeto, caso ou ideia, associados a um conjunto de outros conhecimentos (procedimentais, afetivos e contextuais) que configuram a estrutura cognitiva prévia do estudante que aprende. Pozo e Crespo relatam as dificuldades específicas para a aprendizagem da física, desde os anos finais do ensino fundamental II até o ensino médio. Resumidamente estas dificuldades de aprendizagem são geradas pela forma como o aluno enxerga o mundo, correlaciona propriedades dos materiais aos conceitos, tentam representar de forma concreta o que não é observável e a dificuldade nos cálculos matemáticos e resolução de problemas.

Pozo e Crespo relatam as dificuldades específicas para a aprendizagem da física dos anos finais do ensino fundamental II até o ensino médio. Resumidamente estas dificuldades de aprendizagem são geradas pela forma como o aluno enxerga o mundo, correlaciona propriedades dos materiais aos conceitos, tentam representar de forma concreta o que não é observável e a dificuldade nos cálculos matemáticos e resolução de problemas.

Segundo estes autores, é essencial estimular entre os estudantes o pensamento crítico para análise de uma situação a fim de chegar a conclusões cientificamente plausíveis, porém esta tarefa não é trivial, considerando o imediatismo que os adolescentes esperam em todos os aspectos de sua vida, inclusive no educacional.

Esta professora autora tem observado que ao longo dos anos, os alunos não estão preocupados em pensar soluções para qualquer situação, querem respostas prontas, rápidas e imediatas, postura que se agravou e tornou-se mais nítida durante e pós pandemia da Covid-19. A tarefa de ensinar física torna-se então mais árdua, levando-se em conta as diretrizes necessárias para uma aprendizagem significativa e duradoura.

Retornando aos autores, “o pensamento científico requer utilizar esquemas de pensamento formal, em termos piagetianos” (POZO e CRESPO, 2009). Nossas observações *in loco* nos fazem crer que a elaboração destes esquemas foi prejudicada durante a pandemia, período no qual os alunos não estudaram presencialmente. Esta inferência decorre de contato informal desta professora com alguns alunos, no qual eles foram enfáticos em declarar que não estudaram em casa durante os anos de 2020 e 2021, seja por falta de motivação, recursos tecnológicos para acompanhar as aulas remotas ou outros motivos de menor relevância.

Importante ressaltar um questionamento que os autores trazem no texto: “Mas será que os alunos estão capacitados para utilizar estas formas de pensamento? Será que são capazes de isolar variáveis e raciocinar em um experimento para obter conclusões?” (POZO e CRESPO, 2009, p.73). Os autores oferecem como exemplo o experimento do pêndulo simples, descrito na figura 3, e que realizamos com nossos alunos durante as aulas remotas e presenciais.

Como toda situação e aplicação em sala de aula, real, dificilmente consegue-se atingir satisfatoriamente 100% dos estudantes, apesar de tentarmos de forma incessante.

**Figura 3 - Tarefa do pêndulo**

**TAREFA DO PÊNDULO**

Com o objetivo de analisar o uso que os alunos fazem do pensamento formal, é possível utilizar a seguinte tarefa, uma das que Inhelder e Piaget (1995) utilizaram em sua já clássica pesquisa sobre pensamento formal (mais informações sobre a interpretação da tarefa podem ser encontradas em Carretero, 1985). A tarefa consiste em perguntar aos alunos quais são, em sua opinião, os fatores que afetam a oscilação de um pêndulo. Mostra-se a eles um pêndulo e pede-se o seguinte:

1. Diga quais são, em sua opinião, os fatores que fazem com que o pêndulo oscile um maior número de vezes em um período dado (por exemplo, meio minuto).
2. Explique por que você acredita nisso.
3. Realize as provas adequadas para comprovar o que você pensa, suas hipóteses.
4. Uma vez realizadas essas provas, revise suas hipóteses em função dos resultados obtidos.

As respostas obtidas, em função dos resultados, são as seguintes:

Estágio	Características
Pré-operatório	Os alunos centram-se na ação de dar impulso ao pêndulo, são incapazes de diferenciar entre sua própria atividade e o movimento real do pêndulo
Concreto	São capazes de ordenar e seriar as variáveis (pesos, longitudes, etc.), mas ainda são incapazes de dissociar os diferentes fatores
Formal inicial	São capazes de raciocinar concretamente dissociando fatores que foram previamente estabelecidos para eles
Formal avançado	Têm capacidade de variar sistematicamente os diversos fatores e discriminar variáveis

**Figura 3.6**

Respostas típicas dos alunos em função de seu estágio evolutivo diante do problema da oscilação do pêndulo.

Fonte: Pozo e Crespo, p. 73

Em capítulo subsequente, apresentaremos tal experimento bem como as análises referentes a ele e conclusões das quais os estudantes chegaram, sendo assessorados por esta docente.

## 2.7 Estado da Arte na aprendizagem através da experiência

A experimentação enquanto estratégia de ensino-aprendizagem tem sido defendida no ensino de Física desde há algumas décadas (WELLINGTON, J. *Practical Work in School Science – Which way now?* New York: Taylor & Francis e-Library, 2003.) (KOPONEN, 2006) entretanto, muito ainda se discute sobre sua real eficácia e modos de oferta (CHI, 2009) (PARAPPILY et al., 2013) (HAVLICEK, 2015) (SNETINOVA; KACOVSKI e MACHALICKA, 2018) (BERG et al., 2003).

A experimentação abarca os contextos epistemológico e pedagógico, pois envolve concepções de realidade, de conhecimentos geral e científico bem como do fazer científico e colaborativo, em uma concepção abrangente de ciência, e de aprendizagem, enquanto linguagem, confrontando concepções prévias, estabelecendo relações entre conteúdo e método (HIGA e OLIVEIRA, 2012).

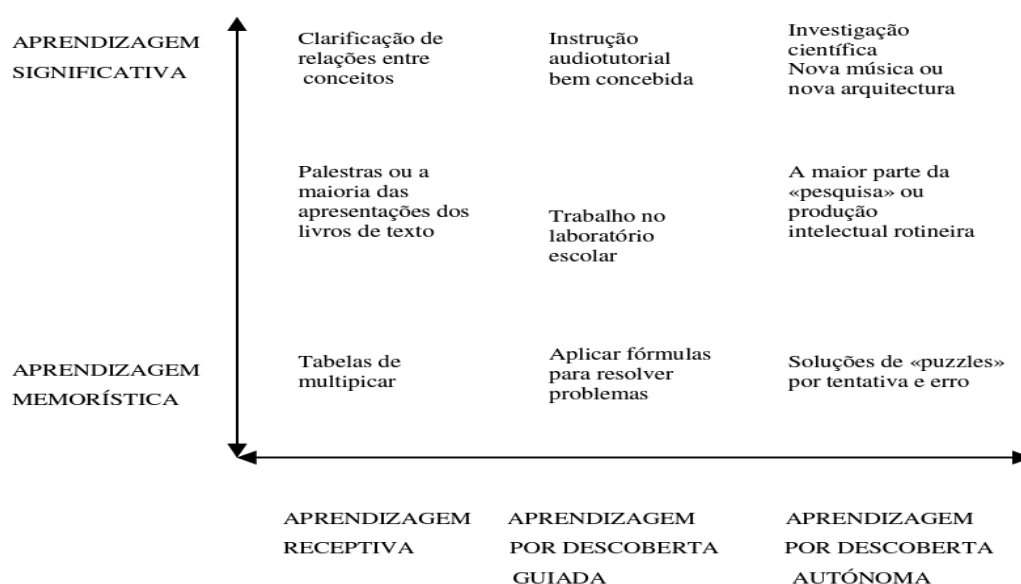
A literatura reporta diferentes perspectivas para o uso das atividades experimentais, envolvendo diferentes concepções de aprendizagem, pressupondo assim diferentes papéis para o estudante, para o professor, para o conhecimento e para a própria atividade experimental. Enquanto método de ensino, as atividades experimentais podem ser consideradas: (a) uma ilustração da teoria, (b) uma estratégia de descoberta individual, ou ainda (c) para introduzir os alunos nos processos e métodos da ciência (ARAÚJO e ABIB, 2003) (HIGA, e OLIVEIRA, 2012) (FORÇA; LABURÚ e SILVA, 2011).

O ensino por investigação é tido como uma abordagem de ensino que pode melhorar os resultados de aprendizagem do aluno. A literatura distingue três diferentes modos de ensino por investigação, como segue:

- investigação estruturada – onde os professores fornecem uma questão ou problema e um esboço de solução.
- investigação guiada – onde os professores fornecem perguntas para estimular a investigação, mas os alunos são autogeridos em termos de explorar essas questões.
- investigação aberta – onde os próprios alunos formulam as questões, bem como passam por todo o ciclo de investigação (por exemplo, envolver-se com um tópico, desenvolver uma questão, identificam o que precisa ser conhecido, coletam e analisam dados, sintetizam descobertas, comunicam resultados e avaliam a pesquisa (SPRONKEN-SMITHA et. al., 2012).

A Figura 4 mapeia o tipo de aprendizagem, variando desde a mecânica até à altamente significativa, versus a aprendizagem receptiva, não investigativa, na qual a informação é oferecida em sua forma final diretamente ao aluno, até à aprendizagem por descoberta aberta, onde o aluno identifica e seleciona a informação a aprender (NOVAK, 1995).

**Figura 4 - Níveis de independência da aprendizagem (aprendizagem receptiva e por descoberta) versus nível de aprendizagem (aprendizagem mecânica, memorística em português de Portugal, até aprendizagem significativa) compondo um mapeamento contínuo.**



Fonte: Reprodução da figura 1.3 de NOVAK, 1995, p. 24. **Aprender a Aprender**. Lisboa: Paralelo Editora Lda.

As atividades experimentais investigativas visam ensinar aos alunos métodos científicos, habilidades e a compreensão da natureza da ciência. O que os distingue dos laboratórios usuais, baseados em receita, é a participação dos alunos, desde o planejamento do experimento e sua execução seguindo um grau de independência e nível de aprendizagem adequados. Os alunos recebem tarefas de pesquisa e, com a ajuda de experimentos projetados por professores, decidem quais instrumentos serão necessários e como analisarão os dados coletados (SNETINOVA; KACOVSKI e MACHALICKA, 2018).

A literatura relata que as atividades experimentais investigativas podem ser distinguidas em quatro níveis de investigação, dependendo da quantidade de informação e apoio fornecido pelos professores aos alunos: validação, estruturada, guiada e investigação aberta (FORÇA; LABURÚ e SILVA, 2011.) (BANCHI e BELL,

2008). Na investigação de validação, os alunos recebem perguntas e procedimentos, e os resultados são conhecidos com antecedência; objetiva validar os resultados. Sob a investigação estruturada, as perguntas e os procedimentos ainda são fornecidos pelo professor, mas os alunos produzem suas próprias explicações, apoiadas pelas evidências que coletaram. Na investigação guiada, o professor fornece aos alunos apenas as questões de pesquisa e os alunos elaboram os procedimentos para testar suas perguntas e as explicações resultantes. Nas investigações abertas, o professor apenas cria o contexto para a investigação, apresentando um problema cientificamente relevante a ser investigado, e os alunos propõem suas próprias questões, projetam e realizam as investigações, comunicam e compartilham seus resultados e, possivelmente, começam novamente a responder às novas questões que surgem.

A literatura (SNETINOVA; KACOVSKI e MACHALICKA, 2018) (BERG et. al., 2003) reporta que alunos sujeitos a uma atividade de investigação aberta apresentam aprendizagem mais profunda comparada com outros níveis de investigação. Entretanto, a literatura também reporta resultados de pesquisas educacionais apontando a investigação guiada como a abordagem mais adequada para desenvolver uma compreensão efetiva de conceitos críticos, pois evitaria possíveis efeitos motivacionais demandados na investigação aberta – sentimentos de inadequação ou frustração devido, por exemplo, ao alcance de resultados indesejáveis – capazes de afetar a conclusão bem-sucedida do processo de aprendizagem (KIRSCHNER; SWELLER e CLARK, 2006). Por outro lado, a investigação aberta oferece a oportunidade para que os estudantes possam agir como cientistas, promovendo ganho da consciência do processo de investigação científica e uma visão mais profunda da natureza da ciência, fomentando que os alunos desenvolvam elevadas competências de raciocínio científico.

Os laboratórios podem ser separados por seus objetivos em três grupos distintos e cada grupo planejado com esse objetivo específico em mente. Esses três grupos e os objetivos relevantes são:

- Laboratórios conceituais — ensinar conceitos ou superar equívocos;
- Laboratórios de investigação ou pesquisa — exercitar as competências intelectuais necessárias à geração e validação do conhecimento;
- Laboratórios de instrumentos — aprender habilidades de manipulação e coleta de dados. (BERG et. al., 2003).

Nas atividades laboratoriais os alunos podem ser levados a manipular ideias enquanto realizam os experimentos, em vez de fazê-lo após o laboratório, modo que pode levar a um melhor aprendizado e memorização dos conceitos científicos.

No aprendizado baseado em investigação, os alunos podem responder as questões de pesquisa por meio da coleta e análise de dados, entretanto, é preciso considerar que nas atividades de laboratório, muitas vezes, os alunos não conseguem ver o fenômeno ou conceito que deveriam aprender, porque estão muito preocupados em manipular instrumentos, fazer medições e realizar análises estatísticas (HAVLICEK, 2015) (SNETINOVA; KACOVSKI e MACHALICKA, 2018). A coleta de dados baseado em computador é uma estratégia poderosa para o ensino e aprendizagem da física, capaz de ajudar a superar o inconveniente apontado e de oferecer um ensino de física profundo e significativo, aumentando a interação entre o aluno e os conceitos sob investigação (AMRANI e PARADIS, 2010) (WEE et. al., 2015).

Em capítulos posteriores apresentaremos nossos resultados de atividades experimentais pautadas pelo ensino por investigação nas quais fazemos extenso uso da coleta de dados utilizando o computador.

## CAPÍTULO 3

### FUNDAMENTOS DE FÍSICA

Com o intuito de tratarmos dos temas relativos a oscilações, com os alunos do 1º ano do ensino médio e termodinâmica, com os do 2º ano do ensino médio, desenvolvemos uma sequência didática, na qual os alunos, por meio da experimentação, observam os fenômenos envolvidos e as grandezas associadas. No transcorrer da aula, o professor enquanto intermediador da aprendizagem, fomenta que os alunos elaborem os conceitos envolvidos, e estabeleçam correlações que garanta que os alunos alcancem a aprendizagem efetiva e duradoura.

No ensino do movimento oscilatório, dentre os dois experimentos escolhidos, uma apresentava-se menos instigante e outro mais instigante, sob nossa ótica. O primeiro trata-se do experimento do pêndulo simples e o segundo, da vela oscilante. Ambos foram apresentados em sala de aula com auxílio de um projetor.

Já para o conteúdo de termodinâmica, optamos pela mesma forma de apresentação, com dois experimentos: o motor de Heron e o motor térmico de elástico, um mais instigante e outro menos instigante.

#### 3.1 Movimento Oscilatório

O movimento oscilatório está presente em diversas situações do cotidiano, seja no movimento das ondas do mar, no movimento de uma gangorra, na oscilação de um pêndulo, na interferência dos fortes ventos que culminaram na queda da ponte de Takoma, entre outros.

Segundo Young e Freedman (2008), “as oscilações sempre ocorrem quando existe uma força restauradora que obriga o sistema a voltar para a sua posição de equilíbrio”. Com isso, faz-se necessário a definição de algumas grandezas físicas que irão auxiliar no entendimento de um movimento periódico ou oscilatório. Algumas dessas grandezas são o período, a frequência e amplitude.

O período de um movimento é o intervalo de tempo que demora para o processo se repetir, ou seja, para alcançar um ciclo completo desse movimento, sendo este representado pela letra  $T$ . A frequência ( $f$ ), diz respeito a quantidade de ciclos que ocorrem em determinado intervalo de tempo, ou seja, ela é inversamente proporcional ao período  $T$ .

A amplitude de um movimento é o máximo valor que uma partícula se desloca em relação a posição de equilíbrio, sendo representada pela letra  $A$ .

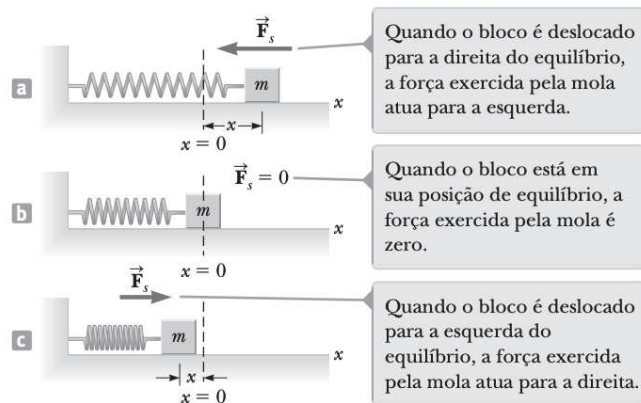
As unidades de medida dos termos citados: período, frequência e amplitude devem sempre estar no Sistema Internacional de Unidades (S.I.), segundo, hertz e metro, respectivamente.

$$T = \frac{1}{f} \text{ s} \quad f = \frac{1}{T} \text{ Hz}$$

### 3.1.1 Movimento Harmônico Simples (MHS)

O Movimento Harmônico Simples (MHS) é um movimento oscilatório observado quando uma partícula se desloca na horizontal para a esquerda e direita passando pelo ponto de equilíbrio, sobre a ação de uma força restauradora, diretamente proporcional ao deslocamento a partir da posição de equilíbrio. Um exemplo, seria o sistema massa mola representado na Figura 5, onde é possível observar que o bloco, ao ser posicionado a direita da posição de equilíbrio, fica sujeito a força e aceleração orientadas para a esquerda. Ao passar pelo ponto de equilíbrio, a força resultante é nula, e a velocidade máxima. Ao ser posicionado a esquerda da origem, o bloco passa a ter uma posição negativa em relação a origem do eixo horizontal enquanto a força e aceleração estão orientados para a direita.

**Figura 5 - Sistema massa mola oscilando em torno de uma posição de equilíbrio**



Fonte: SERWAY e JEWETT, 2014, cap.12, p. 5

A mola exerce no objeto uma força  $F = -k x$ , conhecida como Lei de Hooke, onde  $x$  representa o deslocamento da mola em relação à origem e  $k$  é a constante de força desta mola.

Pela aplicação da segunda lei de Newton, sendo a força restauradora é dada por  $F = m \cdot a$ , obtemos a seguinte relação:

$$-kx = ma$$

$$a = -\frac{k}{m}x$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$$

Adotando a constante  $\frac{k}{m} = \omega^2$ , sendo  $\omega$  a frequência angular, podemos reescrever a equação da seguinte forma:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x$$

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

em que  $\omega t + \phi$  é a fase.

Ainda com relação a equação  $\frac{k}{m} = \omega^2$ , podemos concluir que  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ . Tendo em consideração o período do MHS, o tempo necessário para que a partícula percorra um ciclo de movimento completo é  $2\pi$ . Para uma função trigonométrica sabe-se que  $x(t) = x(t + T)$ , logo:

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

$$A \cos(\omega t + \phi) = A \cos[\omega(t + T) + \phi]$$

$$A \cos(\omega t + \phi) = A \cos(\omega t + \omega T + \phi)$$

$$\text{Sendo } \cos(t) = \cos(t + 2\pi)$$

$$\omega T = 2\pi$$

Isolando o período  $T$ :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Sabendo que a frequência  $f$  do movimento é o inverso do período  $T$ , podemos obter a seguinte expressão:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}}$$
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Analisando as equações de período e frequência, observa-se que ambas dependem da massa  $m$  da mola e da sua constante de elasticidade  $k$ , para sua determinação e independem de quaisquer outros parâmetros.

### 3.1.2 Pêndulo simples

O pêndulo simples constitui-se de um objeto de massa  $m$ , suspenso por um fio de comprimento  $l$ , fixo pela ponta superior e posto a oscilar, apresentando um movimento periódico. Ao ter início a oscilação, o objeto de massa  $m$  atinge o ponto mais baixo, chamado de ponto de equilíbrio.

Um exemplo prático desta situação está representado na Figura 6 pelo guindaste utilizado em demolições, cujo objetivo consiste no deslocamento da bola (massa  $m$ ), pelo ponto de equilíbrio a fim de demolir as construções.

Figura 6 - Pêndulo



Uma outra situação de pêndulo simples, no dia a dia, é uma criança (massa  $m$ ) se balançando sentada numa gangorra, Figura 7. A cada intervalo de tempo, ela irá passar pela posição de equilíbrio, atingindo uma certa amplitude.

**Figura 7 - Movimento pendular - balanço**

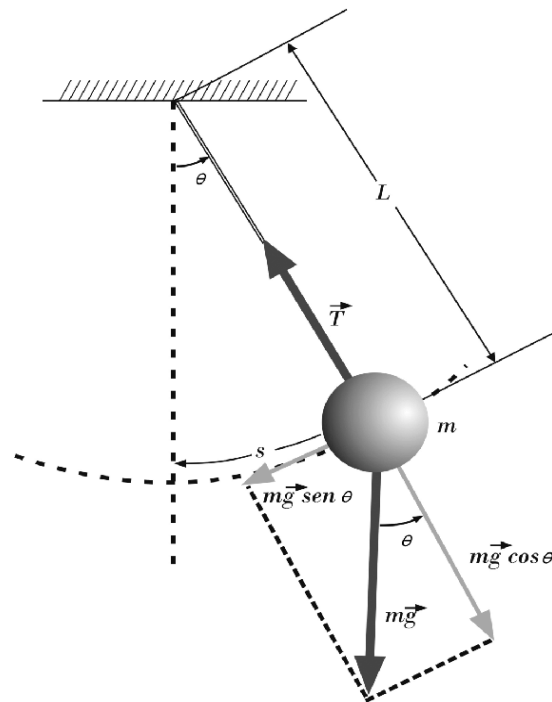


Fonte: <https://www.soescola.com/2018/04/atividades-essenciais-para-o-desenvolvimento-motor-na-educacao-infantil.html/crianca-no-balanco?amp>

Optamos por apresentar em sala de aula um experimento de pêndulo simples, de fácil execução, que possibilitou a abordagem dos conceitos físicos já citados e ainda auxiliou na “descoberta” da aceleração da gravidade local, utilizando as leis de Newton.

A Figura 8 representa a modelagem de um pêndulo simples, com as componentes que atuam sobre o mesmo. Sejam eles: A tensão no fio, a força peso e suas componentes e a amplitude ( $\theta$ ) do movimento. Para pequenas amplitudes o pêndulo adquire características do MHS, embora saibamos que a força restauradora é proporcional ao  $\sin \theta$  e não ao  $\theta$  em si.

**Figura 8 - Modelagem de um pêndulo simples**



Fonte: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4, 4311 (2011)

Esta força restauradora é dada pela aceleração da gravidade.

$$F = -m g \operatorname{sen} \theta$$

Para pequenos ângulos,  $\operatorname{sen} \theta$  é aproximadamente igual a  $\theta$  (dado em radianos), pode-se reescrever a equação acima como:

$$F = -m g \theta$$

$$\text{Logo, } F = -m g \theta$$

$$m \cdot \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -m g \theta$$

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{g}{L} \theta$$

Esta equação diferencial de segunda ordem, tem como solução:

$$\theta(t) = \theta \cos \left( \sqrt{\frac{g}{L}} t \right)$$

Seja  $\sqrt{\frac{g}{L}} = w$ , em que  $w$  é a frequência angular de um pêndulo simples, para pequenas amplitudes, obtemos:

$$\theta(t) = \theta \cos (w t)$$

Esta equação é a solução para o pêndulo simples. No que concerne ao período de oscilação pendular temos:

$$T = \frac{2\pi}{w}$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{l}}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Com isso, conclui-se que o período, e a frequência, de um pêndulo simples independem da massa  $m$  do objeto suspenso pelo fio de comprimento  $l$ , dependendo somente do comprimento do fio e da aceleração da gravidade local. Isto para movimentos cujas amplitudes de oscilação são pequenas.

O ensino de pêndulo simples iniciou-se com a questão: Como determinar a aceleração da gravidade na cidade de Muriaé? Este foi o meio utilizado para instigar a curiosidade, interesse e manter a atenção dos alunos durante o processo de aprendizagem.

Os materiais utilizados no aparato experimental foram uma linha de nylon e uma chumbada de pesca, apenas. Uma das pontas da linha foi fixada a parede e a chumbada posta a oscilar, amarrada a outra ponta da linha.

O movimento foi gravado por meio de uma câmera de aparelho celular e posteriormente o vídeo foi analisado pelo software TRACKER. O uso de materiais de fácil acesso, inclusive o software, insere o aluno no processo investigativo de um fenômeno, mostrando que a ciência é acessível e não se restringe a laboratórios físicos.

A possibilidade de utilizar materiais do cotidiano com a tecnologia, por meio da interação proporcionada pelo TRACKER, faz o aluno perceber as diversas relações entre o ensino de ciências e o mundo que o cerca. O cálculo da aceleração da gravidade local, foi feito a partir da oscilação da chumbada e o TRACKER auxiliou na construção gráfica. A figura 9 mostra o arranjo experimental e o gráfico gerado pelo software TRACKER como resultado da análise do vídeo. Seguem dados aferidos no aparato experimental:

Comprimento do fio:  $L = (1,000 \pm 0,001) \text{ m}$

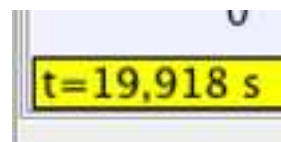
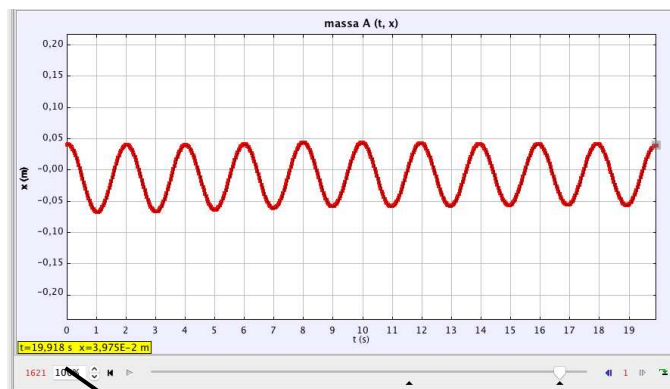
Período de oscilação:  $T = \frac{19,92}{10} = (1,99 \pm 0,01) \text{ s}$

**Figura 9 - Aparato experimental**



Fonte: autoria própria

**Figura 10 - Gráfico gerado no Tracker com a indicação do período de 10 oscilações**

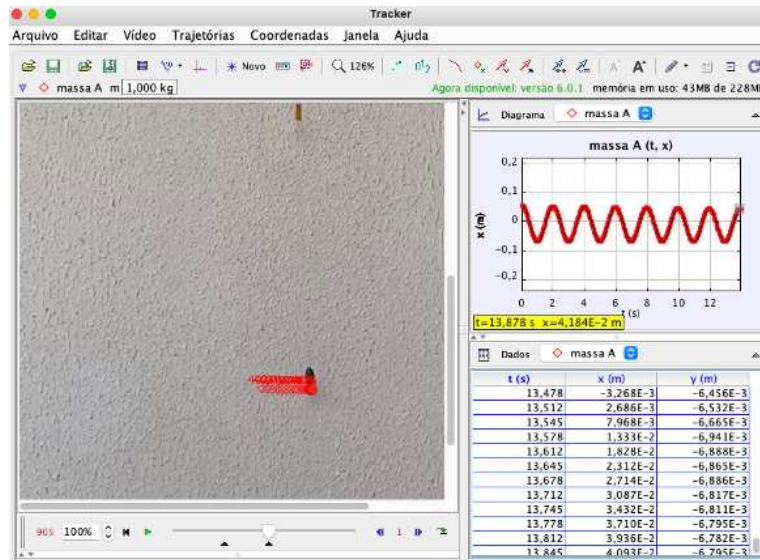


Fonte: autoria própria

Com os dados acima, aplicamos a equação  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ , determinando assim, aproximadamente, a aceleração da gravidade local e respondendo a questão motivadora. Após manipulações matemáticas, chegamos ao resultado  $g = (9,9 \pm 0,1) \text{ m/s}^2$ , sendo este, aceitável e condizente com as condições na qual o experimento foi realizado.

A Figura 11 reproduz a tela exibida pelo software TRACKER com o vídeo inserido para que a análise seja inicializada.

Figura 11 - Dados no Tracker



Fonte: autoria própria

### 3.1.3 MHS amortecido

O MHS descreve sistemas ideais, que oscilam indefinidamente sob a ação de forças lineares restauradoras. A maioria dos sistemas reais, como o representado na figura 12, forças dissipativas amortecem o movimento, fazendo com que a energia mecânica do sistema diminua com o tempo. Estes movimentos são ditos amortecidos. A resistência que um fluido (como o ar) oferece ao movimento de um objeto, é proporcional à sua velocidade (HALLIDAY; RESNICK E WALKER et. al. 2012):

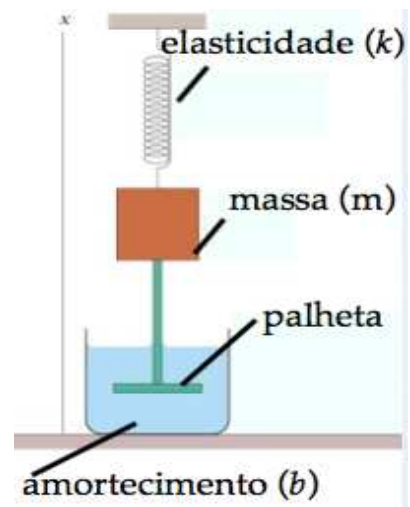
$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x - \frac{b}{m}\frac{dx}{dt}$$

Reescrevendo a equação acima, onde a variável  $x$  representa o deslocamento do oscilador relativo à sua posição de equilíbrio, encontramos:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{m}\left(-kx - b\frac{dx}{dt}\right),$$

em que  $k$  é a constante elástica e  $b$  é uma constante de amortecimento.

Figura 12 - Amortecimento



Fonte:  
<https://pessoal.ect.ufrn.br/~ronai/IFC2-2016-1/A08/A3.html>

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b \frac{dx}{dt}$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + w_0^2 x = 0$$

$$\lambda^2 + \gamma\lambda + w_0^2 = 0$$

sendo,  $\gamma = \frac{b}{m}$  e  $w_0^2 = \frac{k}{m}$

Os valores de  $\lambda$ , que tornam esta equação verdadeira são:

$$\lambda = \frac{-\gamma \pm \sqrt{\gamma^2 - 4w_0^2}}{2}$$

$$\lambda = -\frac{\gamma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\gamma}{2}\right)^2 - w_0^2}$$

Vamos nos ater aos aspectos físicos ao analisar a solução desta equação, na qual teremos oscilações dependentes de  $\gamma$  e  $w_0$ , que oferecem três diferentes soluções:

- i.  $\frac{\gamma}{2} < w_0$ , resultando em um amortecimento subcrítico (ou sub-amortecido);
  - ii.  $\frac{\gamma}{2} = w_0$ , resultando em um amortecimento crítico;
  - iii.  $\frac{\gamma}{2} > w_0$ , resultando em um amortecimento super crítico (ou super amortecido).
- (COTTA, "s.d.").

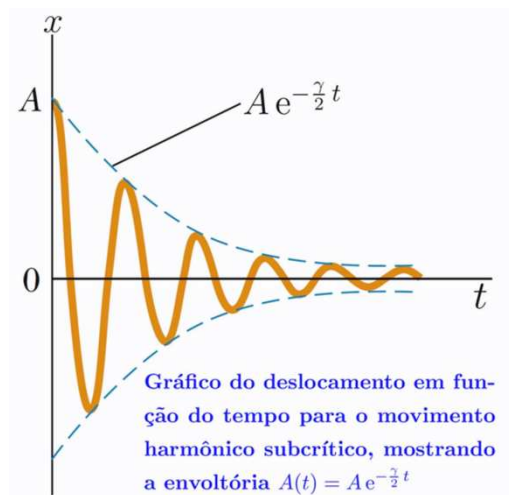
### 3.1.3.1 MHS sub-amortecido ou subcrítico

Seja a solução da equação  $\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + w_0^2 x = 0$ , dada por:

$$x = Ae^{-\left(\frac{\gamma}{2}\right)t} \cos (wt + \phi),$$

que representa uma oscilação amortecida, conforme representado na Figura 13. Quando o termo  $\frac{\gamma}{2}$  for menor que  $w_0$ , o sistema oscila, porém de forma não permanente. A amplitude irá diminuir até o sistema parar na posição de equilíbrio, devido ao termo exponencial  $e^{-\left(\frac{\gamma}{2}\right)t}$ , logo tem-se um amortecimento subcrítico.

**Figura 13 - Amortecimento subcrítico**



Fonte: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/921047/mod\\_resource/content/1/MH\\_parte2.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/921047/mod_resource/content/1/MH_parte2.pdf)

### 3.1.3.2 MHS amortecido crítico

Nos sistemas de amortecimento crítico, tem-se que  $\frac{\gamma}{2} = \omega_0$ , de modo que

$$x = e^{-\left(\frac{\gamma}{2}\right)t} [C + Dt].$$

Como ilustrado na Figura 14, o movimento do oscilador decai mais rapidamente do que na situação do oscilador super amortecido. Este tipo de movimento do oscilador “*tem uma aplicação prática muito grande. Ele é o princípio da construção de ponteiros de instrumentos analógicos como amperímetro, voltmímetro etc., onde é necessário que o ponteiro volte à posição de origem da escala no menor tempo possível. Outra aplicação, por exemplo, está na construção de mecanismos de molas que fazem portas se fecharem automaticamente. Quando a porta é solta, ela tem que fechar de modo tal que, ao chegar ao batente, ela também esteja em repouso, para que não colida com o batente*”. (Aula 44 - O Oscilador Harmônico Amortecido, p. 592).

**Figura 14 - Amortecimento crítico**

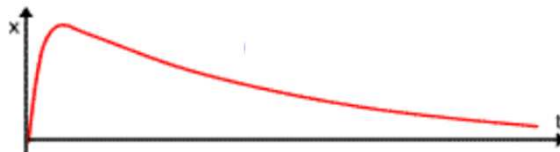
Fonte: <https://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2013-2%20FCM0102%20Fisica%20II-EESC/Exercicio%20T14.79.pdf>

### 3.1.3.3 MHS super amortecido ou super crítico

Para sistemas super amortecidos ou super críticos, a solução da equação diferencial passa a ser dada por:

$$x = e^{-\left(\frac{\gamma}{2}\right)t} [Ce^{\beta t} + De^{-\beta t}].$$

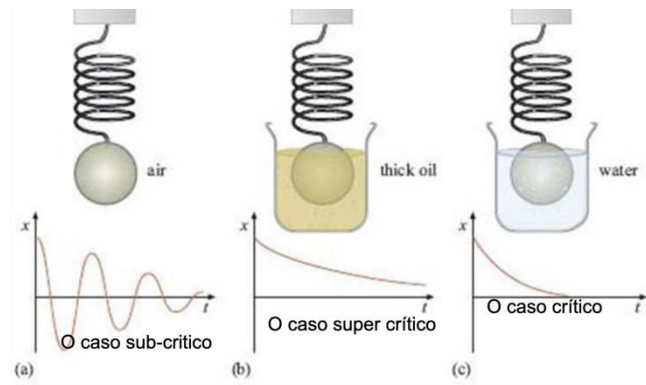
Neste caso  $\frac{\gamma}{2} > \omega_0$  e o termo exponencial  $De^{-\beta t}$ , resulta na não oscilação do sistema, tendendo o mesmo sempre a retornar à posição de equilíbrio, conforme Figura 15.

**Figura 15 - Superamortecido**

Fonte: <https://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2013-2%20FCM0102%20Fisica%20II-EESC/Exercicio%20T14.79.pdf>

A figura 16 oferece um resumo das diferentes situações assumidas por um oscilador harmônico sujeito a uma força de amortecimento.

Figura 16 - Condições de amortecimento: (a) sub-crítico, (b) supercrítico e (c) crítico



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/46912/>

### 3.1.4 MHS amortecido e forçado

Para manter qualquer sistema físico oscilando em um meio com dissipação, é necessário compensar a perda de energia através de trabalho realizado por um agente externo, como representado na Figura 17 pela força  $\vec{F}$ .

No sistema massa-mola, essa condição pode ser atingida através da ação de uma força externa que varie no tempo, de modo que mantenha a amplitude de oscilação constante. Nesse caso, a oscilação é forçada. (ARINS, A. W. 2018).

A equação para movimentos oscilatórios amortecidos e forçados é dada pelo acréscimo da força externa existente.

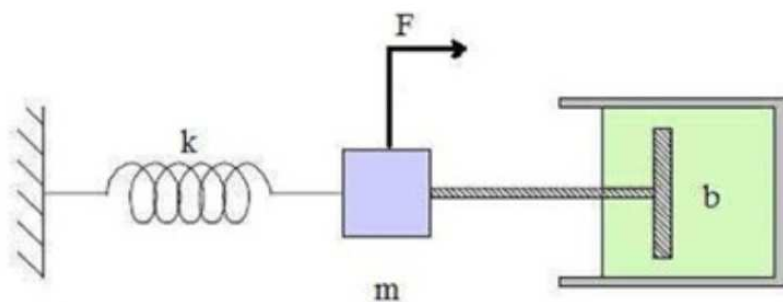
$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx + F \cos w t = 0$$

que resulta em

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + w_0^2 x + F \cos w t = 0$$

onde,  $\gamma = \frac{b}{m}$  e  $w_0^2 = \frac{k}{m}$ .

**Figura 17 - Oscilador harmônico amortecido e forçado**



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/1469716/>

Quando a frequência do agente externo for igual à frequência natural de oscilação do sistema ocorre o fenômeno da ressonância e a amplitude de oscilação poderá aumentar.

### 3.1.5 Ressonância

O fenômeno da ressonância ocorre quando a frequência angular natural do oscilador e a frequência advinda de uma força externa aplicada a este oscilador são iguais:  $w = w_0$ , acarretando no aumento da amplitude.

Um clássico exemplo, Figura 18, que inclusive foi utilizado na sequência didática, diz respeito ao colapso da ponte pênsil (sustentada por cabos) de Takoma, que ocorreu após 4 meses e 6 dias de sua inauguração. Apesar da existência de duas teorias do que poderia ter ocasionado sua ruptura, se por conta de ressonância ou por flutter aerelástico, optamos em seguir a primeira opção que é a teoria adotada por autores como David Halliday e Paul A. Tipler. (HALLIDAY, 2012) (TIPLER e MOSCA, 2006).

Ao tratarmos das oscilações da vela apagada e acesa e de posse dos resultados obtidos acreditamos que o modelo que elaboramos para a vela oscilante oferece uma nova explicação para a origem da ressonância observada no decorrer do experimento.

**Figura 18 - Colapso na ponte de Takoma**

Fonte: <https://www.ime.unicamp.br/~apmat/ponte-de-tacoma/>

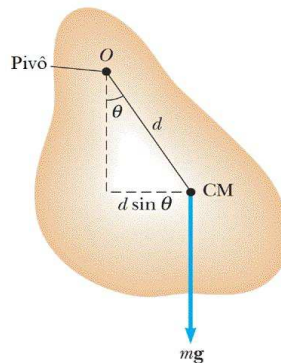
A ressonância de um sistema mecânico pode ser destrutiva. Uma tropa de soldados, em certa ocasião, destruiu uma ponte porque a atravessou em passo de marcha; a frequência da marcha era próxima da frequência da vibração natural da ponte, e o crescimento das amplitudes da oscilação resultante foi suficiente para quebrá-la. Desde que ocorreu esse desastre, os soldados são orientados a não marcharem de modo cadenciado ao atravessar uma ponte. Há alguns anos, as vibrações do motor de um avião atingiram uma frequência próxima da frequência de ressonância das asas do avião. As oscilações se somaram e as asas se partiram. (YOUNG e FREEDMAN, 2008, p. 59).

### 3.1.6 Pêndulo físico

O pêndulo físico (ou real) é mostrado na Figura 19 e, diferentemente de um pêndulo simples, não tem sua massa  $m$  concentrada na extremidade oposta ao ponto fixo. Possui um corpo rígido que pode oscilar em torno de um ponto fixo e posto a oscilar. Para ângulos pequenos, em radianos, pode-se considerar que, assim como no pêndulo simples,  $\text{sen } \theta \cong \theta$ , portanto seu movimento pode ser considerado harmônico simples.

A figura abaixo representa um pêndulo físico, no qual podemos definir sua frequência e período através do torque resultante.

**Figura 19 - Pêndulo físico**



Fonte: SERWAY e JEWETT, 2014, cap.12, p. 5

Seja o torque resultante dado por:

$$\tau = -m g d \operatorname{sen}\theta,$$

e ainda que através da segunda lei de Newton para a rotação, temos:

$$\sum \tau = I \alpha,$$

onde  $I$  representa o momento de inércia em relação ao ponto  $O$ , podemos chegar a seguinte equação:

$$\begin{aligned} -m g d \theta &= I \frac{d^2\theta}{dt^2} \\ \frac{d^2\theta}{dt^2} &= -\left(\frac{m g d}{I}\right)\theta \end{aligned}$$

Logo, de forma similar a solução da equação diferencial de ordem 2 para o pêndulo simples, seja a frequência angular  $w = \sqrt{\left(\frac{m g d}{I}\right)}$ , obtém-se:

$$\theta(t) = \theta \cos(w t)$$

Portanto, o período  $T = \frac{2\pi}{w}$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{m g d}{I}\right)}}$$

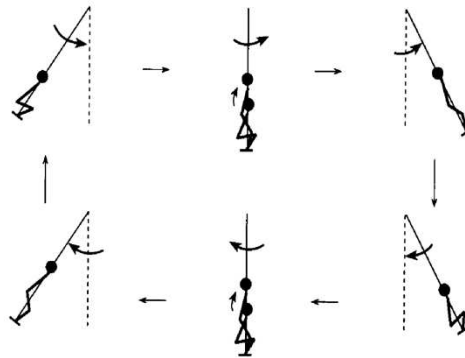
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{m g d}}$$

Para a oscilação do pêndulo físico, observamos sua dependência em relação a massa do objeto, a aceleração da gravidade, a distância  $d$  do pivô ao centro de massa e do momento de inércia.

### 3.1.7 Pêndulo paramétrico

Um pêndulo paramétrico consiste num pêndulo sujeito a variação de um dos parâmetros do sistema, por exemplo variação de comprimento ou de posição do centro de massa do sistema ou ainda da posição do ponto de fixação. Um exemplo comum tratado na literatura, mostrado na Figura 20, é o de uma pessoa gangorrear, alterando seu centro de massa a medida em que abaixa e se levanta durante o movimento do balanço. É da experiência de quase todos nós que quando a alteração é efetuada nos momentos certos, a amplitude da oscilação vai aumentando, caracterizando uma ressonância.

Figura 20 - Pêndulo paramétrico



Fonte: <http://audiophile.tam.cornell.edu/randpdf/swing.pdf>

Para osciladores paramétricos, a equação de Mathieu é a equação para esse tipo de movimento:

$$x + w^2 o [1 + \eta \cos (w t)]x = 0,$$

em que  $w_o$  é a frequência da oscilação do pêndulo,  $w$  é a frequência na qual o parâmetro é variável e  $\eta$  é a amplitude de variação da frequência natural.

Para pequenas oscilações temos a solução dessa equação, conforme disposto abaixo:

$$x = a(t)\cos \left[ \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) t \right] + b(t)\text{sen} \left[ \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) t \right]$$

Substituindo esta expressão na equação de Mathieu, e considerando que  $\varepsilon \ll 1$ ,  $\dot{a} \sim \varepsilon a$  e  $\dot{b} \sim \varepsilon b$ :

$$\begin{aligned}
& \left[ \varepsilon \dot{b} - 2 \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) \dot{a} - \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right)^2 b \right] \text{sen} \left[ \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) t \right] \\
& + b w_o^2 [1 + \eta \cos \cos (wt)] \text{sen} \left[ \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) t \right] \\
& + \left[ \varepsilon \dot{a} - 2 \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) \dot{b} - \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right)^2 a \right] \cos \left[ \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) t \right] \\
& + a w_o^2 [1 + \eta \cos (wt)] \cos \left[ \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) t \right] = 0
\end{aligned}$$

A partir disso, pode-se supor que a frequência  $w$  na qual o parâmetro é variável é o dobro da frequência ( $\omega = 2w_o$ ) da oscilação do pêndulo. Utilizando o trabalho de manipulação presente no artigo “Osciladores forçados: harmônico e paramétrico” de Vicente Pereira de Barros (BARROS, 2007), encontramos:

$$- \left[ 2\dot{a} + \varepsilon b + \frac{\eta w_o}{2} b \right] w_o \text{sen} \left[ \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) t \right] + \left[ 2\dot{b} - \varepsilon a + \frac{\eta w_o}{2} a \right] w_o \cos \left[ \left( w_o + \frac{\varepsilon}{2} \right) t \right] = 0$$

Resultando nas equações diferenciais seguintes:

$$\dot{a} + \frac{1}{2} \left( \varepsilon + \frac{\eta w_o}{2} \right) b = 0 \text{ e } \dot{b} + \frac{1}{2} \left( \frac{\eta w_o}{2} - \varepsilon \right) a = 0$$

Seja,

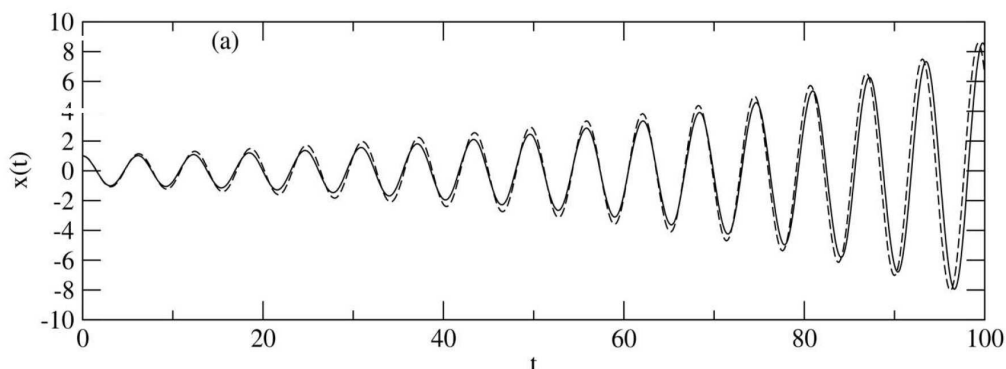
$$a(t) = a_o e^{\sigma t} \text{ e } b(t) = b_o e^{\sigma t}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{4} \left[ \left( \frac{\eta w_o}{2} \right)^2 - \varepsilon^2 \right]$$

Para se enquadrar na situação de ressonância paramétrica é preciso que  $\sigma^2 > 0$  (pertencer ao campo real), o que ocorre no intervalo de:

$$-\frac{\eta w_o}{2} < \varepsilon < \frac{\eta w_o}{2}$$

**Figura 21 - Gráfico da solução para a ressonância paramétrica.**



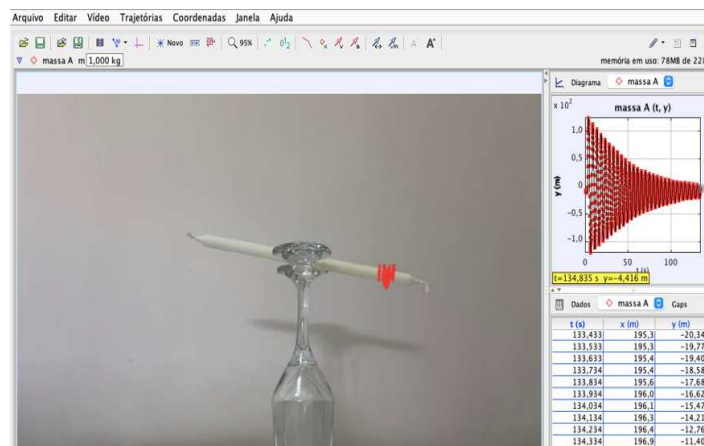
Fonte: BARROS, 2007

### 3.1.8 Vela oscilante apagada – movimento oscilatório amortecido

A vela oscilante é um pêndulo físico simples, que consiste em uma vela na qual os pavios de ambas as extremidades são expostos, sendo transpassada por um eixo (agulha), aproximadamente na metade de seu comprimento. Apoios postos nas extremidades da agulha permitiram com que a vela oscilasse em torno de seu eixo, quando submetida a aplicação de uma força externa, de modo que a vela iniciasse a oscilação estando apagada.

A oscilação teve início com a ação da força externa iniciada por um ‘peteleco’ em uma das extremidades da vela. Observamos que ao analisarmos os dados utilizando o software Tracker, ocorre o amortecimento da oscilação, conforme mostra a Figura 22.

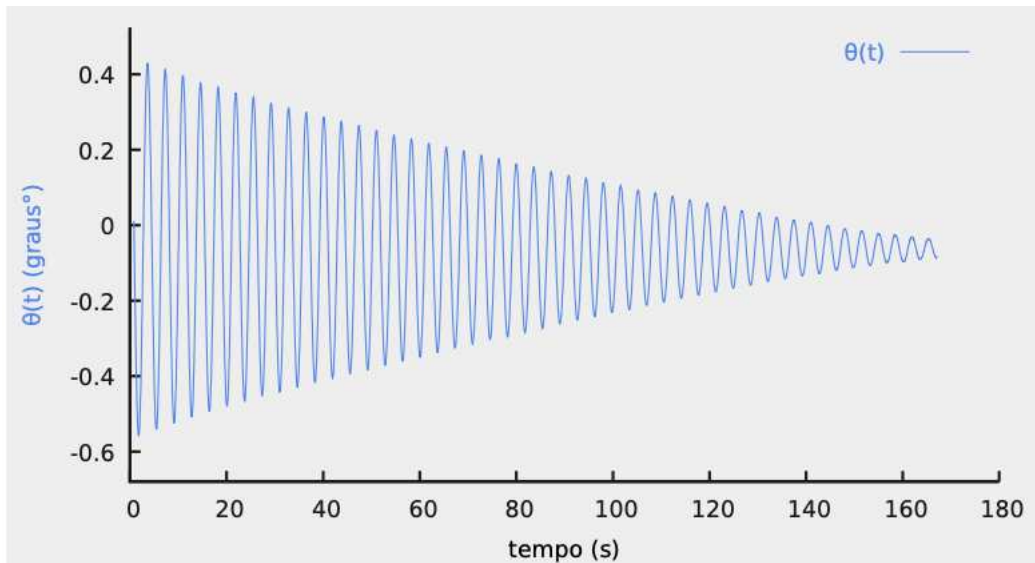
**Figura 22 - Amortecimento na vela apagada**



Fonte: a autora

Nas Figuras 23 e 24, retratamos os gráficos obtidos por meio da simulação computacional realizada com a vela apagada, tanto antes, quanto após a queima do pavio.

**Figura 23 - Modelagem da vela apagada**

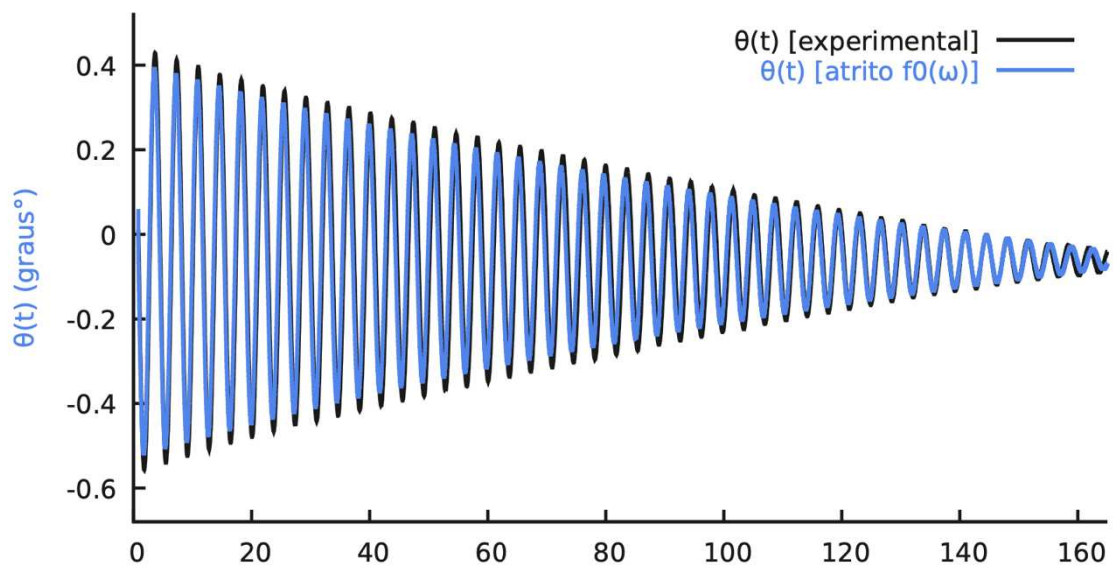


Fonte: PAULA, 2022

A Figura 24 trata-se de uma comparação entre os gráficos gerados com a vela apagada, por meio da análise dos dados experimentais (em preto) com a modelagem (em azul).

**Figura 24 - Gráfico comparativo da experimentação com a modelagem**

Posição Angular da Vela (Com Atrito) Ante da Queima

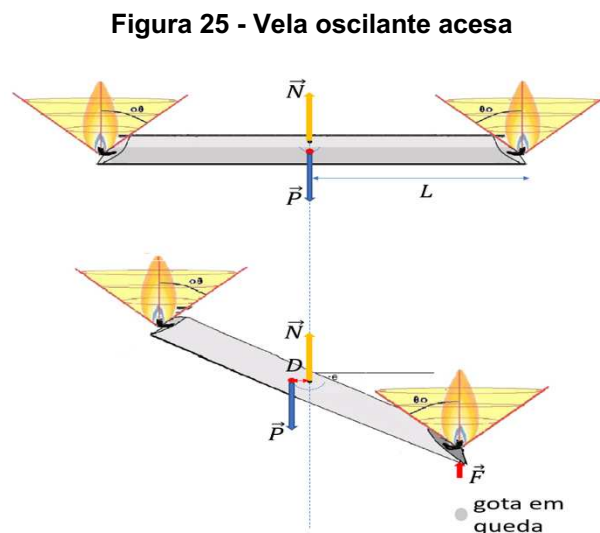


Fonte: PAULA, 2022

Na secção 3.1.9 apresentaremos em mais detalhes o processo de modelagem elaborados por Julimar de Paula e pelo professor Hallan S. e Silva.

### 3.1.9 Vela oscilante acesa – movimento oscilatório ressonante

A oscilação da vela acesa se dá a partir do início da queima dos pavios. É decorrente do gotejamento da parafina que promove a sucessiva troca de posição do centro de massa da vela que muda de um lado para o outro em relação ao eixo, permitindo o desenvolvimento da oscilação. Um desenho esquemático é apresentado na Figura 25. Foi possível observar que a amplitude aumentava de forma contínua, de modo similar ao que ocorre na ressonância forçada ou paramétrica. (THEODORAKIS, S. PARIDI, K. 2009) (TJOSSEM, O. J. H. et. al. 2019).



Fonte: CARVALHO, 2020

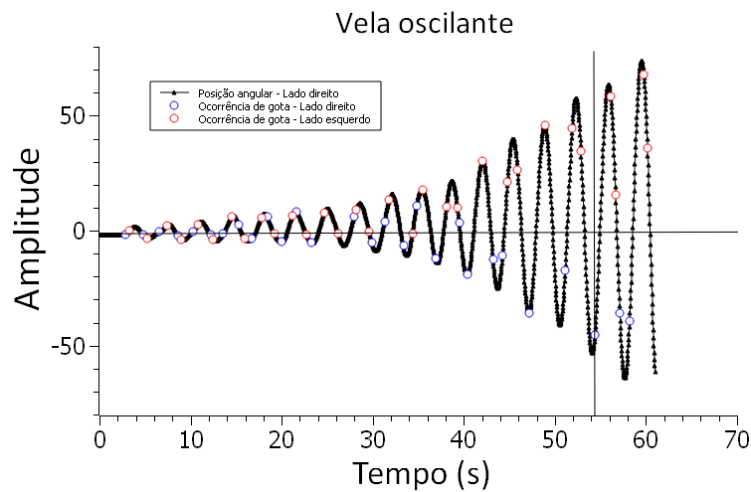
A coleta de dados foi efetuada pelo software TRACKER, por meio da análise de vídeos do experimento. A Figura 26 mostra o gráfico da evolução temporal da amplitude das oscilações como função do tempo. Sobre este mesmo gráfico estão marcados os instantes em que gotas de parafina se desprenderam da vela.

Investigou-se a possibilidade de tratar-se do fenômeno da ressonância paramétrica. Para tanto, os instantes de queda das gotas foi determinado e pontos correspondentes foram marcados sobre o gráfico das oscilações ressonantes. Verifica-se que a frequência de gotejamento não guarda correlação com a frequência

da oscilação, ficando descartada a possibilidade de tratar-se de ressonância paramétrica.

A queda das gotas de parafina promove a troca da posição do centro de massa da vela, relativa ao eixo de rotação e, em consequência, alterava o sentido do torque devido à força peso. Mas a vela está também sujeita ao torque promovido pela força elástica resultante da ruptura que envolve a gota, representada na Figura 25 pela força  $\vec{F}$ . Trata-se de uma força que age por um intervalo de tempo muito curto, uma força impulsiva.

**Figura 26 - Gráfico da oscilação da vela acesa representando a queda das gotas de parafina dos lados direito e esquerdo**



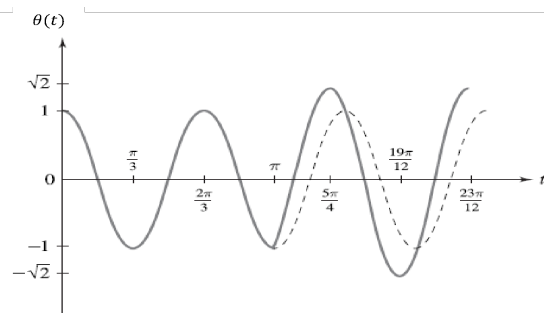
Fonte: CARVALHO, 2020

Os torques da força peso e da força elástica impulsiva se somam, e sugerimos que podem ser expressos pela equação diferencial abaixo:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = (Dmg) \operatorname{sgn}[\operatorname{sen}(\theta_n)]\theta + LF\delta(\theta - \theta_n)\theta$$

Um torque devido à uma força impulsiva é capaz de promover um aumento de amplitude de uma oscilação, conforme o gráfico resultante da solução de uma equação diferencial similar mostrado na Figura 27 (NAGLE, 2005). Portanto, a força elástica impulsiva é a responsável pelo fenômeno de ressonância observado.

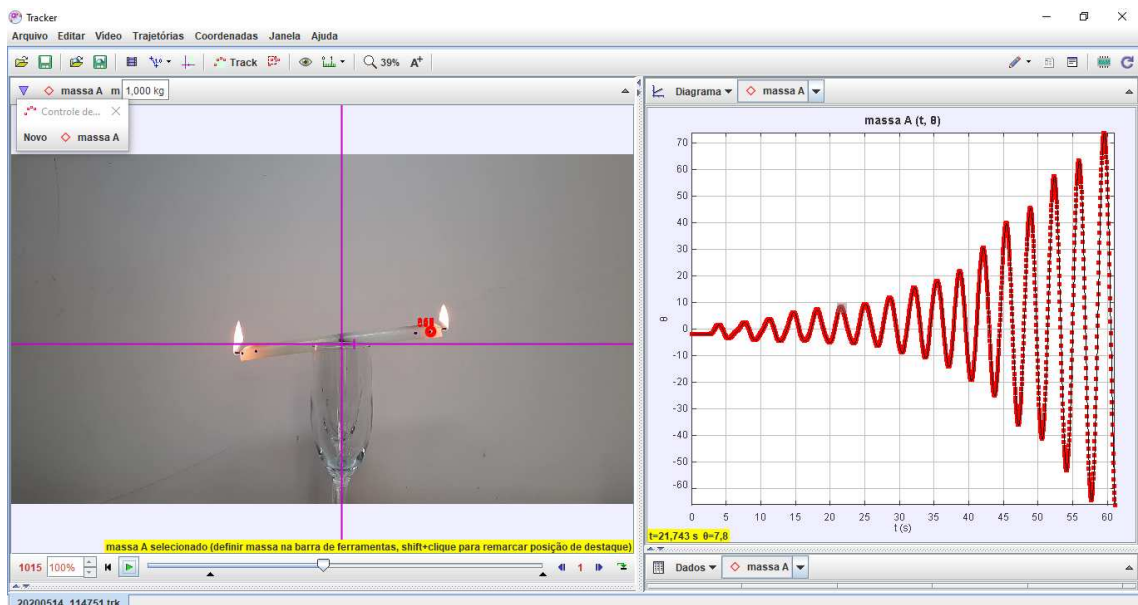
**Figura 27 - Gráfico resultante de solução de equação diferencial**



Fonte: NAGLE; SAFF e SNIDER, 2005, p. 412

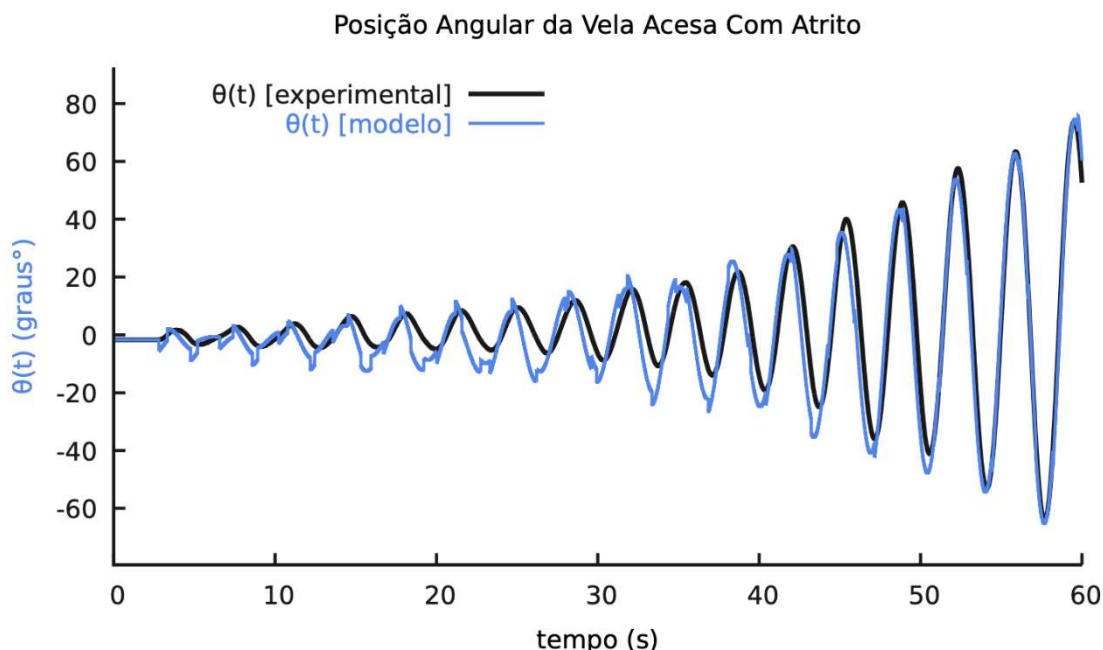
Segue na Figura 28 as imagens que retratam a análise da vela oscilante acesa, bem como o gráfico gerado com o auxílio do Tracker e na Figura 29, a simulação computacional comparando os gráficos experimental e modelado.

**Figura 28 - Oscilação da vela acesa**



Fonte: Construção própria

**Figura 29 - Gráficos da vela acesa: comparativo do experimental e modelado**



Os dados modelados em muito contribuíram para a análise da oscilação, bem como no aspecto comparativo, tanto da vela antes de ter seus pavios acesos, quanto durante a queda das gotas de parafina enquanto ocorria a queima dos pavios.

### 3.1.10 Simulações computacionais

No desenvolver deste trabalho contamos com a colaboração do professor Hallan Souza e Silva e de seu orientando Julimar Simões de Paula, ambos do departamento de Física da Universidade Federal de Viçosa, para a simulação computacional do experimento (PAULA, 2022).

Utilizaram-se da linguagem Python, que conta com uma ampla biblioteca onde foram empregadas especificamente as *Math*, *Os* e *Matplotlib*, que forneceram condições para explorar o experimento da vela oscilante.

“Python é uma linguagem de programação de alto nível, ou seja, com sintaxe mais simplificada e próxima da linguagem humana, utilizada nas mais diversas aplicações, como desktop, web, servidores e ciência de dados” (MELO, 2023).

Não iremos nos ater a explicações sobre este programa, pois este não é nosso objetivo principal. Para saber mais sobre esta linguagem de programação

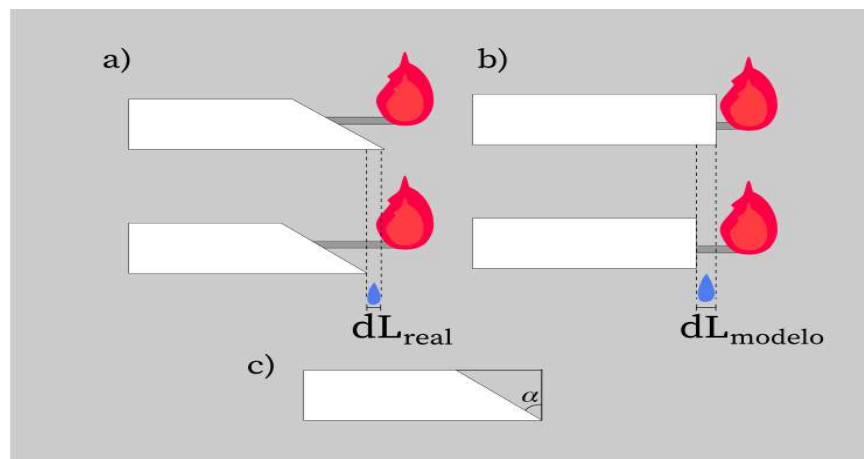
recomendamos o site <https://www.python.org/about/> onde o leitor poderá encontrar uma ampla gama de informações a respeito do mesmo.

Fizeram uso, assim como nós, do software Tracker, que está disponível em <https://physlets.org/tracker/>. Tracker é um programa livre de análise de vídeo que é de grande ajuda na análise de dados experimentais após inserção no programa.

Inicialmente, eles analisaram o vídeo da vela oscilante, cedido por nós, por meio do Tracker, e criaram um programa em Python a fim de verificar a evolução temporal e comparar nossos resultados experimentais com a curva teórica/simulada.

A Figura 30 tenta retratar a evolução da vela a partir da queima do pavio, tanto na situação (a) real quanto na (b) modelagem, indicando ainda a (c) angulação existente na vela real em contraste com a vela modelada

**Figura 30 - Proposta da evolução da vela a partir de sua queima. Em a) representação da inclinação real produzida pela queda das gotas; em b) modelo proposto a fim de simplificar a situação real; em c) representação da angulação da vela real em relação a vela modelada.**



Fonte: PAULA, 2022

### 3.1.10.1 Resultados da simulação computacional

Apresentaremos a seguir o conjunto de dados, tabelas e gráficos obtidos durante a simulação computacional, tanto da vela oscilante apagada quanto acesa. Recomendamos a leitura da monografia "*Simulações computacionais de uma vela oscilante*" da autoria de Paula que trata com mais profundidade dos aspectos relacionados nesta seção.

### 3.1.10.2 Resultados obtidos com a vela oscilante apagada:

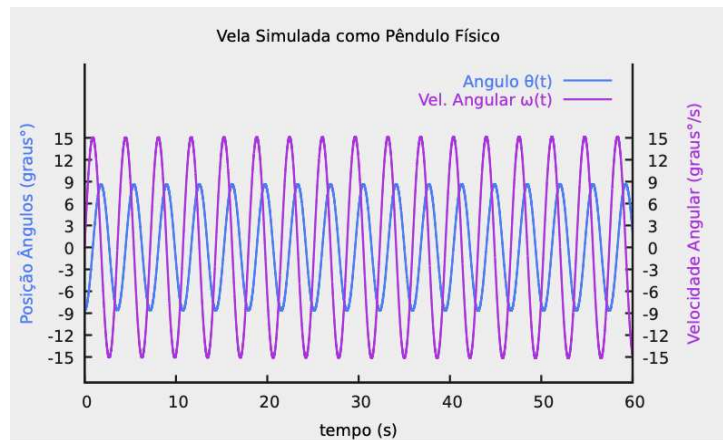
Segue-se uma amostra dos gráficos obtidos durante a modelagem da vela oscilante, Figura 31.

**Tabela 1 - Dados iniciais da simulação do pêndulo simples**

Tabela 1 – Dados Iniciais da Simulação do Pêndulo Físico

$\omega$	$\theta$	$r$	$m$	$L$	Torque
0.0 rad/s	0.1 rad	0.995 cm	27.0g	19.2 cm	$\tau = -m.g.d.\sin(\theta)$

**Figura 31 - Vela simulada como pêndulo físico**

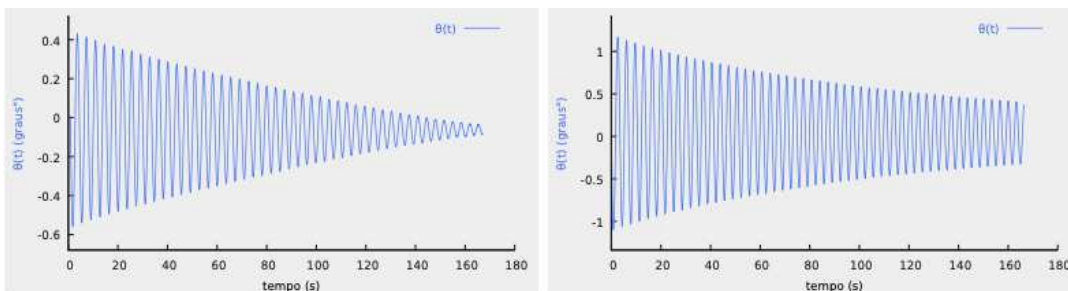


Fonte: PAULA, 2022

Este resultado condiz com o esperado para o pêndulo físico. Podemos observar a ocorrência do movimento oscilatório, com a frequência definida durante todo o intervalo de tempo analisado.

A próxima etapa da simulação, ocorreu com a análise da posição angular da vela apagada antes e após a queima, ambas em condições de atrito. Os gráficos, Figura 32, serviram de referência para a modelagem em relação às forças de atrito em cada situação, vela estando apagada antes e após a queima.

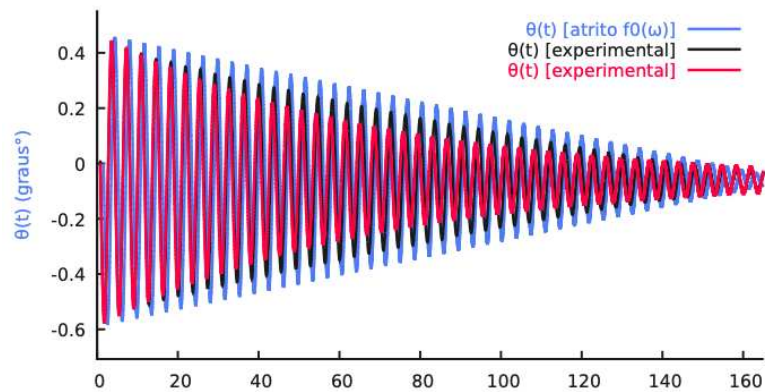
**Figura 32 - Posições angulares da vela antes e após a queima**



Fonte: PAULA, 2022

O gráfico da Figura 33 relaciona a sobreposição das posições angulares da vela apagada antes da queima com atrito em função do tempo durante a experimentação (destacados nas cores preta e vermelha), comparativamente com a modelagem obtida a partir dos dados experimentais (em azul).

**Figura 33 - Gráfico comparativo da posição angular da vela experimental e modelado**



Fonte: PAULA, 2022

As análises feitas por Paula, relativas ao movimento da vela com atrito estão listadas abaixo. A tabela revela os dados que foram utilizados no Python para que a simulação fosse feita.

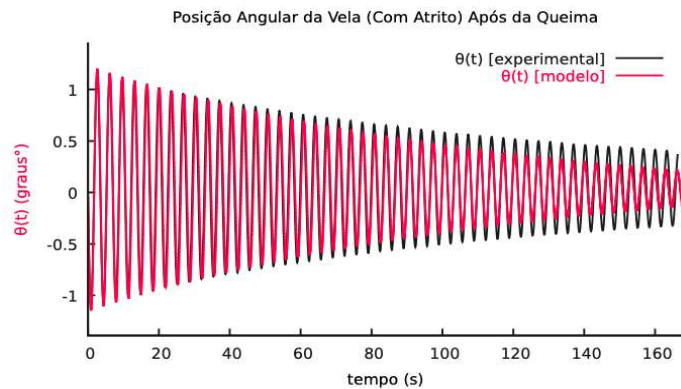
**Tabela 2 - Dados iniciais da simulação**

Tabela 3 – Dados Iniciais da Simulação da Vela com Atrito

$\omega$	$\gamma$	$\phi$	$r$	$m$	$L$
-2.1515 rad/s	0.037 rad	0.06 rad	1.045 cm	25.7g	18.1 cm

A Figura 34 exibe o gráfico da posição angular da vela após a queima versus tempo que foi obtido a partir desses dados. Em preto, consta o gráfico referente ao experimento e em vermelho, o obtido com a simulação.

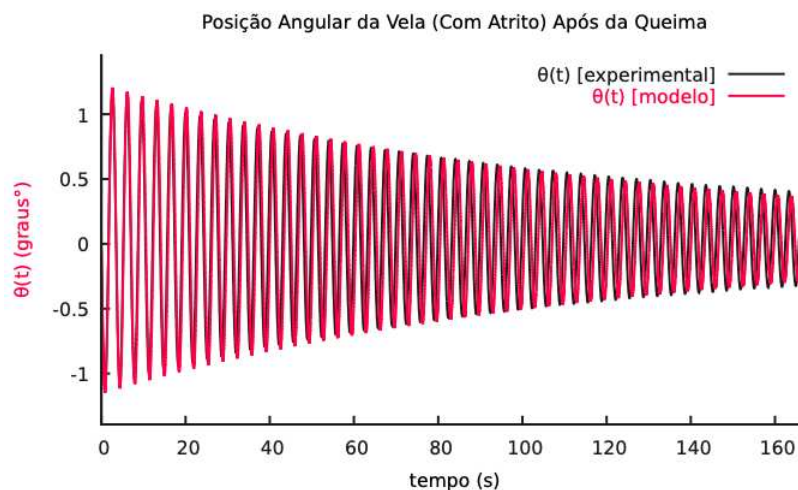
**Figura 34 - Comparativo da posição angular da vela om atrito após a queima**



Fonte: PAULA, 2022

Após as observações proporcionadas pela comparação do modelo experimental com a modelagem, o autor utilizou uma expressão de calibração para corrigir a modelagem obtida na figura anterior, obtendo o seguinte gráfico mostrado na Figura 35.

**Figura 35 - Modelagem após calibração**



Fonte: PAULA, 2022

### 3.1.10.3 Resultados obtidos com a vela oscilante acesa:

A tabela a seguir apresenta os dados obtidos com o movimento oscilatório da vela acesa, inicialmente sem atrito.

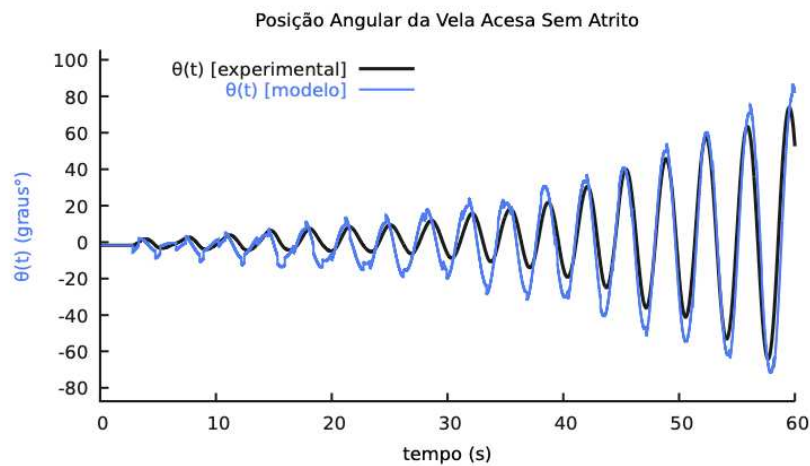
**Tabela 3 - Dados iniciais da simulação da vela acesa**

**Tabela 4 – Dados Iniciais da Simulação da Vela Acesa**

$\omega$	$\gamma$	$\phi$	$r$	$m$	$L$
0 rad/s	0 rad	0 rad	1.045 cm	27.2g	19.2 cm

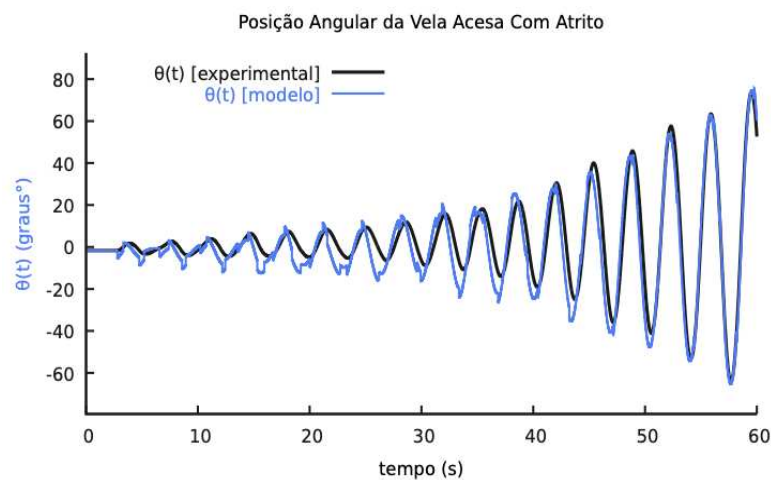
Após a simulação computacional, chegou-se aos gráficos da posição angular da vela acesa versus tempo, em que o modelo experimental está representado na cor preta e a modelagem, em azul, sem e com atrito, respectivamente, conforme mostram as Figuras 36 e 37.

**Figura 36 - Posição angular da vela queimando sem atrito**



Fonte: PAULA, 2022

**Figura 37 - Posição angular da vela queimando com atrito**



Fonte: PAULA, 2022

A simulação computacional com atrito mostra-nos que as curvas, experimental e simulada, se aproximam a partir de transcorridos 30 segundos. A título de citação, a expressão obtida pelo autor para a modelagem foi:

$$\tau = -mgr\sin(\gamma) - \frac{\omega}{|\omega|} (0.78P_{vela} \omega r^2 + 0.05P_{vela} rL_{vela} R_{vela}) - \frac{\pi P_{gota} L_{gota} \delta(t)}{2}$$

A simulação computacional conseguiu um resultado próximo ao experimental.

Apesar de não conseguirmos o resultado exatamente igual ao experimental tentando simular a amplificação das gotas, foi possível calibrar as gotas caindo em uma determinada sequência, de modo que a amplificação ocorresse. Aqui as gotas caíram de 3.6 em 3.6 segundos, com um intervalo entre cada par de 1.7s. Foi preciso levar em conta a mudança da frequência de oscilação para garantir a amplificação. Sendo assim o tempo entre a próxima gota deveria aumentar 0.25s para cada gota caída do lado oposto. (PAULA, J. S. de, 2022, p. 54)

## 3.2 Termodinâmica

O ensino de Termodinâmica baseado na investigação por meio dos experimentos *Motor de Heron* e *Motor térmico de elástico* foi enriquecedor, pois o aluno se tornou agente ativo durante o processo de ensino-aprendizagem.

O conhecimento prévio de calor como uma forma de energia e dos processos de transformação de energia, permitiram que a introdução da 1ª Lei da Termodinâmica ocorresse de forma mais aprazível.

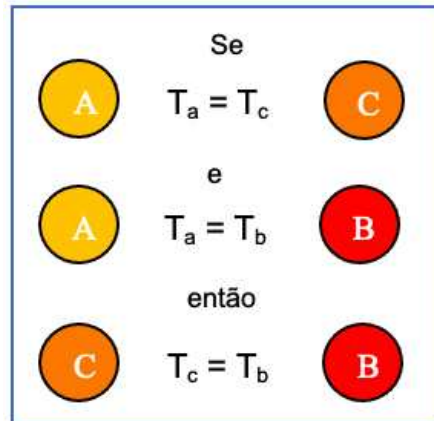
### 3.2.1 Lei Zero da Termodinâmica

A Lei Zero da Termodinâmica precede as outras duas, porém só foi realmente reconhecida como uma lei física há cerca de meio século depois da formulação da 1ª e 2ª leis da termodinâmica.

Seu enunciado traz a seguinte definição: Quando dois corpos quaisquer estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro, eles também estão em equilíbrio térmico entre si. (SEARS e SALINGER, 1979, p. 5).

A formulação desse princípio ocorreu por volta de 1931 e deve-se ao físico e astrônomo inglês Ralph Howard Fowler. A Figura 38 retrata esquematicamente a Lei Zero da Termodinâmica.

Figura 38 - Lei Zero



Fonte: construção própria

### 3.2.2 1ª Lei da Termodinâmica

A 1ª lei da Termodinâmica aborda as transformações de energia entre um sistema termodinâmico e o meio que o cerca, assim como essas transformações podem estar relacionadas com as propriedades da matéria. A visão macroscópica do sistema termodinâmico fica enriquecida quando a perspectiva microscópica lhe é associada.

A 1ª Lei da Termodinâmica descreve o calor como a troca não-mecânica de energia, entre o sistema e a vizinhança, devido à diferença de temperatura, e amplia o princípio da conservação da energia.

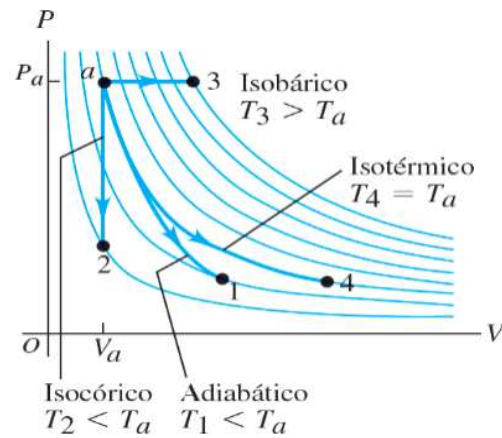
A transferência de calor só ocorre em razão da diferença de temperatura entre o sistema e sua vizinhança. O sistema termodinâmico é a porção do universo, separada por uma fronteira do restante do universo. Fronteira é uma superfície que separa sistema e vizinhança. Vizinhança é aquilo que existe que está fora do sistema, externo à fronteira, mas que pode exercer influência sobre o sistema.

Pela primeira lei da termodinâmica, a energia interna ( $U$ ) de um sistema que tem um gás como substância trabalho resulta da soma da quantidade de calor ( $Q$ ) e do trabalho ( $W$ ), realizado sobre ou pelo gás.

$$dU = dQ + dW$$

Por meio dessa lei, podemos identificar algumas situações específicas, com relação aos processos termodinâmicos, sejam eles o adiabático, isocórico, isobárico e isotérmico. No gráfico da Figura 39 estão representados diversos processos entre o estado inicial “a” e um estado final.

Figura 39 - Processos termodinâmicos



Fonte: YOUNG e FREEDMAN, 2008, figura 19.16, p. 263

Em um processo adiabático, nenhuma energia sai ou entra no sistema na forma de calor ( $Q$ ). Dessa forma, obtemos a seguinte expressão para quando o gás se expande adiabaticamente:

$$W_{\text{adiabático}} = U_i - U_f$$

$$W_{\text{adiabático}} = -\Delta U$$

E a expressão abaixo para quando ele é comprimido adiabaticamente:

$$W_{\text{adiabático}} = U_f - U_i$$

$$W_{\text{adiabático}} = +\Delta U$$

Para o processo isocórico, que ocorre a volume constante, o trabalho é nulo, logo:

$$\Delta U = Q$$

Já no processo isobárico, quando a pressão é constante:

$$W = P_a \int_{V_1}^{V_2} dV$$

$$W = P_a(V_3 - V_a)$$

Com relação ao processo isotérmico, no qual a temperatura se mantém constante:

$$PV = nRT_a$$

$$W = \int_{V_a}^{V_4} \left( \frac{nRT_a}{V} \right) dV$$

$$W = nRT_a \ln \frac{V_4}{V_a}$$

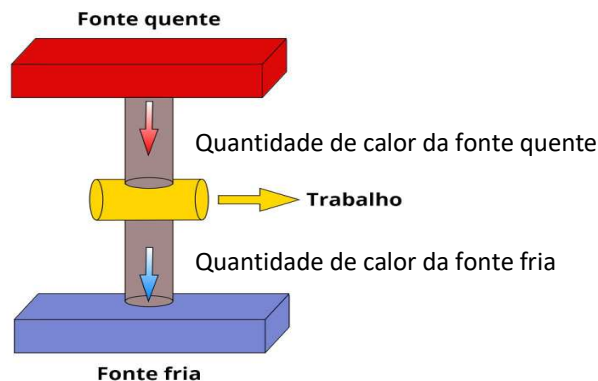
### 3.2.3 2ª Lei da Termodinâmica

Talvez a forma mais interessante de se tratar a 2ª lei da termodinâmica, seria a partir do estudo da máquina térmica, que é um dispositivo que transforma a energia interna de um sistema em energia útil e produz trabalho a partir da diferença de temperatura entre dois recipientes. A Figura 40 oferece uma representação gráfica destas ideias.

A primeira máquina térmica que se tem registro, é a máquina térmica de Heron, que será tratada mais adiante. De forma simplificada pode-se dizer que

uma máquina térmica faz com que alguma substância de trabalho realize processos cíclicos durante os quais (1) calor é transferido de uma fonte a uma temperatura mais elevada, (2) trabalho é feito pela máquina e (3) calor é lançado pela máquina para uma fonte a uma temperatura mais baixa. (SERWAY e JEWETT, 2004).

**Figura 40 - Representação simplificada de uma máquina térmica**



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/maquina-termicaaplicacao-segunda-lei-termodinamica.htm>

Uma máquina térmica absorve uma quantidade de calor  $Q_q$  da fonte quente, realiza trabalho  $W$  e libera certa quantidade de calor  $Q_f$  para a fonte fria. Como o trabalho realizado é cíclico, a variação de energia interna é nula.

Seja,

$$\Delta U = Q + W$$

$$Q = |Q_q| - |Q_f|$$

$$W = |Q_q| - |Q_f|,$$

o rendimento de uma máquina térmica é dado por:

$$\eta = \frac{W}{|Q_a|}$$

$$\eta = \frac{|Q_a| - |Q_f|}{|Q_a|}$$

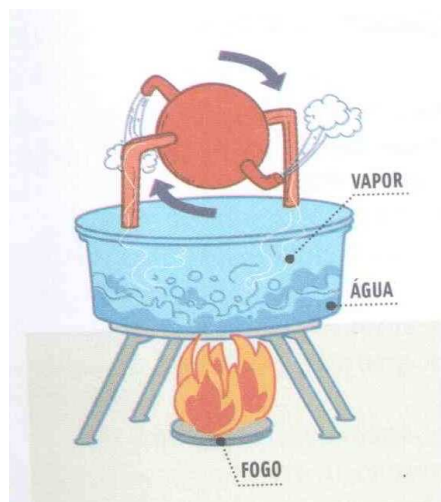
$$\eta = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_a|}$$

Podemos então concluir que nenhuma máquina térmica tem rendimento de 100%, ou seja, sempre haverá uma parte de calor sendo transferido para a fonte fria.

### 3.2.4 Motor de Heron

O motor de Heron é uma máquina térmica a vapor construída por Heron de Alexandria no ano I d.C., tendo como objetivo divertir as pessoas na época. Foi a primeira máquina térmica utilizada para produzir trabalho, sendo composta por um recipiente fechado, com dois orifícios, que permitem a saídas de vapor do líquido que está em ebulição no recipiente abaixo dele, conforme Figura 41.

**Figura 41 - Representação da Eolípila**



Fonte: disponível em <https://fisicando3001.blogspot.com/2016/05/maquinas-termicas.html>

A pressão do vapor gera uma força no braço do recipiente, fazendo com que ele comece a girar. A água recebe energia térmica (calor) proveniente da fonte de calor e se transforma em vapor. O vapor, ao ser expelido para fora da máquina, ocasiona o movimento rotacional.

A energia térmica é transferida em razão unicamente da diferença de temperatura entre a chama (vizinhança) e a água dentro do recipiente (sistema) e esta transferência se dá entre a chama e o vapor dentro do recipiente.

Para o cálculo da quantidade de calor proveniente do sistema, os dados a seguir foram retirados do Motor de Heron construído para esta sequência didática. São eles:

- Massa de água: 67g ~ 0,067 kg
- Massa do Erlenmeyer: 110g ~ 0,11 kg
- Massa do sistema: 177g ~ 0,177 kg
- Raio do Erlenmeyer:  $3,3 \times 10^{-2}$  m
- Calor específico da água: 1 cal/g°C
- Variação de temperatura: 19,6 °C
- Período da rotação = 0,4 s

Seja a quantidade de calor dada por:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ , ao substituirmos as informações coletadas do experimento, obtemos o seguinte valor:

$$Q = 67 \cdot 1 \cdot 19,6$$

$$Q = 1.313,2 \text{ cal} \sim 5.489,176 \text{ J}$$

Para o cálculo da energia cinética do sistema, utilizamos a título de comparação a geometria de um cone, que é a mais próxima do Erlenmeyer, de modo que a equação fosse a mais confinante possível da realidade. Seja o momento de inércia de um cone dado por  $I = \frac{3}{10} M \cdot R^2$  e a velocidade angular  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , chegamos ao seguinte resultado, após as devidas manipulações matemáticas:

$$E_c = \frac{1}{2} i \cdot \omega^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \left( \frac{3}{10} 0,177 \cdot (3,3 \times 10^{-2})^2 \right) \cdot \left( \frac{2\pi}{0,4} \right)^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot (5,78 \times 10^{-5}) \cdot 246,74$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot (14,26 \times 10^{-3})$$

$$E_c = 7,13 \times 10^{-3} \text{ J}$$

Observamos que os resultados obtidos na experimentação, ao serem confrontados com a 1ª lei da termodinâmica, tiveram implicações discrepantes do esperado. Ressaltamos que, dentro do âmbito científico experimental, isso é esperado devido às dificuldades encontradas decorrentes da falta de controle de todas as

variáveis da experiência como, por exemplo, a perda de massa e calor que ocorreram de forma exagerada. Embora os resultados não sejam consistentes com o esperado, isso faz parte do fazer científico e deixar isso claro para os estudantes é parte do processo de ensino aprendizagem.

### 3.2.5 Motor térmico de elástico

A construção do motor de elástico consistiu em um aro de bicicleta de 20" no qual foi afixado em uma estrutura de madeira tipo 'L' utilizando o seu eixo de rolamento e no aro os raios metálicos foram substituídos por elásticos. Utilizamos como fonte de calor uma lâmpada incandescente de 250 watts de potência, com pintura reflexiva interna para direcionar seu foco de luz. Os materiais utilizados em nossa construção estão mostrados na Figura 42.

**Figura 42 - Materiais para construção do motor de elástico**

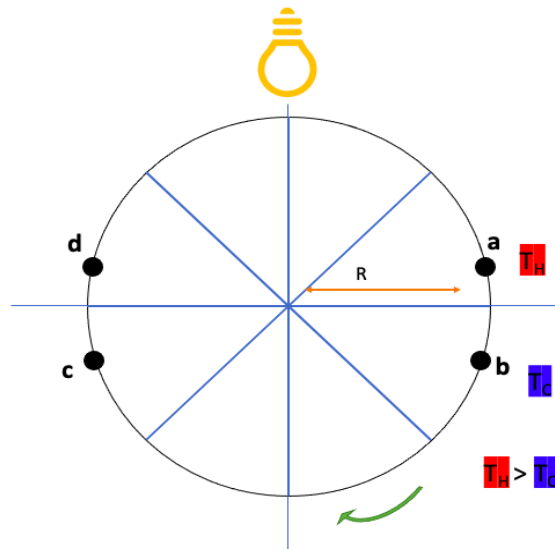


Na ausência de iluminação, a força peso e a força normal, exercida pelo eixo de rotação, se compensam. Quando a lâmpada (vizinhança) emite radiação, aquece os elásticos de borracha da roda (sistema). Ao se aquecerem, os elásticos se contraem, deslocando o ponto de aplicação da força peso para fora do eixo geométrico da roda, definindo um braço de aplicação não nulo para a força peso. Neste caso a substância de trabalho é borracha que compõem o elástico.

Logo, a roda gira e os elásticos quentes, ao alcançarem o outro lado da roda perdem calor para a atmosfera, que se constitui no reservatório frio. Os elásticos de borracha no lado frio perdem calor para o reservatório frio, e se dilatam, enquanto os elásticos do lado quente, recebem calor do reservatório quente, e se contraem,

mantendo assim a máquina em movimento contínuo, e a transferência de calor ocorre entre a radiação luminosa e o elástico. Na Figura 43 estão representadas esquematicamente estas ideias.

**Figura 43 - Representação do motor de elástico**



Fonte: a autora

O processo de conversão de calor em energia mecânica é que faz com que a máquina térmica gire. As variáveis termodinâmicas do elástico, análoga a de um gás ideal, são a energia interna, o trabalho e a capacidade térmica.

Seja a tensão para o elástico dada por (MULLER; LOOK e KONKEL, 1975).

$$\tau(T, L) = \tau(R, \bar{T}) + \rho(L - R) + \sigma(T - \bar{T}),$$

onde  $\tau$  é a tensão na qual o elástico está sujeito,  $T$  a temperatura,  $\bar{T}$  a média aritmética das temperaturas,  $R$  o raio da roda e  $L$  o comprimento do elástico.

As constantes  $\rho$  e  $\sigma$  são dadas por:

$$\rho = \frac{\partial \tau(L, T)}{\partial L_T} \text{ e } \sigma = \frac{\partial \tau(L, T)}{\partial T_L},$$

sendo comprimento e a temperatura parâmetros para o elástico. A equação descreve bem o experimento do motor de elástico desde que sejam obedecidas as relações abaixo:

$$\frac{L-R}{R} \ll 1 \text{ e } \frac{T-\bar{T}}{\bar{T}} \ll 1$$

Para processos reversíveis, podemos trabalhar com as equações da termodinâmica. Seja,

$$dQ = TdS$$

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_L dT + \left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T dL$$

$$TdS = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_L dT + T \left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T dL$$

Analogamente as equações de Maxwell, substituindo  $V \rightarrow L$  e  $P \rightarrow -\tau$ :

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$$

logo

$$\left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T = -\left(\frac{\partial \tau}{\partial T}\right)_L$$

portanto a equação  $TdS$  fica

$$TdS = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_L dT - T \left(\frac{\partial \tau}{\partial T}\right)_L dL$$

Para processos reversíveis, a capacidade térmica a comprimento constante é dada por:

$$C_L = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_L$$

É interessante observarmos que  $C_L$  independe do comprimento do elástico, somente da temperatura.

Dessa forma, substituindo os valores de  $C_L$  e  $\sigma$ , obtemos:

$$TdS = C_L(T)dT - T\sigma dL$$

### 3.2.5.1 Rendimento

O rendimento de uma máquina térmica é dado pela razão entre o trabalho exercido e a quantidade de calor absorvido na temperatura mais elevada, como já foi inferido anteriormente. Para o motor de elástico, temos  $n$  elásticos sendo utilizados, o trabalho  $W$  é o obtido pelo movimento do motor e  $Q$ , o calor absorvido por meio da lâmpada.

$$\eta = \frac{nW}{nQ_i} = \frac{W}{Q_i}$$

Retomando a primeira lei da termodinâmica  $dQ = dU + dW$ , onde  $dQ = TdS$  e  $dW = -\tau dL$  (análogo ao sistema  $p, V, T$ ). Para determinarmos o rendimento desse motor, devemos associar primeiramente as quantidades de calor para um ciclo completo do ponto inicial  $a$  até  $d$ .

Do ponto  $b$  para  $c$  e  $d$  para  $a$ , temos processos isotérmicos, haja vista que a temperatura de ambos os pontos é a mesma. Portanto,

$$Q_{bc} = C_L(T)dT - (-T\sigma dL)$$

Como  $dT = 0$ :

$$Q_{bc} = T_H \sigma dL$$

$$Q_{bc} = T_H \int_{R+R_0}^{R-R_0} \sigma dL$$

$$Q_{bc} = T_H \sigma [R + R_0 - (R - R_0)]$$

$$Q_{bc} = T_H \sigma [\cancel{R} + R_0 - \cancel{R} + R_0]$$

$$Q_{bc} = T_H \sigma 2R_0$$

$$Q_{bc} = 2\sigma R_0 T_H$$

De forma similar, o mesmo ocorre de  $d$  para  $a$ :

$$Q_{da} = C_L(T)dT - T\sigma dL$$

Como  $dT = 0$ :

$$Q_{da} = -T_C \sigma dL$$

$$Q_{da} = -T_C \int_{R+R_0}^{R-R_0} \sigma dL$$

$$Q_{da} = -T_C \sigma [R + R_0 - (R - R_0)]$$

$$Q_{da} = -T_C \sigma [\cancel{R} + R_0 - \cancel{R} + R_0]$$

$$Q_{da} = -T_C \sigma 2R_0$$

$$Q_{da} = -2\sigma R_0 T_C$$

Considerando os processos de  $a$  para  $b$  e  $c$  para  $d$  como adiabáticos, teremos que  $dL \cong 0$ , portanto:

$$Q_{ab} = \int_{T_H}^{T_C} C_L(T)dT$$

$$Q_{cd} = \int_{T_C}^{T_H} C_L(T)dT$$

No ciclo, a variação de energia interna é nula e o trabalho é dado pela soma das quantidades de calor:

$$W = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{cd} + Q_{da}$$

$$W = + \int_{T_H}^{T_C} C_L(T)dT + 2\sigma R_0 T_H + \int_{T_C}^{T_H} C_L(T)dT - 2\sigma R_0 T_C$$

$$W = 2\sigma R_0 T_H - 2\sigma R_0 T_C + \int_{T_H}^{T_C} C_L(T) dT + \int_{T_C}^{T_H} C_L(T) dT$$

e ainda considerando que

$$Q_i = Q_{ab} + Q_{bc}$$

$$Q_i = \int_{T_H}^{T_C} C_L(T) dT + 2\sigma R_0 T_H$$

de modo, que o rendimento  $\eta = \frac{W}{Q_i}$ ,

$$\eta = \frac{2\sigma R_0 T_H - 2\sigma R_0 T_C + \int_{T_H}^{T_C} C_L(T) dT + \int_{T_C}^{T_H} C_L(T) dT}{\int_{T_H}^{T_C} C_L(T) dT + 2\sigma R_0 T_H}$$

$$\eta = \frac{2\sigma R_0 (T_H - T_C) + \int_{T_H}^{T_C} C_L(T) dT + \int_{T_C}^{T_H} C_L(T) dT}{2\sigma R_0 T_H + \int_{T_H}^{T_C} C_L(T) dT}$$

$$\eta = \frac{2\sigma R_0 (T_H - T_C)}{2\sigma R_0 T_H + \int_{T_H}^{T_C} C_L(T) dT}$$

$$\eta = \left(1 - \frac{T_C}{T_H}\right) \cdot \frac{2\sigma R_0 T_H}{2\sigma R_0 T_H + \int_{T_H}^{T_C} C_L(T) dT}$$

$$\eta = \left(1 - \frac{T_C}{T_H}\right) \cdot \left[1 + (2\sigma R_0 T_H)^{-1} + \int_{T_H}^{T_C} C_L(T) dT\right]^{-1}$$

A ultima expressão revela que o rendimento do ciclo de Stirling é menor que o do ciclo de Carnot.

## CAPÍTULO 4

### A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Esta sequência didática que compõem o produto educacional foi aplicada para alunos dos 1ºs e 2ºs anos do Ensino Médio, durante os anos de 2021 (de forma remota) e 2022 (no módulo presencial) na escola da rede pública estadual em que esta professora autora atua como regente desde o ano de 2014.

Para os alunos do 1º ano do Ensino Médio foram ministradas aulas relativas ao ensino de oscilações, e para o 2º ano do Ensino Médio, as aulas diziam respeito às leis da termodinâmica, ambos os conteúdos condizentes com o CBC (Currículo Básico Comum) (MINAS GERAIS, 2005).

As aulas foram elaboradas na abordagem do ensino por investigação, como preconizado por John Dewey, construindo uma aprendizagem calcada na prática e experimentação, estimulando nos educandos a sua capacidade de pensar, questionar, discutir, experimentar, procurando fomentar o interesse e o prazer em estudar.

Um princípio subjacente às aulas na abordagem investigativa consiste em incentivar os alunos a relacionar os experimentos problematizadores e conteúdos com suas experiências e observações do dia a dia. Este pressuposto está em acordo com a perspectiva de David Kolb em “correlacionar a prática e a teoria, assumindo a aprendizagem como o processo pelo qual o conhecimento é criado através da transformação da experiência”. Na percepção desta professora esse método de ensino resultou em uma aprendizagem mais satisfatória e duradoura do que as aulas tradicionais ministradas nos anos anteriores, que se baseavam em uma abordagem expositiva e aprendizagem receptiva. Os materiais utilizados nas sequências didáticas que apresentamos a seguir estão disponíveis no endereço eletrônico: <<https://6434614eba979.site123.me/>>.

Nesse contexto, lançamos outro olhar sobre o laboratório escolar à luz das práticas e estudos contemporâneos (HOFSTEIN e LUNETTA, 2004).

Os muitos estudos e pesquisa e ensaios que foram citados nas revisões de Hofstein e Lunetta (2004) criticaram a tradição de conduzir experimentos sem propósitos e objetivos claros (HOFSTEIN, 2017). Na elaboração de nossas atividades experimentais tivemos preocupação com a formalização dos conhecimentos

abordados, fundamental para a construção da teoria como consequência das vivências em disciplinas experimentais, na expectativa de evitar a dissociação teoria-prática. Estivemos atentos no sentido de inferir, a partir da convivência com os alunos e de avaliações respondidas, indícios de aprendizagem significativa e sua correlação com a metodologia adotada (SILVA; DORNELES E HEIDEMANN, 2020).

Nosso estudo sugere algumas implicações para a promoção da formação de professores no contexto da ECBI (Ensino de Ciências Baseado em Indagação). A investigação em ciências envolve uma gama de práticas cognitivas, sociais e físicas. Todas as abordagens baseadas em investigação para o ensino de ciências sugerem que os alunos devem “se envolver nas práticas e não apenas aprender sobre elas de segunda mão”. Os alunos não podem compreender as práticas científicas, nem apreciar plenamente a natureza do conhecimento científico em si, sem experimentar diretamente essas práticas por si mesmos” (POZO e CRESPO, 2009, p. 30). Isso também pode ser considerado verdadeiro para aqueles professores que em seu currículo nunca estiveram envolvidos em uma experiência de laboratório voltada para a resolução de problemas por meio de uma abordagem investigativa. O envolvimento de professores que experimentam diretamente nos mesmos ambientes de aprendizagem que deveriam usar em suas salas de aula mostra sua eficácia para o desenvolvimento de habilidades docentes. Uma única experiência provavelmente não é suficiente para permitir que os professores se familiarizem com todas as práticas científicas, mas pode dar-lhes *insights* sobre o papel dos experimentos, procedimentos de investigação para uma análise mais profunda dos dados, avaliação de resultados inesperados, comparação com teorias conhecidas ou desenvolvimento de modelos explicativos (PIZZOLATO, N. et. al. 2014).

As sequências didáticas seguem a metodologia dos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angoti (DELIZOICOV, D. ANGOTTI, J. A. 1994), quais sejam: problematização, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. A problematização estabelece a ligação do conteúdo com situações reais práticas apresentadas aos alunos e desencadeia questionamentos, discussões e hipóteses explicativas. Na etapa da organização do conhecimento, o professor conduz à sistematização das informações coletadas e coletivamente elaboradas, promovendo a compreensão do problema inicial à luz dos conceitos científicos estabelecidos. A última etapa, de aplicação dos conhecimentos, visa exercitar os conhecimentos construídos.

## 4.1 Sequência didática – Oscilações

Segue abaixo um relato sobre as aulas ministradas para o ensino de oscilações. Buscaremos delinear claramente os objetivos e descrever como a sequência didática foi aplicada.

Inicialmente apresentamos a ordem dos assuntos que seriam abordados, para situar os alunos do contexto da aula:

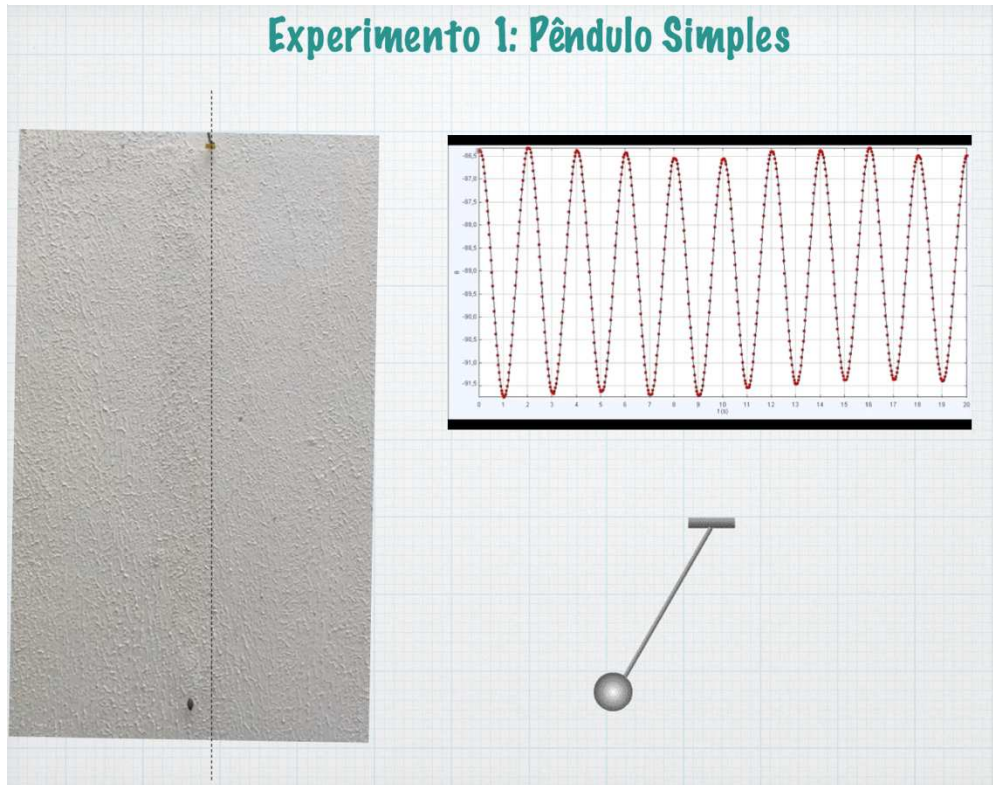
- Exemplos reais de movimentos oscilatórios no cotidiano;
- Conceituação do movimento oscilatório;
- Apresentação das grandezas características do movimento oscilatório;
- Movimento Harmônico Simples e o Movimento Oscilatório Pendular;
- Movimento da Vela Oscilante, amortecimento e ressonância.

Primeiramente, foi apresentado aos alunos três recortes de vídeos, a título de exemplo, de alguns eventos presentes na natureza: movimento das ondas do mar, o colapso ocorrido na ponte de Tacoma e o balançar de uma pessoa fazendo um giro de 360°. Em seguida, apresentamos os experimentos de pêndulo simples e vela oscilante (analisando o movimento da vela apagada e posteriormente da vela acesa).

### 4.1.1 Pêndulo simples

Foi apresentado aos alunos a gravação do vídeo caseiro do pêndulo e apontado sua inserção no software TRACKER, o que possibilitou a análise gráfica por esse programa. Optamos por iniciar com a investigação deste sistema simples, para a observação da oscilação pendular, conforme mostra a Figura 44.

Figura 44 - Imagem retirada do slide apresentado em sala de aula



Fonte: a autora

Após as discussões iniciais, nas quais os alunos foram incentivados a refletir sobre as situações propostas e relacioná-las com suas experiências, a discussão subsequente foi sobre a classificação do movimento pendular e as grandezas que o caracterizam. Destacamos o período de oscilação, a frequência, a posição angular e a posição angular máxima, bem como a amplitude, conforme apresentado na Figura 45.

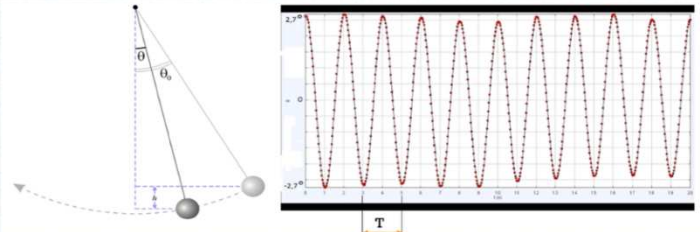
Após o software TRACKER capturar o vídeo, marcamos o ponto de massa – a partir do qual o objeto tem seu movimento analisado –, bem como definimos uma referência para o comprimento do fio. Em seguida, geramos o gráfico a partir da análise do movimento oscilatório, definindo previamente o ponto de referência. Os resultados estão apresentados na Figura 46.

Figura 45 - Imagem retirada do slide apresentado em sala de aula

*Vamos pensar um pouco...*

✓ Como você classifica o movimento do pêndulo?

✓ Quais grandezas que caracterizam o movimento?



$T \rightarrow$  **Período:** é o intervalo de tempo que o oscilador gasta para executar uma oscilação completa, sua unidade é o segundo (s).

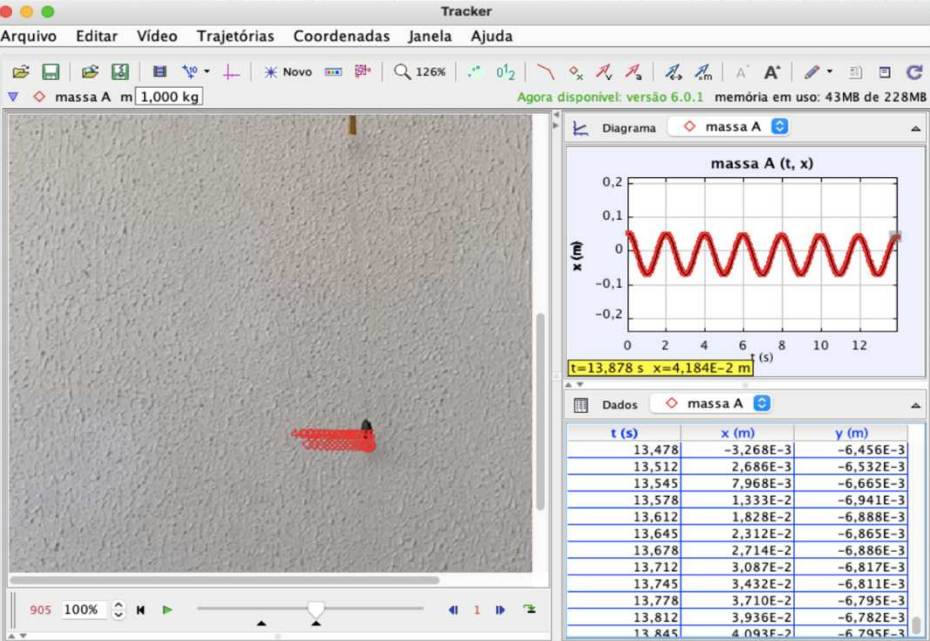
$f \rightarrow$  **Frequência:** é o número de oscilações executadas na unidade de tempo,  $f=1/T$ . Sua unidade é o Hertz (Hz)=1/s.

$\theta_0 \rightarrow$  **Amplitude:** ângulo máximo

Fonte: a autora

Figura 46 - Imagem retirada do slide apresentado em sala de aula, mostrando a retirada de dados com o auxílio do software Tracker

**Software de Análise de Vídeo Tracker**  
Permite coletar dados de posição angular versus tempo a partir de um vídeo



Tracker

Arquivo Editar Vídeo Trajetórias Coordenadas Janela Ajuda

massa A m 1,000 kg

Agora disponível: versão 6.0.1 memória em uso: 43MB de 228MB

Diagrama massa A

massa A (t, x)

x (m)

t (s)

t=13,878 s x=4,184E-2 m

Dados massa A

t (s)	x (m)	y (m)
13,478	-3,268E-3	-6,456E-3
13,512	2,686E-3	-6,532E-3
13,545	7,968E-3	-6,665E-3
13,578	1,333E-2	-6,941E-3
13,612	1,828E-2	-6,888E-3
13,645	2,312E-2	-6,865E-3
13,678	2,714E-2	-6,886E-3
13,712	3,087E-2	-6,817E-3
13,745	3,432E-2	-6,811E-3
13,778	3,710E-2	-6,795E-3
13,812	3,936E-2	-6,782E-3
13,845	4,093E-2	-6,795E-3

Fonte: a autora

Em seguida, apresentamos um modelo teórico sobre o movimento harmônico simples, fundamentado nas leis de Newton, demonstrando matematicamente como obter o período de um pêndulo, conforme mostrado na Figura 47. Ressaltamos a importância de realizar a oscilação do pêndulo para ângulos pequenos. Foi destacado para os alunos que a massa não interfere no cálculo do período.

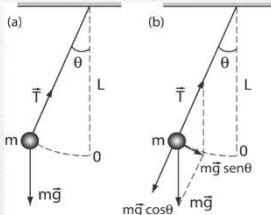
Figura 47 - Revisão da equação de período de um pêndulo

**Revisando.....** **Período de oscilação no pêndulo**

Desconsiderando a resistência do ar, as únicas forças que atuam sobre a massa  $m$  são a tensão com o fio e a força peso.

Decompondo a força peso, obtemos a componente radial  $m \cdot g \cos \theta$  e uma componente  $m \cdot g \sin \theta$  que é tangente à trajetória do peso.

Seja,  $\theta$  dado pelo quociente do arco descrito pelo ângulo, que no movimento oscilatório de um pêndulo é  $x$  e o raio de aplicação do mesmo, no caso, dado por  $L$ , temos que:

$$\theta = \frac{x}{L}$$


**Período de oscilação no pêndulo**

$$F = P \cdot \sin \frac{x}{L}$$

Para pequenos ângulos, o valor do seno do ângulo é aproximadamente igual a este ângulo em radianos, logo

$$F = P \cdot \sin \frac{x}{L} = P \cdot \frac{x}{L}$$

Seja:  $P = m \cdot g$ ,  $F = m \cdot g \cdot \frac{x}{L}$

Dada a força restauradora do sistema:  $F = -K \cdot x$ ,  $K = \frac{m \cdot g}{L}$

No MHS, o período é dado por:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

Substituindo  $K$ , obtemos:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{m \cdot g}{L}}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Fonte: a autora

Após esta apresentação da equação do período, os alunos foram incentivados a determinar a aceleração da gravidade na cidade de Muriaé, sendo conhecido o comprimento do fio de nylon, conhecido. Na Figura 48 está a imagem do slide apresentado na sala de aula.

Figura 48 - Cálculos da aceleração da gravidade local

**Determinando a aceleração local**

$T = 1,99 \text{ s} \pm 0,01 \text{ s}$   $L = 1,000 \text{ m} \pm 0,001 \text{ m}$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$1,99 = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{1}{g}}$$

$$1,99 = 6,28 \sqrt{\frac{1}{g}}$$

$$\frac{1,99}{6,28} = \sqrt{\frac{1}{g}}$$

$$0,317 = \sqrt{\frac{1}{g}}$$

$$0,3172 = \left(\sqrt{\frac{1}{g}}\right)^2$$

$$0,100489 = \frac{1}{g}$$

$$0,100489 \cdot g = 1$$

$$g = \frac{1}{0,100489}$$

$$g = \pm 9,95 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Aceleração da gravidade em Muriaé/M.G.**

Fonte: a autora

Esta sequência teve duração de duas horas-aula descontado o tempo utilizado para a gravação do vídeo. A fim de otimizar o tempo aula, a gravação pode ser feita com antecedência em algum espaço da escola ou em casa. O tratamento das informações no TRACKER pode ser feito em sala de aula, com auxílio de um projetor para que os estudantes assistam em tempo real como a análise é feita ou em um laboratório de informática, caso a escola possua um. O ideal é que o professor instale previamente o software nos computadores do laboratório, se for de interesse utilizá-los.

#### 4.1.2 Vela oscilante

Dando continuidade a aula sobre oscilações, foi apresentado o vídeo caseiro da vela oscilante e discutido com os alunos como este movimento se classificaria.

Para montagem do aparato experimental, utilizamos uma vela comum descascada de ambos os lados para que o fio do pavio ficasse visível. Uma agulha foi atravessada em seu centro e foram utilizadas duas taças que funcionaram como suporte conforme se vê na imagem da Figura 49.

Figura 49 - Aparato experimental da vela oscilante

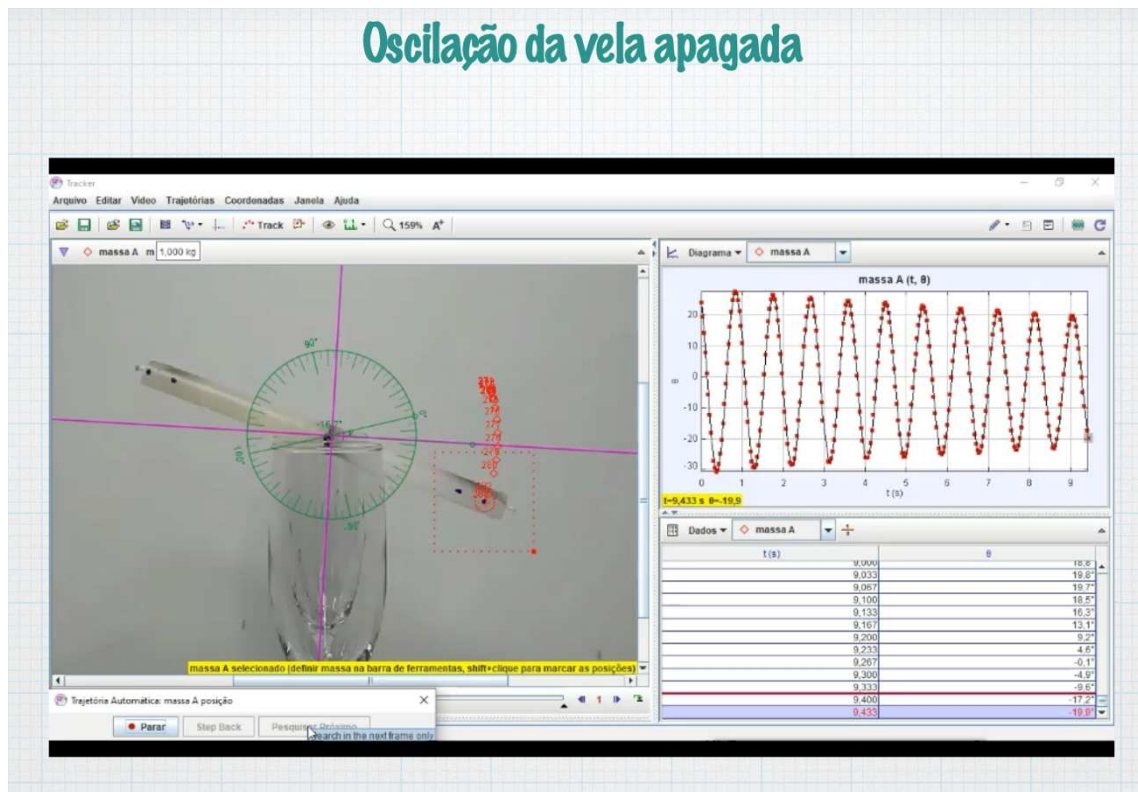


Fonte: a autora

Em um primeiro momento, o experimento consiste em colocar a vela a oscilar apagada e fazer a gravação e inserir o vídeo no TRACKER, para análise do mesmo.

Ao marcar o ponto de referência a análise se inicia, e podemos observar que a amplitude diminui de forma progressiva. Segue imagem, Figura 50, gerada por meio desta ferramenta.

Figura 50 - Análise de dados da vela oscilante apagada



Fonte: a autora

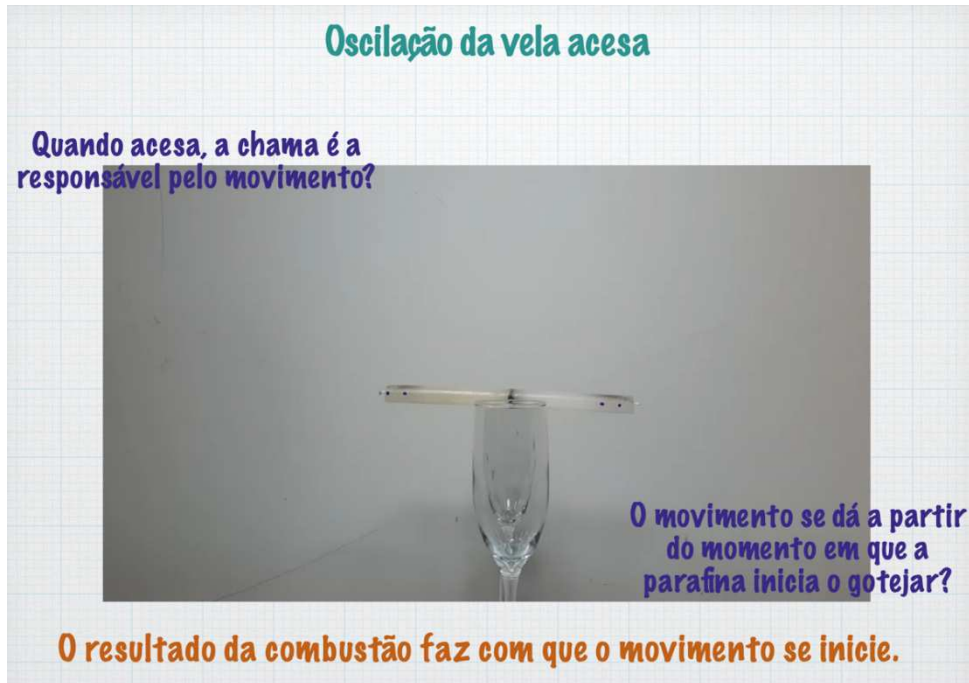
Neste ponto, os alunos foram incentivados a correlacionarem as informações coletadas do experimento do pêndulo simples com a vela oscilante apagada. Foi observado que quando há forças dissipativas a amplitude da oscilação decresce com o tempo e o movimento finalmente cessa. Com isso chega-se à conclusão de que a oscilação é amortecida. E em um fictício sistema livre de forças dissipativas não ocorre redução da amplitude.

A seguir foi apresentado o mesmo experimento, porém agora acendendo os pavios de ambos os lados da vela, para posterior análise gráfica dos dados a serem gravados. Reforçamos aqui que um simples aparelho celular permite a gravação do vídeo a ser inserido no TRACKER.

O recorte de slide apresentado na Figura 51 mostra que algumas questões foram levantadas e discutidas à medida que a aula tinha continuidade, levando os alunos a pensarem acerca da situação problema que foi colocada, e a conclusão de

que o movimento se inicia após o início da combustão do pavio e subsequente queima da parafina.

Figura 51 - Slide referente ao vídeo da vela sendo acesa



Fonte: construção própria

A Figura 52 apresenta instantâneo do processo de coleta dados sendo coletados à medida que ocorre a queima dos pavios.

Figura 52 - Análise de dados da vela oscilante acesa

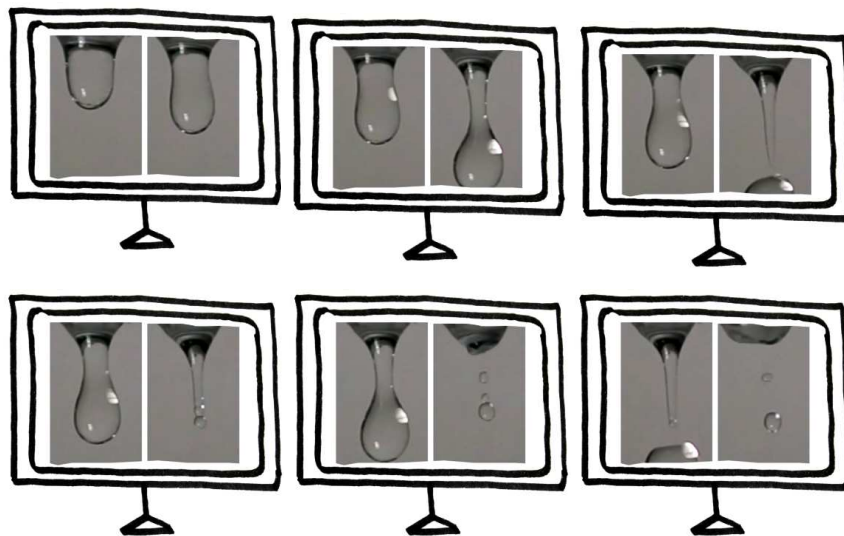


Fonte: a autora

Discutiu-se o tipo de movimento descrito pela vela oscilante acesa, sendo este denominado uma oscilação forçada. Nesse tipo de oscilação é introduzida uma força externa, que realiza trabalho no sistema e a amplitude aumenta gradativamente.

Observou-se que o gotejamento não é periódico e tem grande influência da força elástica impulsiva, decorrente da liberação da gota de parafina da ponta da vela que está abaixo da horizontal. Apresentamos um vídeo mostrando esse desprendimento da gota, as imagens da Figura 53 mostram a sequência da queda de gotas presentes no mesmo. Cabe ressaltar que o vídeo mostra o desprendimento de uma gota d'água.

**Figura 53 - Compilado de imagens com o desprendimento de uma gota d'água**

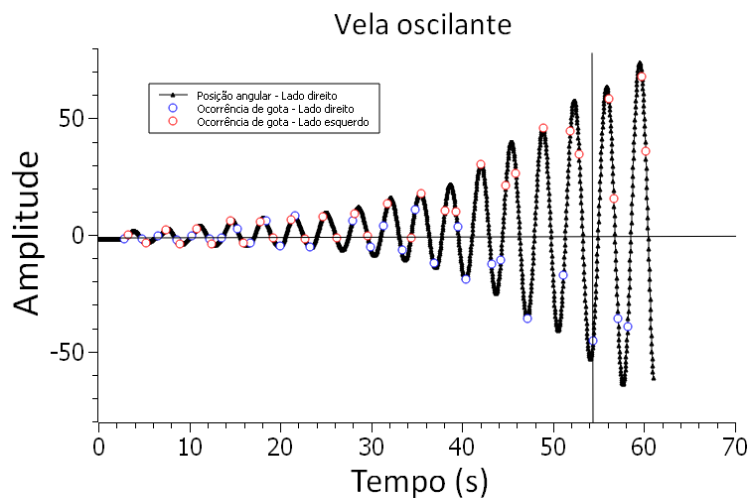


Fonte: a autora

O desprendimento da gota d'água ocasiona o ricochetear da membrana elástica que envolve a gota, em sentido contrário logo após sua queda, sugerindo a presença de uma força elástica impulsiva.

A Figura 54 mostra o gráfico da amplitude versus tempo de evolução do movimento oscilatório. Estão também marcados os instantes de queda das gotas de parafina, dos lados direito e esquerdo da vela. As bolinhas vermelhas e azuis representam a queda das gotas sendo que as azuis representam as gotas que caem do lado direito e as vermelhas, representam as gotas que caem do lado esquerdo.

**Figura 54 - Gráfico das quedas das gotas de parafina, dos lados direito e esquerdo da vela**



A duração desta sequência didática foi de 3 horas-aulas, cujas discussões geradas foram extremamente proveitosas, do ponto de vista dessa professora, pois os alunos utilizaram os conhecimentos prévios em torno de oscilações, de aulas anteriores, relativas ao pêndulo simples, para fazerem as correlações necessárias e observarem as semelhanças e diferenças entre os movimentos – pendular, da vela apagada e da vela acesa.

#### 4.2 Sequência didática – Termodinâmica

Na sequência didática referente ao ensino da termodinâmica, utilizou-se a investigação, com a pretensão de que o conteúdo fosse assimilado pelos estudantes de forma duradoura. Para o conjunto de aulas apresentadas a seguir, tivemos como objetivos propostos:

- Compreender as transformações de energia;
- Compreender o calor como energia;
- Diferenciar calor e temperatura;
- A 1ª Lei da Termodinâmica e a conservação da energia.

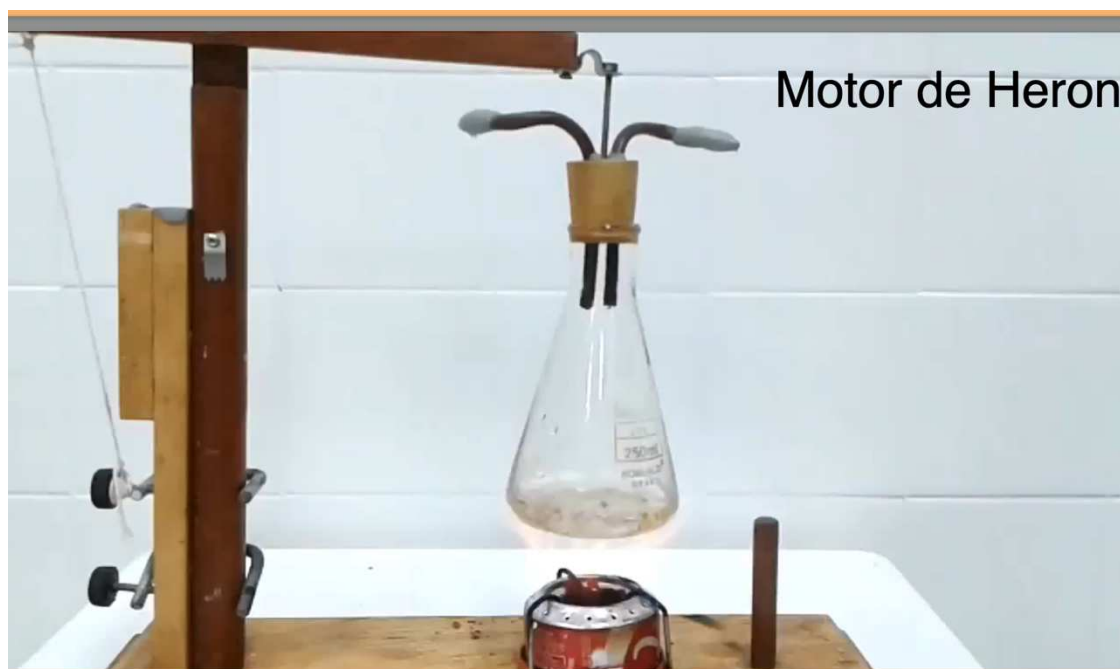
Para tanto, alguns conhecimentos prévios eram esperados dos estudantes, são eles: o conceito de energia potencial e energia cinética; o entendimento de trabalho enquanto energia em transformação; estrutura atômica da matéria; modelo cinético dos gases; temperatura e conceito de energia interna.

Inicialmente discutimos com os alunos o escopo da termodinâmica, para em seguida exibir os vídeos dos experimentos denominados: motor de Heron e motor de elástico.

#### 4.2.1 Motor de Heron

Aos estudantes foi apresentado o vídeo, cujo recorte segue na Figura 55, para que eles pudessem analisar o que ocorre e refletissem sobre questões sobre qual parte do experimento era o sistema, vizinhança e fronteira.

Figura 55 - Experimento: Motor de Heron



Fonte: a autora

Na etapa da organização das ideias, que ocorreu após reflexão e discussão do experimento, esta professora interviu com o contexto histórico de tal experimento e com algumas conclusões, das quais os alunos conseguiram obter por meio da observação do aparato experimental. As Figuras 56, 57 e 68, mostram recortes dos slides apresentados aos estudantes.

Figura 56 - Recorte de slide: organizando as ideias

## Organizando as ideias!

- ✓ É uma máquina a vapor, construída por Heron de Alexandria no século I d.C. com o objetivo de divertir as pessoas;
- ✓ Primeira máquina térmica utilizada para produzir trabalho;
- ✓ Composta de um recipiente fechado, exceto por duas saídas posicionadas de tal forma que permitem a saída do vapor do líquido, quando este está em ebulição;
- ✓ A pressão do vapor gera uma força no braço do recipiente, fazendo com que este rotacione.



Fonte: a autora

Figura 57 - Sequência da organização de ideias

A água recebe energia térmica (calor) proveniente da fonte de calor e se transforma em vapor. O vapor, ao ser expelido para fora da máquina, ocasiona o movimento. A energia térmica é transferida em razão unicamente da diferença de temperatura entre a chama (vizinhança) e a água dentro do recipiente (sistema).

## Motor de Heron



Fonte: a autora

Figura 58 - Recorte de slide: organizando as ideias

## Organizando as ideias!

O **princípio de conservação da energia** conduz a hipótese de que ocorre transferência de energia por meios diversos da realização de trabalho mecânico.

Esta energia é denominada de **calor (Q)**, só é transferida em razão da diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança. No motor de Heron esta transferência se dá entre a chama e o vapor dentro do recipiente.

**Calor é a troca não-mecânica de energia, entre o sistema e a vizinhança, devido à diferença de temperatura.**

Fonte: a autora

Nesta etapa da sequência é importante sempre frisar a definição de calor, tratar do princípio da conservação da energia, o que irá direcionar a primeira lei da termodinâmica, conforme mostrado na figura 59.

Figura 59 - Slide com a definição da 1ª lei da termodinâmica apresentada aos estudantes

## Primeira lei da termodinâmica

A Primeira Lei da Termodinâmica descreve o **calor** como uma outra forma de **energia**, tal qual a **energia cinética** ou **energia potencial**, e amplia o **princípio da conservação da energia** para incluí-la.

Fonte: a autora

A Figura 60 trata de um compilado de informações sobre assuntos discutidos anteriormente que dizem respeito a sistema e vizinhança.

Figura 60 - Slide com referência ao calor

## Calor ( $Q$ )

A energia transferida, que só ocorre em razão da diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança, é denominada de calor ( $Q$ ).

Um sistema termodinâmico é a porção do universo, separada por uma fronteira do restante do universo.

Aquilo que existe que está fora do sistema, externo à fronteira, mas que pode exercer influência sobre o sistema.

Fonte: a autora

Após explanação sobre calor, definindo novamente alguns dos termos termodinâmicos, segue-se o slide da Figura 61, que expressa a 1ª lei da termodinâmica.

Figura 61 - Expressão da 1ª lei da termodinâmica

## 1ª lei da termodinâmica

$$Q = t + \Delta U$$

Essa expressão, aplicação direta do princípio da conservação da energia

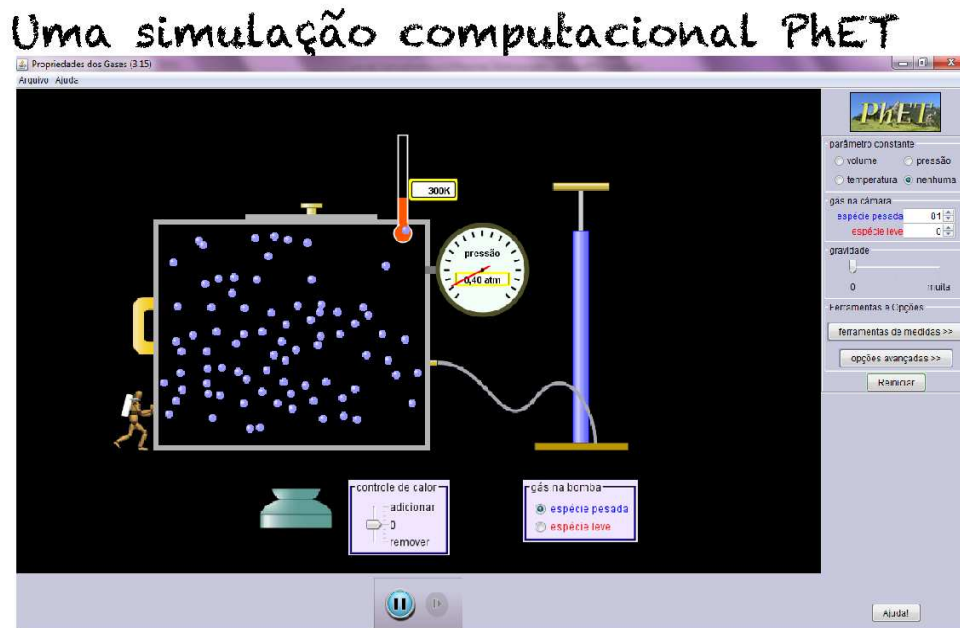


O trabalho é positivo ( $t > 0$ ) quando é realizado pelo sistema e negativo ( $t < 0$ ) quando é realizado sobre o sistema.

Fonte: a autora

Por fim, utilizamos uma simulação disponível de forma livre no Phet (Universidade Colorado), para que os alunos pudessem manipular as variáveis presentes, a fim de observarem algumas características interessantes acerca do tema em estudo, conforme mostra a figura 62.

Figura 62 - Simulação Phet



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_pt_BR.html)

#### 4.2.2 Motor de elástico

De modo similar ao motor de Heron, apresentamos o vídeo com o experimento do motor de elástico e em seguida, seguimos pelo mesmo caminho da abordagem anterior. Na Figura 63 temos uma imagem do motor de elástico.

Figura 63 - Recorte do slide referente ao motor de elástico



Fonte: [https://www.youtube.com/watch?v=IC3Z7xvCY\\_U&t=1s](https://www.youtube.com/watch?v=IC3Z7xvCY_U&t=1s)

Já na Figura 64 pode ser visto o slide da aula na qual suscitamos um momento para organizar as ideias, na sequência de Delizoicov e Angotti.

Figura 64 - Recortes de slides

Vamos pensar um pouco!

Que parte do motor de elástico identificamos como o sistema?

Qual é a fronteira? Qual é a vizinhança?

A energia cinética que parte do sistema adquire resulta de trabalho mecânico?

Fonte: a autora

O slide seguinte, Figura 65, discutimos os conceitos de *sistema*, *fronteira* e *vizinhança*, aplicados ao motor de elástico. Os estudantes, devido a aulas anteriores, conseguiram determinar de forma satisfatória quais partes do experimento eram associados a cada um dos termos.

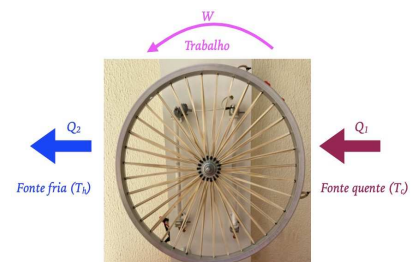
Figura 65 - Slide apresentado aos alunos

Na ausência de iluminação, a força peso e a força normal, exercida pelo eixo de rotação, se compensam. Quando a lâmpada (vizinhança) emite radiação, aquece os elásticos de borracha da roda (sistema). Ao se aquecerem, os elásticos se contraem, deslocando o ponto de aplicação da força peso para fora do eixo geométrico da roda, definindo um braço de aplicação não nulo para a força peso.

Então a roda gira e os elásticos quentes, ao alcançarem o outro lado da roda perdem calor para a atmosfera, que se constitui no reservatório frio. Os elásticos de borracha no lado frio perdem calor para o reservatório frio, e se dilatam, enquanto os elásticos do lado quente, recebem calor do reservatório quente, e se contraem, mantendo assim a máquina em movimento contínuo.

Calor é a troca não-mecânica de energia, entre o sistema e a vizinhança, devido à diferença de temperatura.

## Motor de elástico

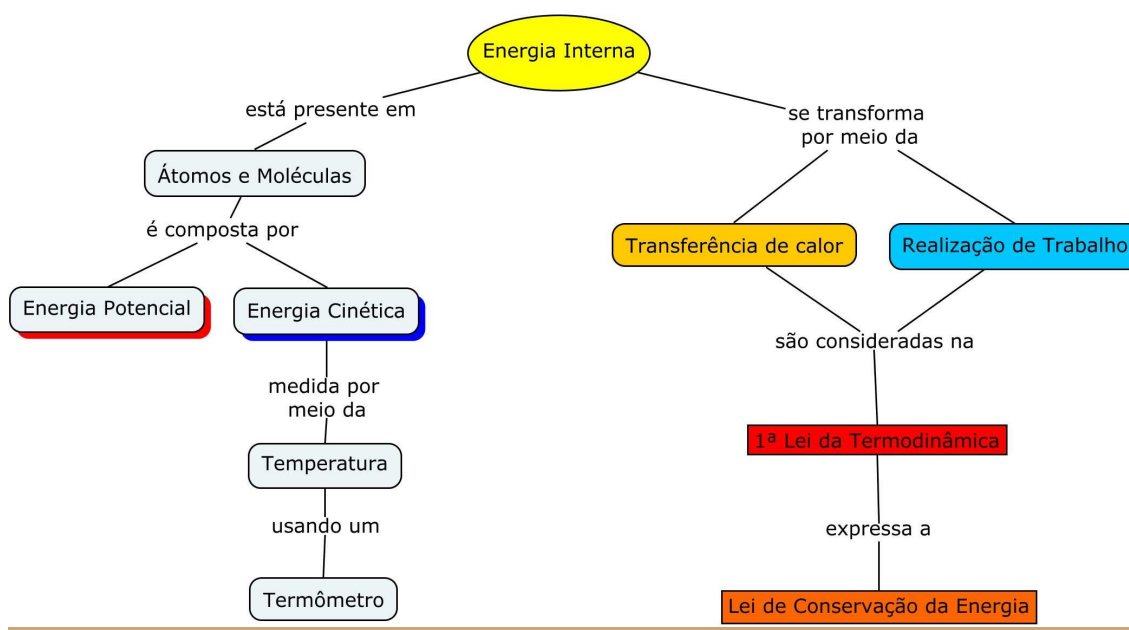


Fonte: a autora

Por fim, apresentamos aos alunos um mapa conceitual para que alguns conceitos, relacionados ao conteúdo de termodinâmica fossem associados de modo a facilitar a aprendizagem, Figura 66.

Mapas conceituais e diagramas Vê aparecem como possíveis estratégias facilitadoras da aprendizagem significativa, assim como possíveis instrumentos de avaliação dessa aprendizagem. (MOREIRA, 2022).

**Figura 66 - Mapa conceitual**



Fonte: a autora

Para esta sequência didática, foram utilizadas 3 horas/aula, e no decorrer do bimestre, esta professora percebeu que os conceitos trabalhados foram assimilados de forma satisfatória pelos estudantes do 2º ano do ensino médio.

## **CAPÍTULO 5**

### **RELATO E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são apresentados relatos das experiências profissionais da autora, enquanto docente, utilizando as sequências didáticas discutidas no capítulo anterior. Primeiramente, apresenta-se as observações da docente com respeito às aulas do conteúdo “Oscilações” e em um segundo momento sobre o conteúdo “Primeira lei da Termodinâmica”.

As aulas do conteúdo “Oscilações”, ministradas para as turmas de 1º ano do Ensino Médio, foram oferecidas durante o ano de 2021, exclusivamente em modo remoto, enquanto as aulas o conteúdo “Primeira lei da Termodinâmica”, foram ministradas para as turmas de 2º ano do ensino médio nos anos de 2021, em modo remoto, e 2022, em modo presencial.

A aplicação para as turmas de 1º ano do ensino médio foi oportunizada por outra docente, regente das turmas, que não eram a docente autora. As aulas, ministradas em modo remoto pela docente autora, foram acompanhadas pela professora regente das turmas e pela professora de Apoio à Comunicação, Linguagem e Tecnologias Assistivas. Esta última apoiava o processo pedagógico de escolarização de três estudantes com necessidades educacionais especiais e é uma profissional graduada no curso Normal Superior, licenciada e pós graduada em Educação Especial. Já a aplicação nas turmas de 2º ano do ensino médio foi efetuada pela professora autora que também era regente das turmas.

As diferenças no modo de aplicação das sequências didáticas para as turmas de 1º e de 2º ano do ensino médio ensejaram também diferenças no modo de avaliação dos resultados. Nas turmas de 1º ano os resultados da aplicação foram inferidos a partir da observação participativa das professoras, autora e de Apoio à Comunicação, Linguagem e Tecnologias Assistivas. Nas turmas de 2º ano a avaliação dos resultados se deu não somente pela observação participativa da professora autora, mas também pelos resultados de avaliações diagnósticas e formativas, efetuadas por meio de formulário eletrônico preenchido pelos estudantes, aplicados em diferentes estágios da instrução.

A avaliação diagnóstica foi realizada antes da aplicação da sequência didática e objetivou diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos. Ou seja, determinar, dentre os subsunçores relevantes aqueles que estão disponíveis na estrutura

cognitiva do estudante, previamente identificados pela autora ao elencar e organizar os conteúdos de ensino. Segundo Ausubel, “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo” (MOREIRA, 2022).

Duas outras avaliações foram aplicadas, uma imediatamente após a aplicação da sequência didática e outra, aplicada duas semanas após a aplicação da sequência didática. A primeira, avaliação de caráter formativo, objetivou verificar se os conteúdos abordados e ensinados estavam sendo aprendidos durante todo o processo e envolveu as mesmas questões apresentadas na avaliação diagnóstica. As evidências assim coletadas foram usadas para adaptar o modo de ensino às necessidades de aprendizagem. A última avaliação foi aplicada com vistas a verificar se a aprendizagem havia sido eficaz, se os novos conteúdos se ancoraram na estrutura cognitiva do aluno, e envolveu as questões aplicadas nas avaliações anteriores e mais uma questão extra. O conteúdo desta questão extra abarca de forma ampla os temas estudados e foi especificamente pensada para avaliar se ocorreu aprendizagem significativa.

Uma auto-avaliação se deu por meio de reflexão da professora regente/autora. O conjunto de avaliações conduziram a ajuste/reajuste das aulas para que as mesmas fluíssem de forma a proporcionar ao aluno uma melhor interação com conteúdo ministrado afim de tentar prover a aprendizagem eficaz.

Algumas turmas eram mais participativas e receptivas que outras. Uma turma em específico, contribuiu ricamente com as aulas referentes a Termodinâmica, expondo alguns pontos que tratavam de algumas de suas crenças e vivências. Este fato em muito acrescentou no transcorrer das aulas, e por diversas vezes os alunos pontuaram situações de seu cotidiano nas quais, até então, não percebiam a presença da física em suas vidas.

Para ambos conteúdos, oscilações e termodinâmica, tentamos intencionalmente reproduzir o ciclo de Kolb (p. 13), fomentando a experiência concreta, a observação reflexiva, a conceitualização abstrata e a experimentação ativa. Procuramos aplicar os pressupostos da abordagem do ensino por investigação segundo a metodologia de Delizoicov e Angotti.

## 5.1 Oscilações

Reiteramos que as aulas sobre oscilações ocorreram em modo remoto, ofertadas para turmas de 1º ano do Ensino Médio, tendo a professora autora como regente convidada para ministrar o tópico específico. A presença dos alunos esteve em torno de 13%, tendo ocorrido alternância de alunos durante as aulas ministradas neste componente curricular. As participações dos estudantes nas aulas foram inicialmente tímidas, mas no transcorrer das aulas o acanhamento foi superado e conseguiram acompanhar os experimentos do pêndulo simples e pêndulo físico (vela oscilante), tendo expressado curiosidade e feito questionamentos pertinentes.

Por meio da observação da autora, foi possível perceber que os estudantes ficaram entusiasmados pela forma como a aceleração da gravidade local pode ser determinada, utilizando-se apenas um fio de nylon e uma chumbada de pesca, posta a oscilar, e a aplicação das leis de Newton ao sistema oscilante. A utilização do software de análise de vídeo TRACKER facilitou a conceitualização do movimento oscilatório e de suas grandezas e também permitiu a análise quantitativa do experimento.

Pozo e Crespo (2009) declaram que os problemas quantitativos são úteis para o aprendizado das leis da natureza. No contexto do desenvolvimento teórico para explicação quantitativa do experimento do pêndulo simples, os alunos foram conduzidos a reconhecer as grandezas envolvidas no problema, a se ater a questão da conversão de unidades bem como da precisão das medidas, além de inferir valores para aceleração da gravidade a partir da expressão matemática obtida. Foi possível verificar que a exibição do experimento e sua análise quantitativa estimulou o interesse dos estudantes pela forma na qual a aceleração da gravidade local foi determinada. Percebeu-se também que alguns alunos mantinham uma expectativa, um desafio, se os cálculos que a professora estava conduzindo iriam levar a um resultado numérico satisfatório para a aceleração da gravidade.

Os problemas quantitativos (...) seriam aqueles nos quais o aluno deve manipular e trabalhar com informação quantitativa e dados numéricos para alcançar uma solução, mesmo que o resultado possa não ser quantitativo. Isso faz com que as estratégias de trabalho que o aluno precisa desenvolver estejam enfocadas fundamentalmente nos cálculos matemáticos, na utilização de fórmulas ou na comparação de dados. (Pozo e Crespo, 2009, p. 235).

Após a introdução dos conceitos e grandezas associadas aos movimentos oscilatórios utilizando como modelo o pêndulo simples, seguiu-se a conceituação do movimento oscilatório amortecido e ressonante, ambos utilizando como elemento problematizados o pêndulo físico constituído pela vela oscilante. Um impulso inicial, aplicado com a mão em uma das pontas da vela apagada a faz descrever um movimento amortecido que pôde ser analisado usando o TRACKER. Os alunos, ao observarem a redução da amplitude oscilação com o passar do tempo, não tiveram grandes dificuldades em entender o porquê desse fenômeno ocorrer, haja vista que já estavam habituados com esta situação em seu dia a dia, na observação de outros eventos similares, como o balançar de uma gangorra no parque de diversões. Foi possível observar que o conceito e sua denominação científica ficaram bem estabelecidos, sugerindo que os alunos alcançaram uma aprendizagem significativa.

Na conceituação da ressonância, no fenômeno exibido quando a vela tem os pavios de ambas extremidades acesos, os alunos não conseguiram identificar imediatamente o porquê da vela 'balançar' quando acesa. Ao longo da mediação, foram levados a prestar uma maior atenção ao experimento e se encantaram com a física envolvida em uma experiência simples e fácil de ser reproduzida, tanto na sala de aula quanto em suas casas. Estas observações refletem um dos princípios de Rogers, qual seja: "Os seres humanos são intrinsicamente curiosos, naturalmente buscam o conhecimento, e são ambivalentes pois desejam aprender, mas não desejam pagar o preço para tanto". Quando o interesse superou a expiação que antecede a aprendizagem, os alunos se envolveram com a aprendizagem. As observações podem ser interpretadas com base na zona de desenvolvimento iminente de Vygotsky, ou seja, passando a contar com o auxílio de um parceiro mais capaz, a zona de desenvolvimento real se ampliou e o aluno aprendeu.

Ao observarem os gráficos gerados pelo Tracker, software até então desconhecido para eles, verificaram a ocorrência do amortecimento ocorrido no pêndulo e ressonante na vela acesa, coincidindo com as observações visuais de ambos os experimentos e uma melhoria que nos ocorreu foi usar a vela apagada operando como pêndulo amortecido. Como apontado no capítulo anterior, o software em questão, possibilita a análise de vídeos por meio da inserção da gravação, gerando gráficos dos movimentos em tempo real.

Dentre as potencialidades deste programa, destacam-se a confecção rápida de gráficos a partir de dados obtidos nos vídeos e o ajuste de curvas para os fenômenos físicos em estudo. (UFRGS, 2009).

Com base nessas análises, a introdução dos conceitos físicos envolvidos nos experimentos permitiu uma melhor receptividade por parte dos alunos e a aprendizagem se deu por meio da compreensão da atividade científica com conhecimentos teóricos e práticos (SPRONKEN- SMITHA, R. et. al. 2012).

Destacamos a participação da professora de apoio, que por acompanhar todas as aulas juntamente com os alunos com necessidades educacionais especiais, reportou a professora autora, o impacto positivo que as aulas no modelo ministrado tiveram sobre a turma na qual fazia parte. O encantamento da turma, e dela própria, na observação dos experimentos, bem como a clareza na exposição dos dados/conceitos abordados mostraram-se acessíveis e facilitadores do processo de ensino e aprendizagem.

## **5.2 Primeira lei da Termodinâmica**

Quanto ao segundo momento, as aulas referentes a Primeira Lei da Termodinâmica ministradas para alunos do 2º ano do Ensino Médio, onde esta professora autora era a regente, pode-se afirmar que as mesmas ocorreram de forma mais amena e fluida, haja vista a familiaridade dos alunos com a docente, o que contribuiu para que as participações no decorrer das aulas fossem mais espontâneas e recorrentes. O preestabelecimento, junto aos alunos, de um ambiente de autenticidade e confiança na pessoa do professor é entendido por Rogers como fator importante para a aprendizagem, na medida que o professor é percebido como um parceiro, não uma ameaça.

No estudo dos motores de Heron e de elástico, o visível interesse pelos temas motivou que parte dos estudantes construíssem seus próprios motores a fim apresentar na feira de ciências promovida pela Secretaria de Estado de Educação (SEE/MG), que ocorreu no fim de 2022, nas dependências da própria escola. Protótipos foram elaborados e apresentados para apreciação dos professores avaliadores, que eram compostos pelos docentes das áreas de linguagens e ciências humanas. Em momento anterior à data na qual a feira de ciências ocorreu, tais

professores foram instruídos sobre os protótipos e o que se esperava que cada grupo de alunos relatasse a respeito de quaisquer um deles.

O uso dos motores para a discussão das leis da termodinâmica foi importante no sentido de prover um maior entendimento a respeito de conceitos que por muitas vezes estão distantes da realidade dos alunos, aproximando-os do fazer científico e conduzindo-os a perceber que praticar ciência vai além da estrutura de um laboratório paramentado, visto que com materiais de fácil acesso, pode-se chegar à construção de experimentos que auxiliam as aulas de modo excepcional.

A interação proporcionada pela prática experimental auxiliou a dinâmica das aulas, fazendo-as se tornarem mais atrativas, relevantes e próximas dos alunos, uma vez que o conhecimento adquirido foi aparentemente consolidado em suas redes cognitivas. Isto é dito com certa segurança, pois as turmas foram incentivadas e questionadas durante todo o processo de apresentação do conteúdo e também posteriormente, a fim de verificarmos se a aprendizagem foi efetiva ou temporária.

Esta interação, que ocasionou aparente consolidação da aprendizagem por parte dos alunos, relaciona-se diretamente com a teoria de Vygotsky, ao compreendermos que o aluno saiu de um estágio inicial e foi estimulado até um estágio posterior do qual ele se encontrava, desencadeando assim um maior desenvolvimento de sua capacidade de aprender.

Ressaltamos que os alunos das turmas citadas, quando do ingresso ao 3º ano do ensino médio (2023), ao serem interpelados, sobre alguns temas de termodinâmica, em especial sobre os motores de Heron e de elástico, bem como os conceitos de vizinhança, fronteira e sistema, ainda se recordavam das aulas e buscando relacionar o conteúdo aos experimentos apresentados a época, arrolaram assertivamente.

Este conjunto de observações relacionadas às nossas aulas, mesclando atividades experimentais e elaboração teórica revelam aquilo que Kolb (2015) apontou: a aprendizagem pode ser entendida como “o processo pelo qual o conhecimento é criado através da transformação da experiência”.

### 5.3 Avaliação diagnóstica e formativa

Segue abaixo a relação das 10 questões, abordando o conteúdo de Termodinâmica, discutidas em sala de aula e posteriormente respondidas por meio de formulário eletrônico (Google Forms):

- 1) É correto afirmar que, para um meio material, a energia interna representa: (a)  
A soma das energias cinética e potencial das moléculas,  
(b) a soma das energias elástica e gravitacional das moléculas ou  
(c) a soma das energias elétrica e magnética das moléculas.

Na avaliação diagnóstica, os estudantes, em sua maioria, responderam espontaneamente que a alternativa (a) seria a correta. Na 1ª avaliação formativa, respondida após a aula, a maioria ainda afirmava que a alternativa (a) seria a correta. Alunos que responderam a alternativa (b) como correta, quando questionados, relataram que relacionaram “energia elástica” com motor de elástico. Este resultado para a alternativa (b) pode estar revelando a não-aprendizagem, ou, que esta pergunta, dentro do contexto da aula, poderia ensejar uma vinculação indesejada.

Os alunos que afirmaram ser a letra (c) a alternativa correta, declararam acreditar que o uso da lâmpada (presente como fonte de calor no motor de elástico) faria a energia elétrica estar envolvida diretamente no funcionamento dos motores.

Na 2ª avaliação formativa, respondida duas semanas após à aplicação desta sequência, foi maior o quantitativo de alunos que concluíram corretamente, indicando que para um meio material a energia interna representa a soma das energias cinética e potencial das moléculas. Ocorreu redução, comparada à 1ª avaliação formativa, no número de alunos que responderam (b) e (c) como corretas, revelando que muitos compreenderam os conceitos de energia cinética e energia potencial aplicadas nas situações trabalhadas, justificando assim o aumento de respondentes que optaram pela alternativa (a).

Estes resultados sugerem que a aprendizagem parece ter ocorrido por meio da conexão de um conhecimento novo com aquele que o aluno já possui.

- 2) Na linguagem matemática, a 1ª lei da Termodinâmica é expressa pela relação ( $Q = \tau + \Delta U$ ). Qual o significado das grandezas envolvidas?

Na avaliação diagnóstica os alunos não compreenderam a linguagem matemática utilizada.

As respostas à 1ª avaliação formativa sugerem que os estudantes compreenderam o significado dos símbolos matemáticos que representam as grandezas envolvidas e que se tratava de uma ampliação do princípio da conservação de energia. Já as respostas à 2ª avaliação formativa revelaram que os alunos conseguiam definir cada uma das grandezas envolvidas, sendo  $Q$ , quantidade de calor,  $\tau$ , trabalho e  $\Delta U$ , variação da energia interna.

As dificuldades dos alunos ocorreram especialmente com relação a linguagem matemática; e não em torno da compreensão da relação entre as grandezas envolvidas. Os alunos mostraram-se arraigados à simbologia, especialmente ao uso da letra grega delta maiúscula ( $\Delta$ ), a qual atribuíam o mesmo sentido daquele usado na solução da equação de segundo grau, conhecida como fórmula de Bháskara.

No quesito da resolução de problemas quantitativos, neste ponto recorremos novamente a Pozo e Crespo. Os autores afirmam que,

“(...) o problema matemático mascara o problema de física. A excessiva importância que geralmente se concede à solução numérica faz com que, muitas vezes, tanto o professor quanto o aluno se conformem com que este último aprenda uma ‘técnica’, limitando-se a identificar o tipo de problema e estabelecer a correspondência com um determinado algoritmo de resolução que o leve a solução correta. (...) apesar de útil, se for utilizado como único elemento de aprendizagem pode ser um obstáculo para alcançar objetivos mais amplos; pode impedir, pelo menos em parte, que o aluno desenvolva hábitos e destrezas necessários para a solução de verdadeiros problemas”. (POZO e CRESPO, 2009, p. 236).

Logo, nos preocupamos em orientar os alunos qualitativamente com relação às grandezas envolvidas nesta questão e não focamos exclusivamente na resolução matemática e com isso observamos que eles conseguiram assimilar de forma satisfatória o significado dos conceitos envolvidos.

2) Pode-se afirmar que a 1ª lei da Termodinâmica expressa:

- (a) o princípio da conservação da energia,
- (b) o princípio de conservação da quantidade de movimento ou
- (c) o princípio de conservação da massa.

A análise que fizemos das respostas às três avaliações, avaliação diagnóstica e 1ª e 2ª avaliação formativa, sugere que a maioria dos alunos compreenderam corretamente que a 1ª lei da termodinâmica expressa o princípio da conservação da energia. Vale ressaltar que aqueles estudantes que responderam a alternativa (b)

como sendo a correta, atribuíram ao movimento do motor a conservação da quantidade de movimento. Um número pequeno de alunos que indicaram a alternativa (c), referindo-se a perda de massa, não se ativeram a que no motor de Heron o vapor d'água que sai pelas cânulas, era a massa de água que entrou em ebulição, acarretando a perda de massa do sistema e a mesma não estaria se conservando.

2) a) Lembrando que trabalho é energia em trânsito, em conversão, o que é possível dizer com respeito ao calor?

As respostas às três avaliações, avaliação diagnóstica e 1ª e 2ª avaliação formativa, mostraram que a maioria dos alunos compreenderam que trabalho e calor são formas de energia em trânsito. Observamos, contudo, que algumas das respostas dadas por uma parcela dos estudantes eram elaboradas e com um vocabulário no qual eles não estavam habituados, supomos que possivelmente buscaram a explicação de tais conhecimentos na internet.

Salientamos, que em bimestre anterior ao de aplicação da sequência didática, os alunos já haviam estudado a diferença entre temperatura e calor, o que se revelou um fator favorável e talvez justifique o porquê desta questão ter sido respondida de forma precisa por grande parte dos alunos.

3) Considerando a água e seu vapor como a substância de trabalho no motor de Heron, é correto afirmar que o motor é um sistema:

- (a) fechado,
- (b) aberto ou
- (c) isolado.

Neste ponto, a aprendizagem parece não ter ocorrido como esperávamos, a avaliação diagnóstica mostrou que a maioria dos alunos consideravam o motor de Heron como um sistema fechado, já os resultados da 1ª avaliação formativa, revelaram que a maioria o considerou como um sistema isolado e os resultados da 2ª avaliação formativa mostram que os alunos consideraram como um sistema fechado. Concluímos que, talvez, os alunos não visualizaram com clareza que a água dentro do motor saindo em forma vapor d'água, resultava em perda de massa e energia do sistema.

4) Qual é a fronteira do sistema? E a vizinhança? Identifique as partes do sistema.

A avaliação diagnóstica mostrou que os alunos não souberam responder ou responderam arbitrariamente. A 1ª avaliação formativa revelou que os alunos identificaram que a fronteira era o Erlenmeyer, a vizinhança era a chama proveniente do fogareiro e o sistema, a água. A 2ª avaliação formativa mostrou a maioria dos alunos chegou às mesmas conclusões da 1ª avaliação formativa. Observamos que eles relacionaram fronteira, vizinhança e sistema como os elementos visíveis nos experimentos apresentados, excluindo a atmosfera como parte da vizinhança e todo o conjunto experimental como constituintes do sistema.

5) Após aproximar a lamparina acesa do motor de Heron, que fato revela a presença de energia cinética?

Na avaliação diagnóstica, os alunos disseram não saber responder a este questionamento. Já para a 1ª avaliação formativa a maioria dos alunos respondeu que a presença da energia cinética ficava evidente pelo *fato de o vidro começar a girar* ou ainda pelo *movimento do vidro*.

Na 2ª avaliação formativa, quando novamente questionados, mantiveram respostas similares às da fase anterior, sejam elas “*o vidro rodando*”, “*quando o sistema começa a rodar*” e “*quando o vidro gira*”. Reproduzimos aqui a linguagem utilizada por eles.

6) Considerando que o motor de Heron que está inicialmente em repouso ganha energia cinética, qual parte do sistema realizou trabalho?

Na avaliação diagnóstica, os estudantes não souberam responder a esta questão. Na 1ª avaliação formativa muitos responderam que o fogo era o elemento responsável pela realização de trabalho e na 2ª avaliação formativa, a maioria respondeu que a água era quem realizava o trabalho.

Embasados na fala dos estudantes, acreditamos que eles não diferenciavam a água do vapor, analisaram o conjunto como um todo, ressaltando em uma de suas afirmações que a “*água ferveu e saía nos tubinhos*”, referindo-se às cânulas de cobre.

As questões de número 7 e 8, tratam dos aspectos qualitativos do ensino da Primeira Lei da Termodinâmica e com relação a elas esperávamos que os alunos, por meio da observação, utilizassem seus conhecimentos prévios a fim de ancorar os novos, de modo a facilitar o processo de ensino e aprendizagem.

Problemas qualitativos (são) aqueles que o aluno pode resolver a partir de seus conhecimentos, por meio de raciocínios teóricos, sem a

necessidade de recorrer a cálculos numéricos ou manipulações experimentais. (POZO e CRESPO, 2009, p. 232/233).

Uma parte significativa das indagações que elaboramos está centrada nos aspectos qualitativos, objetivando a discussão dos fenômenos observados no decorrer da experimentação.

7) Em que parte do sistema a energia interna se manifesta de forma visível?

Antes da aplicação da sequência didática, na avaliação diagnóstica, os estudantes não souberam responder a esta questão. Nas duas avaliações formativas responderam que a energia interna se manifestava de forma visível por meio da ebulição da água.

8) Considerando aquilo que ocorre com o motor de Heron, após ser exposto à chama do fogareiro, identifique as trocas de energia e como estas se transformam.

Esta questão só foi incluída na 2ª avaliação formativa, face a sua complexidade e por que aguardávamos que os alunos refletissem um pouco mais diante dos conceitos apresentados. Alguns estudantes não conseguiram elaborar uma resposta sucinta com relação a esta questão, mas afirmaram que o sistema recebeu energia térmica proveniente da chama, e a mesma transformou-se em cinética.

A nível de exemplo, algumas das respostas dadas pelos alunos estão citadas abaixo (transcrição feita de acordo com o que foi dito por eles):

- *O fogo faz com que a água aqueça e que faz girar;*
- *(O sistema) absorve calor de uma fonte e convertem-no parcialmente em energia mecânica;*
- *O fogo começa a passar seu calor para o vidro, a água começa tipo ferver, aí o (motor) Heron começa a girar.*

De acordo com Vygotsky, a educação está centrada na capacidade de aprendizagem por meio de estímulos oriundos da interação sociocultural que ocorre de modo contínuo, onde o indivíduo parte de um ponto de desenvolvimento atual e atinge seu desenvolvimento máximo. A partir disso testemunhamos o desenvolvimento dos alunos, desde o início da sequência didática e os auxiliamos no desenvolvimento de um conhecimento mais amplo. Tentamos fazer com que a aprendizagem se tornasse mais significativa, utilizando de uma linguagem acessível e clara, tanto no decorrer das aulas quanto na aplicação do questionário. Dessa forma, eles conseguiram ao longo das aulas ancorar um novo conhecimento em um pré-existente, o que os manteve motivados para aprender, em conformidade com Ausubel.

As impressões relacionadas acima, dizem respeito a aplicação da sequência didática no ano de 2022. E como dito anteriormente, as turmas nas quais a professora autora aplicou este questionário no referido ano e manteve-se como regente de aulas no ano de 2023, foram novamente questionadas acerca das questões citadas acima e atentamos aos seguintes pontos:

→ Com relação aos itens 1 ao 10, excetuando-se o item 8, a maioria dos estudantes respondeu de acordo com os preceitos científicos, sugerindo que a aprendizagem foi eficaz. No referido item, não obtivemos o mesmo êxito em nossas observações, pois a maioria dos alunos afirmou que a substância de trabalho era “o fogo”. Com base nessa afirmativa, ponderamos que para eles, ao observarem o movimento da chama, era ela quem realizava o trabalho, sendo, portanto, a substância de trabalho.

→ Apesar de termos tido um cuidado com o uso de uma linguagem acessível e clara, as questões de número 5, 7 e 8 revelaram-se difíceis ao entendimento dos alunos, seja pelo uso de termos específicos ou pelo próprio aspecto de interpretar corretamente o que lhes é apresentado. No tocante à questão 5, a dificuldade deu-se no entendimento dos termos referentes a sistema aberto, fechado ou isolado. A questão 7, ao tratar da energia cinética, gerou dúvidas antes e durante a aplicação da sequência, em virtude de ser um termo “desconhecido” para os estudantes, até então. Apesar de na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) constar que no 1º ano do ensino médio o conteúdo relacionado a *matéria* e *energia* deveria ser ministrado, e ressaltamos que foi, lembramos que no ano de 2021 as aulas ocorreram de modo remoto, devido a pandemia de Covid-19, ocasionando uma defasagem (inclusive temporal) na aprendizagem dos alunos, pois a grande maioria não tinha acesso a equipamentos como celular/computador com internet para assistir e participar das aulas, restringindo-se apenas ao uso das apostilas disponibilizadas pela Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais (SEE/MG). Dessa forma, foi feita uma breve revisão, visando deixar claro para os estudantes as diversas formas de energia e como cada uma delas se relacionava com os fenômenos físicos. O que nos auxiliou a obter um resultado positivo com relação às questões de número 8, que remete novamente a questão da energia cinética e a de número 9, que se refere a energia interna.

Portanto, sentimo-nos confortáveis em dizer que a aprendizagem por meio da experimentação ocorreu de forma efetiva ao despertar o interesse dos alunos como já diziam John Dewey e David Kolb, referenciados no capítulo 2.

John Dewey, foi precursor de Kolb e defensor de uma aprendizagem experiencial, ativa, contextualizada e reflexiva, e tendo isso em vista nos respaldamos em sua teoria da aprendizagem, para tratar da experimentação em nossas aulas voltadas para o ensino de “Ondulatória” e “Primeira Lei da termodinâmica”. A contextualização com o cotidiano dos alunos facilitou o processo de aprendizagem, propiciando uma reflexão que foi mediada por nós, a fim de auxiliar na interiorização do conhecimento.

“A verdadeira experiência educativa envolve, acima de tudo, continuidade e interação entre quem aprende e o que é aprendido”.  
(HALL-QUEST, A. L. Nota do editor da série Kappa Delta Pi, Experiência e Educação, 1979).

A abordagem pedagógica de Kolb, reforça a de Dewey e vem enfatizar a importância da experiência pessoal durante o processo de aprendizagem. E, ainda que cada aluno aprenda de uma forma diferente, em um tempo diferente, a aprendizagem irá ocorrer e isso tornou-se claro ao analisarmos as falas dos estudantes no período de aplicação das aulas. Alguns estudantes precisavam de mais tempo para consolidar o conhecimento, comparativamente a outros colegas de classe, de modo “que cada aluno tem sua ZDI” (GASPAR, 2014).

(...) para que haja aprendizagem é importante que o professor conduza sua prática pedagógica no sentido de poder ser imitado.  
(GASPAR, 2014, p. 189).

Tentamos, com isso, criar uma experiência de aprendizagem focada na participação e envolvimento dos estudantes durante todo o processo, que ocorreu de modo cíclico, de acordo com os quatro estágios de desenvolvimento de Kolb:

- Experiência concreta (apresentação dos experimentos);
- Observação reflexiva (reflexão sobre os experimentos e sua compreensão);
- Conceitualização abstrata (análise e síntese das informações) e
- Experimentação ativa (testar e colocar em prática os conceitos desenvolvidos, como ocorreu com a experiência do pêndulo simples).

A experimentação foi uma etapa da problematização relacionada à pequena pesquisa, que

(...) se propõe a aproximar o aluno, de um jeito mais simples, daquilo que a pesquisa científica representa, utilizando-se para isso a observação e a formulação de hipóteses. (POZO e CRESPO, 2009, p. 232/233).

Ao apresentarmos os pêndulos simples e físico, os motores de Heron e de elástico, os alunos sentiram-se mais próximos do fazer científico e por meio da observação dos experimentos conseguiram chegar a determinadas conclusões que os auxiliaram durante as etapas subsequentes. Logo, a observação de fenômenos e/ou experimentos estimula no estudante o desenvolvimento de sua capacidade de fazer perguntas, investigar e chegar a conclusões baseadas em evidências.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

Neste trabalho buscamos tratar da experimentação investigativa a fim de auxiliar o aluno no desenvolvimento de suas potencialidades máximas na aquisição de novos conhecimentos, buscando ancorar em algum conhecimento prévio; visando a interação com os meios social e cultural, para que o desenvolvimento de suas habilidades ocorressem mais plenamente quanto possível; envolver os alunos no processo de aprendizagem e não tratá-los como simples receptores de informações, tornando-os mais ativos e menos passivos.

Tentamos fazê-los refletir durante toda a sequência didática, valorizando suas ideias, sentimentos e crenças, fazendo intervenções sempre que se tornava necessário. A citação de Borges (2002, p.303),

qualquer ação pedagógica só tem valor se tiver origem no aprendiz e este tiver pleno controle das ações (...) As atividades experimentais investigativas consistem na exploração de fenômenos, por meio da participação ativa dos estudantes na construção de seu conhecimento. Retrata bem a forma como abordamos os temas de nossa sequência didática.

Na elaboração das aulas, nos inspiramos nas teorias da aprendizagem na elaboração das aulas, de modo a incentivar os alunos a apreciarem o processo de ensino e aprendizagem. Iniciamos a aplicação das sequências didáticas com a apresentação dos experimentos de pêndulo simples e pêndulo físico como itens introdutórios para o ensino de “Oscilações”. A partir dos experimentos citados, fizemos uma abordagem qualitativa dos conceitos observados em ambos e a partir de então, abordamos quantitativamente os dois experimentos, principalmente se tratando da verificação da aceleração da gravidade local, que fascinou os alunos por sua forma relativamente simples de ser demonstrada.

O experimento da vela oscilante revelou-se uma excelente ferramenta ao instigar os estudantes a observarem e tentar explicar o porquê da oscilação se iniciar após a queima da parafina nos pavios.

Em um segundo momento, fizemos um sobrevoo sobre as leis da termodinâmica com as turmas de 2º ano do Ensino Médio, nos atendo a aplicação dos conceitos físicos dentro da prática experimental. Os motores de Heron e de elástico nos auxiliaram nesse intento, por sua capacidade de encantar o espectador, e

aproveitando-nos disso os utilizamos para fazer uma reflexão qualitativa de ambos no ambiente escolar.

Por fim, tentamos mostrar que a experimentação nas escolas tende a auxiliar a prática docente, e que apesar de vários fatores que podem dificultar seu uso, como por exemplo, a ausência de um laboratório, podemos utilizar outros espaços para que ela possa ocorrer de forma eficiente e fornecer resultados bem interessantes.

Observamos que atingir os estudantes em sua totalidade, é uma árdua tarefa, a qual abraçamos durante o período de aplicação destas sequências didáticas e que em muito contribuiu para o crescimento profissional desta professora. Quanto aos alunos, acreditamos, em vista dos resultados obtidos, que a aprendizagem por este método de ensino trouxe resultados positivos e duradouros.

Um aspecto importante a ser apontado reside nas experiências de investigação a que a professora autora foi exposta durante a produção deste trabalho. A experiência do fazer pesquisa em Física ao tentar elucidar as causas do fenômeno de ressonância na vela oscilante, um fenômeno conhecido a décadas, cuja a explicação ainda não era plena, agregou uma experiência valiosa para uma professora que pretende ensinar utilizando a abordagem do ensino por investigação. Aquele que ensina a investigar deve ter passado pela experiência do investigar! Esta experiência foi de valia também no âmbito da pesquisa em ensino, tendo permitido perceber que fazer pesquisa em ensino exige procedimentos próprios, que se diferenciam da pesquisa em Física. Pude vivenciar o fazer científico plenamente, vivendo aquilo que Carl Rogers entende como “um dos meios mais eficazes para promover a aprendizagem consiste em colocar o aluno em confronto experiencial direto com problemas práticos e de pesquisa”.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMRANI, D.; PARADIS, P. Use of Computer-Based Data Acquisition to Teach Physics Laboratories: Case study-Simple Harmonic Motion. **Lat. Am. J. Phys. Educ.** v. 4, n. 3, 2010.

ARAÚJO, M.S.T.; ABIB, M.L.V.S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, 2003.

ARINS, A. W. Física 2: Fundamentos de Termodinâmica e Ondas. **Slideplayer**, 2018. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/12438696/>>. Acesso em: 04/03/2023.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicología educativa: um ponto de vista cognoscitivo**. 2ª ed, México: Editorial Trillas, 1998.

BACAS, P. **El Rincón de la Ciencia**. I.E.S. Ágora (Cáceres). Revista Ciencia y Educación. n°1 – julho/2014. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/cienciayeducacionweb/ciencia-y-educaci%C3%B3n/revista-ciencia-y-educaci%C3%B3n/untitled/n%C3%BAmero-1/el-rinc%C3%B3n-de-la-ciencia?authuser=0>>. Acesso em 14/12/2022.

BANCHI, H.; BELL, R. The many levels of inquiry. **Sci. Child**. v.46, p. 26–9. 2008.

BARISTELA, F., TEIXEIRA, A. C. **Programação de computadores e processos auxiliares da aprendizagem: o caso da escola de hackers**. ETD- Educação Temática Digital Campinas: SP v.20 n.3 p. 844-861 2018.

BARROS, V.P. Osciladores forçados: harmônico e paramétrico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 549-554, 2007.

BERG, C.A.R.; BERGENDAHL, V.C.B.; LUNDBERG, B.; TIBELL, L. Benefiting from an open-ended experiment? A comparison of attitudes to, and outcomes of, an expository versus an open-inquiry version of the same experimente. **International Journal of Science Education**, v.25, n.3, p.351-372. 2003.

CARVALHO, A.M.P. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.18, n.3, p.765–794. 2018.

CHI, M.T.H. Active-Constructive-Interactive: A Conceptual Framework for Differentiating Learning Activities. **Topics in Cognitive Science** v.1 p.73–105, 2009.

COTTA, A. **Oscilador Amortecido**. 5f. Notas de aula. Disponível em <[https://dfi.ufla.br/alexandrecotta/wp-content/uploads/NotaAula\\_05-OsciladorAmortecido.pdf](https://dfi.ufla.br/alexandrecotta/wp-content/uploads/NotaAula_05-OsciladorAmortecido.pdf)>. Acesso em: 02/03/2023.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A. **Metodologias do Ensino de Ciências**. 2 ed. São Paulo: Cortez Editora, 1994.

DEWEY, J. **Experiência e educação**. 3 Ed. São Paulo: Ed. Nacional, 1979.

FORÇA, A.F.; LABURÚ, C.E.; SILVA, O.H.M. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Teorias e Párticas. **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** (VIII ENPEC) realizado entre 5 e 9 de dezembro de 2011 na Universidade Estadual de Campinas.

GASPAR, A. **Atividades Experimentais no Ensino da Física – Uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v.I.

HAVLÍČEK, K. Experiments in Physics Education: What do Students Remember? **WDS'15 Proceedings of Contributed Papers — Physics**, 144–148, 2015.

HIGA, I.; OLIVEIRA, O.B. A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física: fundamentos epistemológicos e pedagógicos. **Educar em Revista**, n. 44, p. 75-92, 2012.

HOFSTEIN, A. **The Role of Laboratory in Science Teaching and Learning**. Science Education. Rotterdam: Sense Publishers, 2017.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V.N. The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. **Science Education**, 88, p.28-53, 2004.

KIRSCHNER, P.A.; SWELLER, J.; CLARK, R.E. Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. **Educational Psychologist**, v.41, n.2, p.75-86, 2006.

KOLB, D. A. **Experiential Learning Experience as the Source of Learning and Development**. New Jersey, USA: Pearson Education, Inc, 2015.

KOPONEN, I.T.; MÄNTYLÄ, T. Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction. **Science & Education** v.15, p.31–54, 2006.

MELO, D. O que é Python? [Guia para iniciantes]. **Tecnoblog**, 2023. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-python-guia-para-iniciantes/#:~:text=Python%C3%A9%20uma%20linguagem%20de,servidores%20e%20ci%C3%Aancia%20de%20dados>>. Acesso em: 04/03/2023.

MENDES, G.H.G.I. Irinéa de Lourdes BATISTA, I.L. Matematização e ensino de Física: uma discussão de noções docentes. **Revista Ciência e Educação**, v. 22, n. 3, p. 757-771, 2016.

MINAS GERAIS. **Resolução nº 666/2005, de 7 de abril de 2005. Estabelece os conteúdos básicos comuns a serem obrigatoriamente ensinados pelas unidades de ensino estaduais que oferecem as series finais do fundamental e o ensino médio**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado da Educação, 2005.

MOREIRA, M.A. **Teorias de Aprendizagem**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

MOREIRA, M.A.; MASSONI, N.T. **Interfaces entre teorias de aprendizagem e Ensino de Ciências/Física** [recurso eletrônico] Porto Alegre: UFRGS, 2015.

MULLER, J.G.; LOOK, G. W.; KONKEL, J. Thermodynamics of a simple rubber-band heat engine. **American Journal of Physics** v.43, p.349–353 (1975)

NAGLE, R. R. K.; SAFF, E.B.; SNIDER, A.D. **Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera**, 4a. ed. México: Pearson Educación de México, S.A. 2005. p.412.

NOVAK, J. D. **Aprender a Aprender**. Lisboa: Paralelo Editora Lda. 1995.

PARAPPILLY, M.B.; SIDDIQUI, S.; ZADNIK, M.G.; JOE SHAPTER, J.; SCHMIDT, L. An Inquiry-Based Approach to Laboratory Experiences: Investigating Students' Ways of Active Learning. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education**, v.21, nº5, p. 42-53, 2013.

PAULA, J. S. **Simulações computacionais de uma vela oscilante**. Orientador: Hallan Souza e Silva. 2022. 60p. Monografia – Física, Departamento de Física, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2022.

PEDASTE, M.; MÄEOTS, M.; SIIMAN, L.A.; Ton de JONG, T.; van RIESEN, S.A.N.; KAMP, E.T.; MANOLI, C.C.; ZACHARIA, Z.C. TSOURLIDAKI, E. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational Research Review** v.14, p.47–61, 2015.

PIZZOLATO, N.; FAZIO, C.; BATTAGLIA, O.R. Open inquiry-based learning experiences: a case study in the context of energy exchange by thermal radiation. **European Journal of Physics**, v. 35, (2014)

POZO, J.I. **Aprendizes e Mestres – A nova cultura da aprendizagem**. 5ª Edição, Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 2002, p.227.

POZO, J. I. CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRESTES, Z. R.; **Quando não é quase a mesma coisa. Análise de traduções de Lev Semionovitch Vigotski no Brasil. Repercussões no campo educacional**. Brasília: Faculdade de Educação UNB, 2010.

ROGERS, C. R. **Liberdade para aprender**. Belo Horizonte, MG: Interlivros de Minas Gerais, 1972.

ROGERS, C.R. **Tornar-se Pessoa**. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes. 2022.

SANTANA, R.S.; FRANZOLIN, F. O ensino de ciências por investigação e os desafios da implementação na práxis dos professores **REnCiMa**, v. 9, n.3, p. 218-237, 2018.

SASSERON, L.H. Ensino de Ciências por Investigação e o Desenvolvimento de Práticas: Uma Mirada para a Base Nacional Comum Curricular. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.18, n.3, p.1061–1085, 2018.

SEARS, F.W. SALINGER, G.L. **Termodinâmica, Teoria Cinética e Termodinâmica Estatística**. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1979.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. **Princípios de física: movimento ondulatório e termodinâmica**. V.2 São Paulo: Cengage Learning, 2004.

SILVA, C. B. C.; DORNELES, P. F. T.; HEIDEMANN, L. A. G. G. Um estudo sobre indícios de aprendizagem significativa em atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica no ensino médio. **Experiencias em Ensino de Ciências**. V.15, n.3. 2020.

SNĚTINOVÁ, M.; KÁCOVSKÝ, P.; MACHALICKÁ, J. Hands-On Experiments in the Interactive Physics Laboratory: Students' Intrinsic Motivation and Understanding. **C. E. P. S. Journal**, v.8, n.1, 2018.

SOUSA, C. R. C. Teorias Psicológicas de Piaget, Vygotsky e Ausubel: Análise de uma Prática Docente. **Revista Científica Multidisciplinar**. v. 02, pp. 121-129, 2018.

SPRONKEN-SMITHA, R.; WALKERA, R.; BATCHELORB, J.; O'STEENC, B.; ANGELOD, T. Evaluating student perceptions of learning processes and intended learning outcomes under inquiry approaches. **Assessment & Evaluation in Higher Education**. Vol. 37, n.1, p.57–72, 2012.

TEIXEIRA, A., WESTBROOK, R. B. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Ed. Massangana, 2010.

THEODORAKIS, S.; PARIDI, K. Oscillations of a candle burning at both ends. **American Association of Physics Teachers**, v. 77, n. 11, 2009.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros** - Vol. 1, 5a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

TJOSSEM, P. J. H.; CASE, W. B.; BASS, R. M. The candle seesaw. **American Journal of Physics**, v. 87, n. 5, 2019. Disponível em: <<https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.5096886>>. Acesso em: 12/05/2021.

WEE, L.K.; TAN, K.K.; LEONG, T.K.; TAN, C. Using Tracker to understand 'toss up' and free fall motion: a case study. **Physics Education**, v.50, n.4, p.436-442, 2015.

WELLINGTON, J. **Practical Work in School Science – Which way now?** New York: Taylor & Francis e-Library, 2003.

WYZYKOWSKI, T.; FRISON, M.D. A experimentação e a constituição da memória no Ensino de Ciências **Revista Tecné, Episteme y Didaxis**. Año 2018. Numero Extraordinário.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. - **Física II-Termodinâmica e Ondas**. 12ª Edição. São Paulo: Pearson, 2008.

ZARAGOZA, F. M. **Homenaje póstumo al Prof. Miguel Ángel Gómez. “Educación y Ciencia”**. Fundación Cultura de Paz. Revista Ciencia y Educación. nº1 – junho/2015 Disponível em: <<https://sites.google.com/site/cienciayeducacionweb/ciencia-y-educaci%C3%B3n/revista-ciencia-y-educaci%C3%B3n/n%C3%BAmero-2/homenaje-p%C3%B3stumo-al-prof-miguel-%C3%A1ngel-g%C3%B3mez-educaci%C3%B3n-y-ciencia?authuser=0>>. Acesso em: 14/12/2022.

ZÔMPERO, A.F.; LABURÚ, C.E. Atividades Investigativas no Ensino de Ciências, **Rev. Ensaio**. Belo Horizonte. v.13. n.03. p.67-80. 2011.

ZIMRING, F. **Carl Rogers**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2010.

\_\_\_\_\_. ANALISANDO imagens e vídeos com o computador. **Laboratório didático de física UFRGS**, 2009. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html>>. Acesso em: 04/03/2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

\_\_\_\_\_. O OSCILADOR harmônico amortecido. 4f. Notas de aula. Disponível em: <[http://lilith.fisica.ufmg.br/~wag/transf/FMECDIST/U15\\_A44\\_Oscilacoes\\_Amortecimento.pdf](http://lilith.fisica.ufmg.br/~wag/transf/FMECDIST/U15_A44_Oscilacoes_Amortecimento.pdf)>. Acesso em: 02/03/2023.

## APÊNDICE

### 1) PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS

No ano de 2021, submetemos um resumo para participação no Simpósio de Integração Acadêmica (SIA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que ocorreu entre os dias 05 a 07 de outubro do referido ano, trazendo como tema “*A transversalidade da Ciência, Tecnologia e Inovações para o Planeta*”. Segue resumo submetido e aceito. A forma de apresentação foi por meio de um vídeo que está disponível em: <https://emiliacgomes.wixsite.com/ensino-de-f-sica>.

#### **O ensino de oscilações por meio da aprendizagem baseada em investigação mediada pela linguagem multimídia**

**Emília do Carmo Elias Gomes Sobreira e Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho**

Universidade Federal de Viçosa - MG, Departamento de Física

Experimentos têm um papel central na investigação científica em Física e também no ensino/aprendizagem desta disciplina. Na aprendizagem baseada em investigação (Inquiry-based learning), a experimentação apresentada em sala de aula pode originar discussões capazes de conduzir à elaboração de modelos físicos e de suas representações conceituais, tornando efetiva a compreensão dos conceitos e da atividade científica. A literatura reporta que os problemas que mais instigam os alunos são aqueles com algum grau de dificuldade e que a coleta de dados baseado em computador é uma estratégia poderosa para o ensino e a aprendizagem da física. Relatamos aqui nossos primeiros resultados no desenvolvimento de sequências didáticas voltadas para o ensino das oscilações mecânicas, em nível de ensino médio e superior. Objetivando investigar a eficácia da apresentação concorrente de experimentos com diferentes graus de dificuldade, escolhemos dois problemas, quais sejam: o pêndulo simples e a vela oscilante. O primeiro é o menos instigante, mas oferece o desenvolvimento dos conceitos associados, como amplitude, frequência e período da oscilação, além de permitir uma modelagem solidamente estabelecida. O segundo, mais complexo e instigante, é um pêndulo físico, composto por uma vela, que tem pavios expostos em ambas extremidades e que é transpassada por um eixo, aproximadamente na metade de seu comprimento. Apoios permitem que a vela possa oscilar em torno do eixo. Quando os pavios são acesos inicia-se o gotejamento de

parafina que promove que o centro de massa da vela troque de lado, em relação ao eixo, e um movimento oscilatório se desenvolve, cuja amplitude aumenta continuamente, similar ao que ocorre em uma ressonância forçada ou em uma ressonância paramétrica. Para ambos experimentos foram coletados dados da posição angular como função do tempo, usando-se o software “TRACKER” de análise de vídeo. A análise dos dados para o experimento do pêndulo simples revelou concordância com o modelo de oscilador harmônico simples. Já o pêndulo físico, a vela oscilante, demandou o desenvolvimento de um modelo que explicasse a “ressonância”. Os dados experimentais não se ajustaram ao modelo de pêndulo paramétrico, visto que o gotejamento não é periódico, mas um modelo por nós elaborado, fundamentado na força elástica impulsiva, decorrente da queda da gota de parafina que se desprende da ponta da vela que está abaixo da horizontal, originou uma equação diferencial capaz de explicar o aumento da amplitude verificado. A nossa estratégia didática envolve exibir em sala de aula filmes de curta duração, de ambos experimentos, estabelecendo a problematização inicial. Após a exibição das experiências pode-se promover a análise e discussão dos resultados, fomentando que os alunos retirem conclusões de forma autônoma e compreendam o fenômeno investigado, organizando o conhecimento e conduzindo à elaboração de modelos conceituais coerentes com os modelos científicos aceitos.

Ainda em 2021, participamos do II Encontro Mineiro de Ensino de Física (EMEFis), pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) ocorrido entre os dias 01 a 03 de dezembro, com o tema “*Reflexões a partir das pesquisas, BNCC e BNC – Formação*”. A forma de apresentação foi por meio de um vídeo que está disponível em: <https://emiliacgomes.wixsite.com/ensino-de-fisica> e também na mídia social *Youtube* da instituição, cujo canal se chama Divulgação DFM podendo ser acessado pelo link: <https://www.youtube.com/watch?v=W1ZX3savpoQ>. Segue resumo submetido e aceito.

## O ENSINO DAS OSCILAÇÕES MECÂNICAS, BASEADA EM INVESTIGAÇÃO E MEDIADA PELA LINGUAGEM MULTIMÍDIA

### Resumo

Há muito tempo os experimentos fazem parte da investigação científica em Física e também do ensino desta por investigação (Inquiry-based learning). A experimentação apresentada em aula pode ensejar discussões capazes de conduzir à elaboração de modelos físicos e de suas representações conceituais, propiciando a compreensão dos conceitos e da atividade científica. A aprendizagem, orquestrada pelo professor, fomenta a investigação por meio da observação, coleta e análise de dados, elaboração de hipóteses e suas testagens, síntese dos resultados e formulação de conclusões. Este modo ativo de ensino/aprendizagem fomenta o trabalho colaborativo e uma postura crítica e reflexiva, conduzindo à construção da autonomia intelectual. A literatura reporta que os problemas que mais instigam os alunos são aqueles com algum grau de dificuldade e que, juntamente com a coleta de dados auxiliada por computador, compõem uma estratégia poderosa para incitar a investigação. Relatamos aqui nossos primeiros resultados no desenvolvimento de sequências didáticas, em modo investigativo, voltadas para o ensino das oscilações mecânicas, em nível de ensino médio e superior. Visando investigar a eficácia da oferta paralela de experimentos com diferentes graus de dificuldade, escolhemos dois problemas, quais sejam: o pêndulo simples e a vela oscilante. O primeiro é o menos instigante, mas permite a elaboração precisa dos conceitos de amplitude, frequência e período da oscilação, além de oferecer uma modelagem solidamente estabelecida. O segundo, mais complexo e instigante, é um pêndulo físico composto por uma vela, que tem pavios expostos em ambas extremidades, transpassada por um eixo aproximadamente na metade de seu comprimento. Apoios laterais permitem que a vela possa oscilar em torno do eixo. Quando os pavios são acesos, inicia-se o gotejamento de parafina que promove que o centro de massa da vela troque periodicamente de lado, em relação ao eixo, e um movimento oscilatório se desenvolve, cuja amplitude aumenta continuamente, similar ao que ocorre em uma ressonância forçada ou em uma ressonância paramétrica. Para ambos experimentos foram coletados dados da posição angular como função do tempo, usando-se o software "TRACKER" de análise de vídeo. A análise dos dados para o experimento do pêndulo simples revelou concordância com o modelo de oscilador harmônico

simples. Já o pêndulo físico, a vela oscilante, demandou o desenvolvimento de um modelo que explicasse a “ressonância”. Os dados experimentais não se ajustaram ao modelo de pêndulo paramétrico, visto que o gotejamento não é periódico, mas um modelo por nós elaborado, fundamentado na força elástica impulsiva, decorrente da liberação da gota de parafina da ponta da vela que está abaixo da horizontal, originou uma equação diferencial capaz de reproduzir o aumento da amplitude verificado. Planejamos uma estratégia didática composta por uma problematização inicial, a exibição de filmes de curta duração de ambos experimentos, seguida pela análise e discussão dos resultados, conduzindo os alunos a retirem conclusões, de forma autônoma e cooperativa, compreendendo os fenômenos investigados. Segue-se uma etapa de organização do conhecimento que conduz à elaboração de modelos conceituais coerentes com os modelos científicos aceitos. A investigação da ressonância paramétrica compõe a aplicação dos conhecimentos.

**Palavras-chave:** Ensino por Investigação, Oscilações Mecânicas, Vela Oscilante

### Referências

DELIZOICOV, D., ANGOTTI, J.A.; **Metodologia do Ensino de Ciências**. São Paulo: Editora Cortez, 1994. 205 p.

ETKINA, E.; VAN HEUVELEN, A.; BROOKES, D. T.; MILLS, D. Role of Experiments in Physics Instruction - A Process Approach. **The Physics Teacher**, v. 40, n.6, p. 351-355, 2002.

KOPONEN, I.T.; MÄNTYLÄ, T. Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction. **Science & Education**, v.15, n. 1, p 31-54, 2006.

PARAPPILLY, M.B.; SIDDIQUI, S.; ZADNIK, M.G.; SHAPTER, J.; SCHMIDT, L. An Inquiry-Based Approach to Laboratory Experiences: Investigating Students' Ways of Active Learning. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education**, v.21, n.5, p. 42-53, 2013.

Entre os dias 10/04 a 14/04 de 2022 participamos do Encontro de Outono de 2022 da Sociedade Brasileira de Física. O resumo foi submetido e aceito, a apresentação ocorreu na forma de banner e áudio descritivo. Segue resumo, banner

apresentado no Encontro e o áudio apresentado está disponível no site:  
<https://emiliacgomes.wixsite.com/ensino-de-f-sica>.

## **TEACHING OSCILLATIONS THROUGH INQUIRY-BASED LEARNING MEDIATED BY MULTIMEDIA LANGUAGE**

*\*Emília do Carmo Elias Gomes Sobreira e Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho  
Departamento de Física - Universidade Federal de Viçosa - MG,  
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - SBF*

During Physics lessons, videos presentations showing physical phenomena can promote discussions among the students, leading to the elaboration of physical models and their conceptual representations, promoting the understanding of scientific concepts and the scientific activity itself. This way of teaching, by inquiry, can be elaborated in multimedia language and is capable of fostering inquiry through observation, data acquisition and analysis, hypotheses development and test, and conclusions formulation. Aided by video analysis software, which allows the collection and analysis of data, it is a powerful strategy to incite learning in an active way, enabling students to work collaboratively with critical and reflective attitude. We developed a didactic sequence, inquiry based, using multimedia language, focused on the teaching of mechanical oscillations, approaching simple and challenging problem situations: the simple pendulum and the oscillating candle. The video of the former is less challenging than the latter, but allows a precise concept construction. A video showing the data collection procedure enables the characterization of the phenomenon and measurements that allows the testing of physical models. This step is followed by the organization of knowledge, leading students to understand the investigated phenomena and to elaborate conceptual models consistent with accepted scientific models. The investigation of the oscillating candle composed the application of knowledge step, extending the knowledge of oscillations and evoking the use of the inquiry mode, outlined in the previous steps. This most thought-provoking problem is a physical pendulum consisting of a candle, whose wick is exposed at both ends and which is go through by an axis, approximately in half length, supported by lateral supports that allow the candle to oscillate. When it is moved from the equilibrium position, the candle exhibits damped oscillations. When the wicks are lit, resonant oscillatory motion is observed, similar to what occurs in a forced resonance, which required the development of a model to explain. The aperiodic dripping of paraffin

promotes both the alternate change of the position of the center of mass of the candle, relative to the axis, and the emergence of an impulse elastic force, resulting from the rupture of the paraffin drop. The restoring torques arising from these forces add up, offering an explanation for the observed resonance. The oscillations, damped and resonant, were also characterized using video analysis software.



**AUTUMN MEETING 2022**  
**BRAZILIAN PHYSICAL SOCIETY**  
 APRIL 10-14, 2022

**TEACHING OSCILLATIONS THROUGH INQUIRY-BASED LEARNING MEDIATED BY MULTIMEDIA LANGUAGE**

Emília do Carmo Elias Gomes Sobreira (UFV), Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho (UFV)  
 emilia.sobreira@ufv.br, atadeu@ufv.br



**MNPEF** Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

**INTRODUCTION**

Teaching by investigation used scientific practices such as questioning, data collection, logical reasoning and comparison, elaboration of hypotheses and their testing, information exchange and systematization of these, elaboration of conclusions and their socialization. The exercise of investigation enables students to work cooperatively, encourages the development of a reflective attitude, as well as an argumentative capacity and, based on a critical analysis of the phenomena under study, helps them to build their intellectual autonomy, in a learning significant process. We show our first results in the development of didactic sequences, in investigative mode, aimed at teaching mechanical oscillations.

**METHODOLOGY**

We used methodology structured in three pedagogical moments by Delizoicov and Angotti (1994): problematization, organization of knowledge, application of knowledge. The classes were developed in multimedia language, allowing the use of different media, texts, sounds, images, videos and simulations, in a single presentation technology. Data collection was computer-based, using the free software TRACKER. In the beginning we show videos of real oscillatory phenomena, among them that of a simple pendulum.

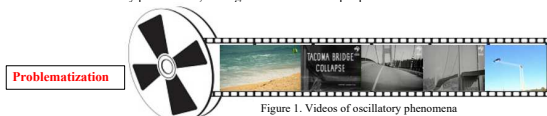


Figure 1. Videos of oscillatory phenomena

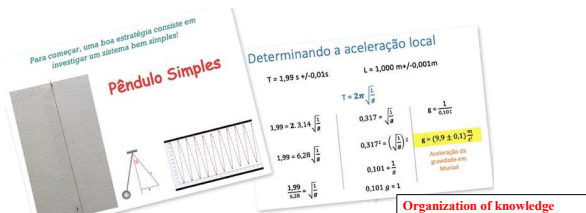


Figure 2. Study of the pendulum movement, its modeling, data collection using the TRACKER and determination of the local gravity acceleration

Then we present a physical pendulum in two situations: the swinging candle off – where the damped movement is observed – and the swinging candle lit, where the presence of a resonant movement is noted.

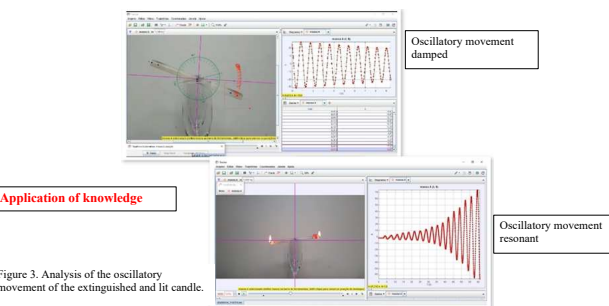


Figure 3. Analysis of the oscillatory movement of the extinguished and lit candle.

**HYPOTHESIS**

The hypothesis for the observed resonance phenomenon is that the detachment of the drop of paraffin results in the fact that the center of mass of the candle and the torque of the weight force, change sides, in relation to the axis of rotation and that an impulsive force, due to elastic energy, it gives rise to a torque in the opposite direction to that of the drop.

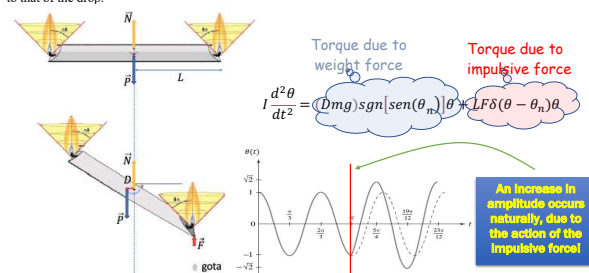


Figure 4. Diagrams on the left depict the forces involved. Differential equation suggests that the torques of the weight force and the spring force add up.

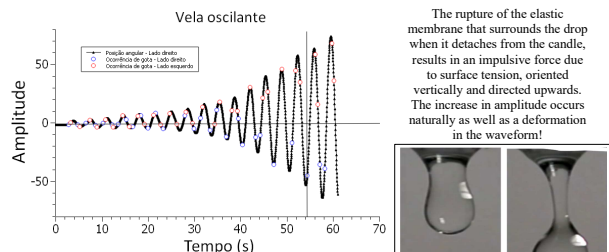


Figure 5. Graph of resonant oscillations

The rupture of the elastic membrane that surrounds the drop when it detaches from the candle, results in an impulsive force due to surface tension, oriented vertically and directed upwards. The increase in amplitude occurs naturally as well as a deformation in the waveform!

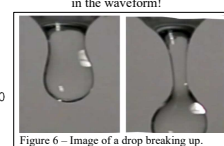


Figure 6 – Image of a drop breaking up.

**CONCLUSION**

- ⇒ The didactic sequence exposes two problematizing experiments, one very simple and the other complex.
- ⇒ It was applied in high school classes, in public schools.
- ⇒ The model we developed for the swing sail offers a new explanation for the origin of the observed resonance.

**REFERENCES**

CARVALHO, A.M.P., Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2014. p.164.  
 DELIZOICOV, D., ANGOTTI, J.A. Metodologia do Ensino de Ciências. São Paulo: Editora Cortez, 1994. p. 205.  
 NIVALAINEN, V.; ASIKAINEN, M.A.; HIRVONEN, P.E. Open Guided Inquiry Laboratory in Physics Teacher Education. J Sci Teacher Educ. Vol. 24, p. 449-474, 2013  
 OPEN SOURCE PHYSICS - <https://www.compadre.org/osp/>  
 ŠLEKIENĖ, V.; RAGULIENĖ, L. Inquiry-based Physics Education by Using Science Learning System Xplorer GLX. Problems of education in the 21st century, Volume 57, 2013.  
 SPRONKEN-SMITHA, R.; WALKERA, R.; BATCHELOR, J.; O'STEENC, B.; ANGELOD, T. Evaluating student perceptions of learning processes and intended learning outcomes under inquiry approaches. Assessment & Evaluation in Higher Education. Vol. 37, n.1, p.57-72, 2012.

2) PRODUTO EDUCACIONAL

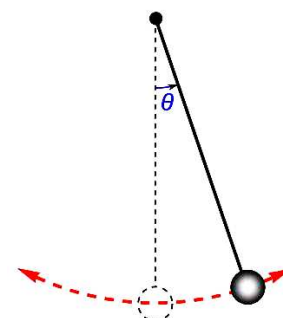
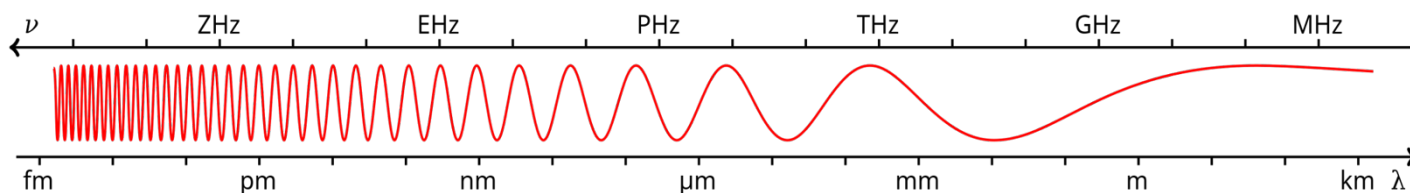


# Manual do professor

## Sequência didática

### Movimento Oscilatório

### Termodinâmica



**Emília do Carmo Elias Gomes Sobreira**  
**Orientador: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho**  
**Coorientador: Daniel Rodrigues Ventura**

Viçosa/MG 2023

# Apêndice

## ***Apresentação***

### ***A1 Movimento Oscilatório***

### ***A2 Termodinâmica***

### ***A3 Aparato experimental: Pêndulo Simples***

### ***A4 Aparato experimental: vela oscilante***

### ***A5 Aparato experimental: motor de Heron***

### ***A6 Aparato experimental: motor de elástico***

## ***Referências bibliográficas***

# Apresentação

*Caros colegas professores,*

O material a seguir foi elaborado como produto educacional no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física e objetiva orientar e fornecer mecanismo de aplicação de experimentos nas aulas de física do ensino médio. Como professora da rede pública, sei que muitas vezes carecemos de material para fazer experimentação no decorrer das aulas, bem como a ausência de um laboratório nas escolas.

Diante dessa realidade, os experimentos aqui descritos pretendem auxiliar os professores na elaboração de aulas experimentais sem necessariamente fazer-se uso de um ambiente externo à sala onde as aulas são ministradas. Para tanto propomos experimentos com materiais de fácil aquisição e de custo acessível.

Partimos dos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti [1] para a elaboração das aulas, sejam eles a problematização inicial, com a proposição de uma situação problema, passando pela organização do conhecimento e finalizando com a aplicação desse conhecimento. Ao fim de cada aula, sugerimos uma atividade bem como uma proposta de como desenvolvê-la.

Além de Delizoicov e Angotti, as contribuições de alguns teóricos da aprendizagem [2] [3] foram de grande importância para a elaboração deste material, por darem suporte conceitual e investigativo no decorrer do desenvolvimento das aulas.

Salientamos que as aulas descritas a seguir foram ministradas em uma escola da rede pública estadual de Minas Gerais e espera dar suporte aos professores que quiserem utilizar-se desse material, bem como dos vídeos que foram produzidos. Os vídeos e aulas multimídia estão disponíveis no endereço eletrônico abaixo indicado para consulta e uso.

Cordialmente, Emília do Carmo Elias Gomes Sobreira

Para mais informações acesse ao site:

[6434614eba979.site123.me](http://6434614eba979.site123.me)

# *A1 Movimento Oscilatório*

## **Tempo estimado:**

3 horas/aula

## **Objetivos:**

Ao final da aula os alunos devem ser capazes de:

- Exemplificar movimentos oscilatórios;
- Conceituar o movimento oscilatório;
- Identificar as grandezas características dos movimentos oscilatórios;
- Compreender o movimento harmônico simples e o movimento oscilatório pendular;
- Identificar o movimento da vela oscilante;
- Definir amortecimento e ressonância.

## **Conhecimentos prévios:**

Espera-se que os alunos já tenham conhecimento a cerca de:

01. Movimento Circular Uniforme (MCU)
02. Leis de Newton

## **Desenvolvimento da atividade:**

### **Tópicos da aula 1:**

- Ao início da aula, sugere-se que o professor faça uma breve apresentação sobre o Movimento Circular Uniforme. Indicamos o vídeo disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=zrYsSiZAIKs>.
- Discussão a cerca do movimento oscilatório e sua presença no cotidiano;
- Apresentação de dois vídeos que mostram a presença do movimento oscilatório: Ondas do mar e colapso da ponte de Takoma;
- Apresentação do software de análise de vídeo Tracker;
- Apresentação do experimento do pêndulo simples;
- Identificação das grandezas que caracterizam o movimento;
- Aplicação do conhecimento.

### Sugestão de atividade para aula 1:

O período de um pêndulo é o tempo gasto para ele efetuar uma oscilação completa. Este tempo de oscilação depende de quê?



Espera-se que o aluno chegue a conclusão que depende do comprimento do fio, no qual o objeto está suspenso e da aceleração da gravidade local.

### Tópicos da aula 2:

- Apresentar o vídeo: Balaço com giro 360°;
- Retomar rapidamente os assuntos tratados na aula anterior;
- Breve revisão sobre MHS, com foco no período de oscilação;
- Aplicação do conhecimento.

### Sugestão de atividade para aula 2:

Determinar a aceleração da gravidade local, por meio das informações coletadas no experimento do pêndulo simples.



Sugere-se que o professor utilize os dados do experimento do pêndulo simples ou faça tal experimento com seus alunos, e a partir das informações referentes ao comprimento do fio e o período de oscilação, utilize-se da equação do pêndulo para a determinação da aceleração da gravidade local.

### Tópicos da aula 3: Movimento oscilatório amortecido e ressonante

- Apresentar o vídeo da vela oscilante apagada (movimento amortecido);
- Discutir como este movimento se classifica;

- Comparar a oscilação da vela oscilante apagada com a do pêndulo simples;
- Análise de dados no Tracker;
- Apresentar o vídeo da vela oscilante acesa (movimento ressonante);
- Efeitos do desprendimento de uma gota de parafina (vídeo);
- Discutir a classificação deste movimento;
- Análise de dados no Tracker;
- Aplicação do conhecimento.

### Sugestão de atividade para aula 3:

A fim de instigar a curiosidade dos alunos e manter o interesse, sugerimos a apresentação do vídeo “O Oscilador Harmônico Simples | Experimentos - Pêndulos simples”, disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=Ab9OB9Q6QNw>. E sua posterior discussão sobre o fenômeno observado.



Sugere-se que o professor apresente o vídeo acima aos alunos com sua posterior discussão.

Se possível, seria interessante fazer o experimento do pêndulo acoplado em sala de aula.

# A2 Termodinâmica

## Tempo estimado:

3 horas/aula

## Objetivos:

Ao final da aula os alunos devem ser capazes de:

- Compreender as transformações de energia;
- Compreender o calor como energia;
- Diferenciar calor e temperatura;
- Compreender 1ª Lei da Termodinâmica e a conservação da energia.

## Conhecimentos prévios:

Espera-se que os alunos já tenham conhecimento a cerca de:

01. Conceito de energia potencial e energia cinética;
02. Trabalho enquanto energia em transformação;
03. Estrutura atômica da matéria;
04. Modelo Cinético dos gases;
05. Temperatura;
06. Conceito de energia interna.

## Desenvolvimento da atividade:

### Tópicos da aula 1:

- Apresentar o vídeo do motor de Heron
- Discutir o que ocorre no decorrer do experimento;
- Identificar
  - ⇒ o sistema,
  - ⇒ a fronteira,
  - ⇒ a substância de trabalho e
  - ⇒ a vizinhança do motor
- Introduzir o conceito de calor.

- Aplicação do conhecimento.

### Sugestão de atividade para aula 1:

Instruir os alunos (em grupos de 3 a 4 estudantes) a pesquisarem o que as duas imagens abaixo têm em comum, do ponto de vista dos conceitos científicos e apresentar as conclusões para os demais colegas da turma.

Figura 67 - Spray emitido por um frasco de desodorante



Fonte:  
<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/qual-a-diferenca-entre->

Figura 68 - Jato emitido por um extintor de CO<sub>2</sub>



Fonte:  
<https://blog.mocelin.ind.br/extintor-co2/>

Espera-se que os alunos citem nas suas observações que o gás dentro de ambos os recipientes se expande quando o dispositivo é acionado e o mesmo liberado.

O professor intervém neste ponto pontuando informações sobre a primeira lei da termodinâmica, que será discutida na aula seguinte, e citando a transformação adiabática (sem troca de calor).

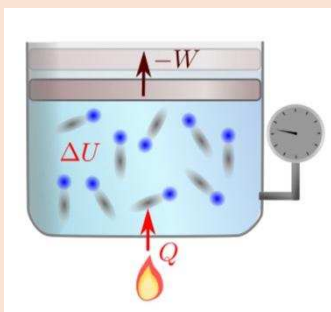


## Tópicos da aula 2:

- Em colaboração com os estudantes conceituar a 1ª lei da termodinâmica (que foi abordada na aula anterior com a atividade sugerida);
- Tratar da lei da conservação da energia;
- Correlacionar a 1ª lei da termodinâmica e da conservação da energia;
- Aplicação do conhecimento.

## Sugestão de atividade para aula 2:

Sugerimos que o professor apresente a imagem abaixo para os estudantes e peça-lhes que expliquem a mesma, de acordo com o que foi apresentado em aula.



Espera-se que os estudantes observem que o gás está sendo aquecido e expande-se. A energia interna aumenta a medida em que o gás recebe calor (energia térmica) proveniente da chama. Como o êmbolo se move para cima, significa que o gás está realizando trabalho sobre ele.

## Tópicos da aula 3:

- Apresentar o vídeo do motor de elástico;
- Discutir o que ocorre no experimento;
- Identificar
  - ⇒ o sistema,
  - ⇒ a fronteira,
  - ⇒ a substância de trabalho e
  - ⇒ a vizinhança do motor
- Aplicação do conhecimento.

### Sugestão de atividade para aula 3:

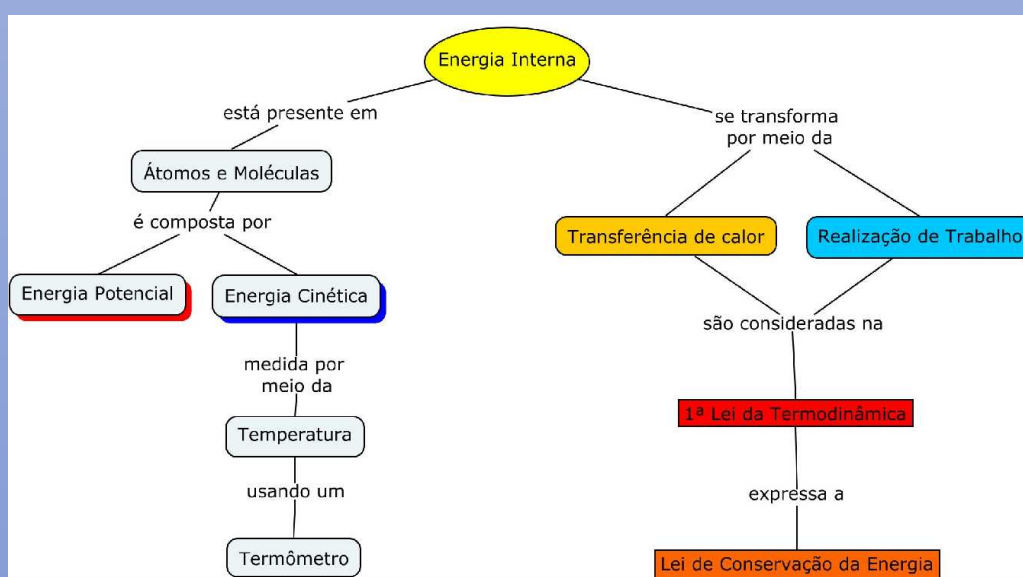
Confeccionar junto aos alunos um mapa conceitual do conteúdo estudado.

Para auxiliar o professor na confecção de um mapa conceitual sugerimos a leitura dos textos presentes nos links:

<https://www.lucidchart.com/pages/pt/como-fazer-um-mapa-conceitual> e

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Mapa\\_conceitual](https://pt.wikipedia.org/wiki/Mapa_conceitual).

Abaixo, disponibilizamos o mapa conceitual por nós elaborado.



## *A3 Aparato experimental: Pêndulo Simples*

Para o experimento do pêndulo simples [4] foram utilizados os materiais abaixo relacionados:

- 1 metro de nylon
- 1 chumbada de pesca
- 1 aparelho celular/filmadora para gravação do vídeo

Figura 69 - Materiais utilizados



Fonte: a autora (2021)

A linha de nylon foi presa na chumbada e fixada na parede.

Figura 70 - Pêndulo simples

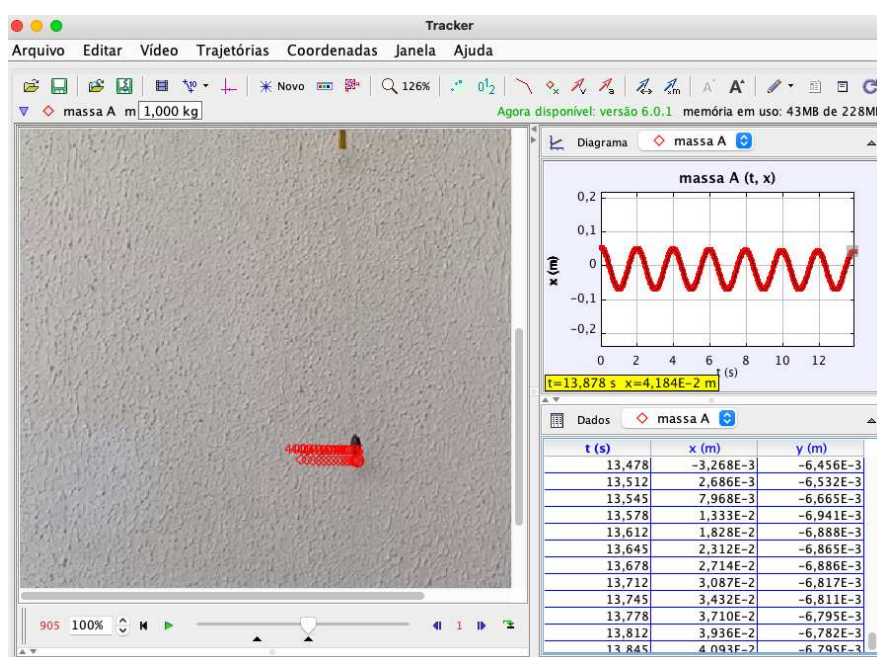


Fonte: a autora (2021)

Após a montagem do experimento, o mesmo foi posto a oscilar, sendo que todo o processo foi gravado por meio da câmera de um aparelho celular. Cabe ressaltar aqui que ao fazer o vídeo, professor e alunos estejam atentos ao ângulo de soltura da chumbada, que deve ser igual ou inferior a  $10^\circ$ .

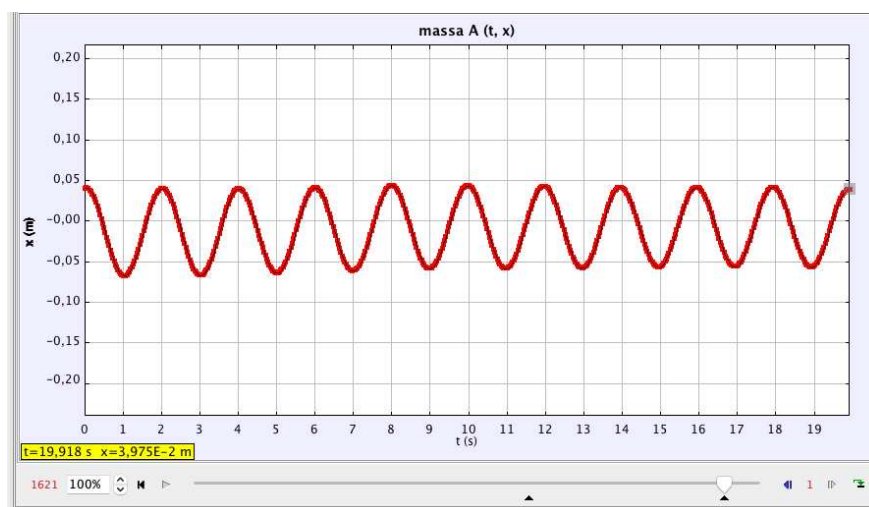
Em seguida, o vídeo será exportado para o software Tracker e o movimento será analisado. Este programa está disponível gratuitamente no link <https://physlets.org/tracker/>, onde encontram-se orientações de instalação e manual de utilização do mesmo e um tutorial sobre o programa está disponível em <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/574375/2/TutorialSoftwareLivreTracker.pdf>.

Figura 71 - Tela do Tracker com o vídeo sendo analisado e o gráfico correspondente sendo gerado



Fonte: a autora (2021)

Figura 72 - Tela do Tracker com o gráfico ampliado



Fonte: a autora (2021)

Com as informações coletadas no Tracker e as medidas já conhecidas do comprimento da linha de nylon, pode-se chegar a um valor para a aceleração da gravidade local.

O experimento, por sua simplicidade em confecção, possui baixo custo e elevados benefícios para o ensino por investigação [5] [6].

## *A4 Aparato experimental: vela oscilante*

Para o experimento da vela oscilante [7] [8] foram utilizados os materiais abaixo relacionados:

- 1 vela com o pavio das duas extremidades expostas
- Fósforos ou isqueiro
- 1 agulha
- 2 taças (suporte)
- 1 aparelho celular/filmadora para gravação do vídeo

Figura 73 - Materiais utilizados



Fonte: a autora (2021)

A agulha atravessou a vela aproximadamente no seu centro de massa, que já estava com suas extremidades expondo os pavios. Em seguida colocase as extremidades da agulha sobre as bordas das duas taças, conforme figura abaixo:

Figura 74 - Aparato experimental da vela oscilante



Fonte: a autora (2021)

Observe que na própria vela marcamos um ponto a pincel que servirá de referência para a posterior análise no Tracker. É interessante o professor analisar o movimento com a vela apagada e compará-lo com o do pêndulo simples e em seguida analisar o movimento com a vela acesa.

Como a vela apagada inicialmente está em repouso, foi preciso a ação de uma força externa para que ela se colocasse em movimento.

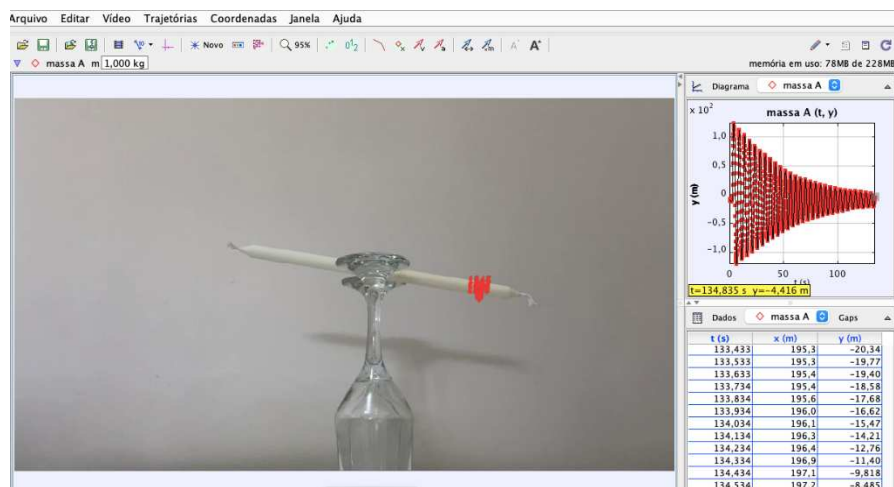
Figura 75 - Ação de uma força externa



Fonte: a autora (2021)

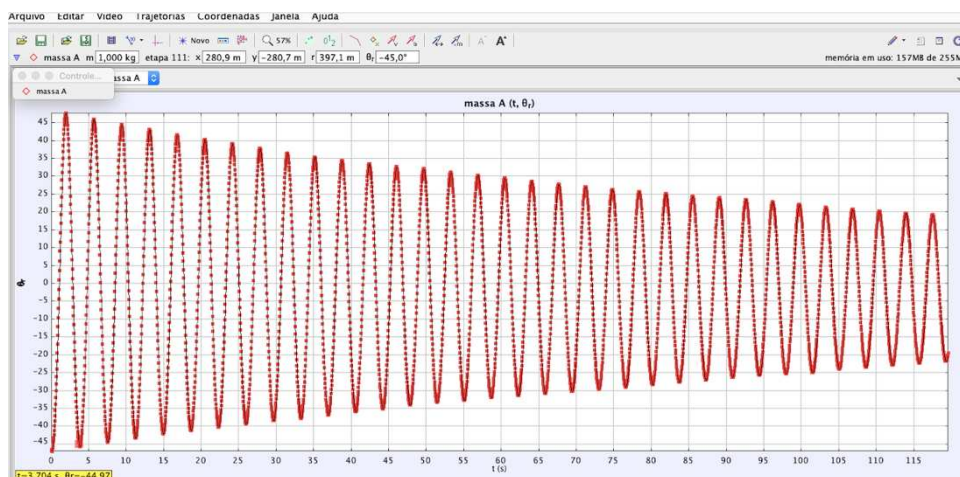
Com a introdução da força externa, representada pelo “peteleco” em um dos extremos da vela, o software Tracker procede a análise do vídeo e nos fornece um gráfico do movimento.

Figura 76 - Análise do vídeo pelo Tracker



Fonte: a autora (2021)

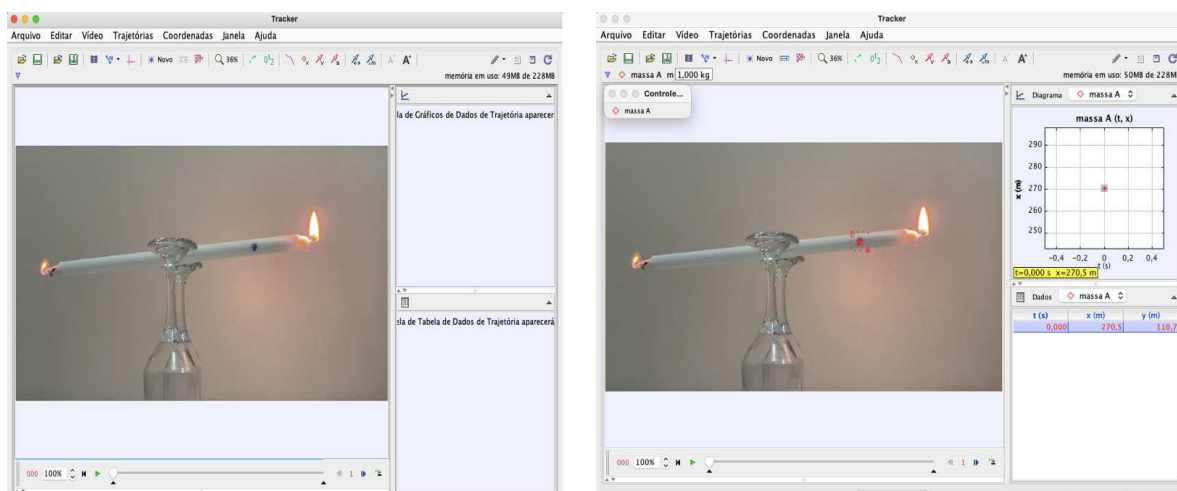
Figura 77 - Tela do Tracker com o gráfico ampliado



Fonte: a autora (2021)

Em seguida vamos analisar o movimento da vela acesa, iremos inicialmente acender os pavios livres nas extremidades e observar como a vela se comporta e qual movimento ela descreve. Similarmente ao que foi feito com a vela apagada, iremos exportar o vídeo para o Tracker e analisar o gráfico gerado.

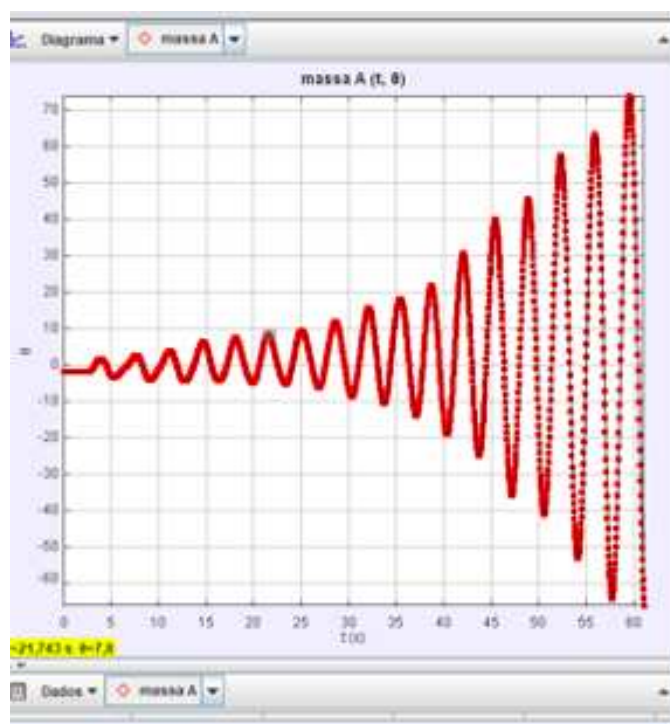
Figura 78 - Recortes da inserção do vídeo no Tracker



Fonte: a autora (2021)

A partir de então, os alunos podem observar o gráfico sendo gerado ao mesmo tempo em que assistem o vídeo por meio do Tracker, assimilando de forma mais contundente a relação entre a oscilação da vela e sua subsequente posição nos eixos do gráfico.

Figura 79 - Gráfico ampliado da oscilação da vela acesa



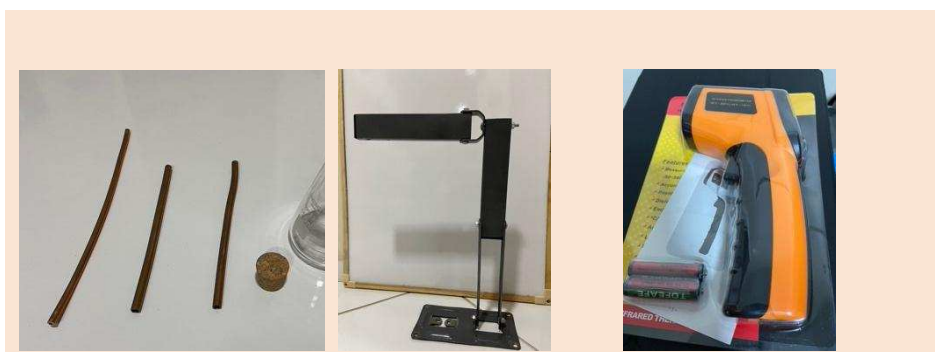
Fonte: a autora (2021)

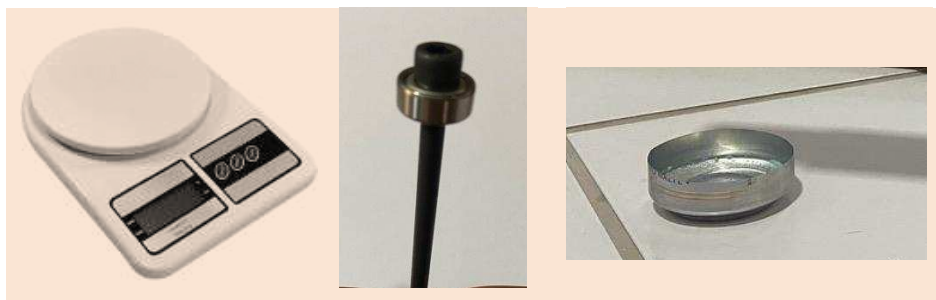
## *A5 Aparato experimental: motor de Heron*

Para o experimento Motor de Heron [9] foram utilizados os materiais abaixo relacionados:

- 1 Erlenmeyer (utilizamos o de 250ml)
- 2 tubos de cobre
- 1 suporte (adaptamos um suporte articulado de tv)
- 1 rolamento para reduzir o atrito
- 1 parafuso
- 1 rolha de cortiça
- 1 fogareiro
- Álcool
- Água
- Termômetro
- Balança
- 1 seringa
- 1 aparelho celular/filmadora para gravação do vídeo

Figura 80 - Materiais utilizados





Fonte: a autora

A montagem do aparato experimental foi feita da seguinte forma: inicialmente os tubos de cobre foram colocados em forma de L e a ponta apertada para que a pressão exercida pelo vapor d'água fosse maior. Os tubos foram inseridos na cortiça, o parafuso com o rolamento afixado no centro dessa cortiça e a mesma colocada para vedar o Erlenmeyer, conforme figura abaixo:

Figura 81 - Montagem I



Fonte: a autora

O suporte para o Erlenmeyer foi adaptado de um suporte de televisão, sugerimos aqui que o professor utilize materiais reciclados para a confecção do suporte, uma opção seria a confecção de um suporte de madeira. O fogareiro foi feito com uma lata de desodorante recortada, de modo que ficasse abaixo do Erlenmeyer e a água dentro do recipiente entrasse em ebulição.

A água foi inserida no recipiente por meio de uma seringa, a balança foi utilizada para aferir a massa de líquido antes e depois e o termômetro para medir a temperatura da água até que entrasse em ebulição.

Figura 82 - Montagem II



Fonte: a autora

Após a montagem, o experimento foi realizado e filmado. O álcool foi colocado no fogareiro e o mesmo aceso. A partir desse instante e em posse do termômetro aferimos a temperatura inicial. A temperatura final é conhecida (ebulição da água =  $100^{\circ}\text{C}$ ).

As imagens abaixo são recortes do vídeo, nos instantes em que a água é aquecida, entra em ebulição e o motor inicia o movimento.

Figura 83 - Recortes do vídeo retratando o funcionamento do motor de Heron



Fonte: a autora

## *A6 Aparato experimental: motor de elástico*

Para o experimento do motor de elástico [10] [11] [12] [13] [14] foram utilizados os materiais abaixo relacionados:

- 1 aro 20' de bicicleta
- 1 cubo de esfera
- Elásticos
- 1 lâmpada 250 w com bocal
- 1 suporte em L

Figura 84 - Materiais utilizados



Fonte: a autora

A montagem do aparato experimental foi feita da seguinte forma: ligamos cada elástico do cubo esférico ao aro de bicicleta, até adquirir a forma indicada na Figura 19:

Figura 85 - Montagem I



Fonte: a autora

Com a roda já pronta, afixamos no suporte em L, este suporte pode ser feito com madeira ou qualquer outro material que se disponha, a fim de minimizar os gastos. Deve-se ter atenção ao balanceamento da roda, optamos por utilizar massinha de modelar para balancear de modo satisfatório.

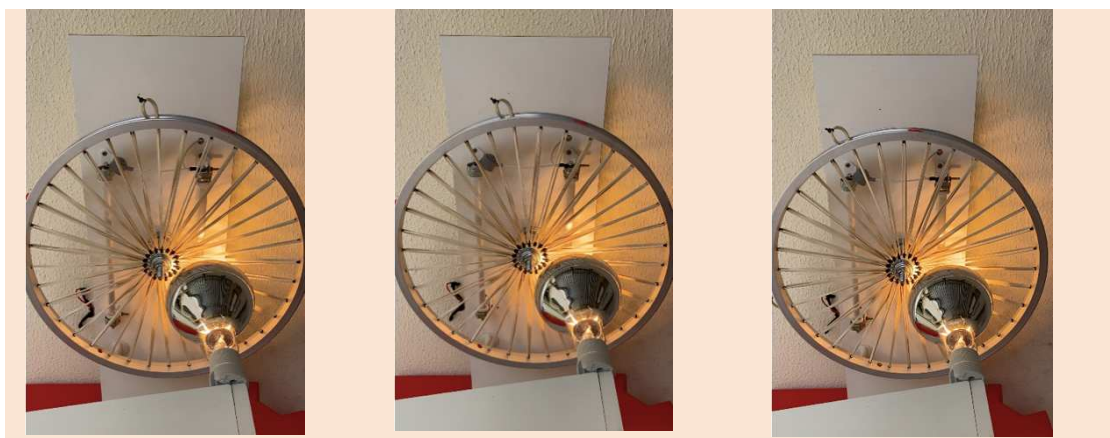
Figura 86 - Montagem II



Fonte: a autora

A lâmpada foi ligada e aproximada do elástico, com isso a roda começa a girar devido ao aquecimento que ocorre no elástico. O experimento foi gravado com um aparelho celular.

Figura 87 - Recortes do vídeo retratando o funcionamento do motor de elástico



Fonte: a autora

# REFERÊNCIAS

## BIBLIOGRÁFICAS

---

<sup>1</sup> DELIZOICOV, D. **Problemas e problematizações**. In: Maurício Pietrocola. Ensino de Física: Conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. 2ª Ed. Ilhéus: Ed. da UESC.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2 ed. ampli. São Paulo: E.P.U., 2019.

<sup>3</sup> POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

<sup>4</sup> BARROS, V. P. **Osciladores forçados: harmônico e paramétrico (Damping forced oscillator: harmonic and parametric)**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 4, p. 549-554, (2007). Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>5</sup> CARVALHO, A.M.P., SASSERON, L.H. **Ensino de Física por investigação: Referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino investigativas**. Ensino Em Re-Vista. v.22, n.2, p.249-266, 2015.

<sup>6</sup> KOLB, D. A. **Experiential learning: experience as the source of learning and development**. New Jersey: Prentice-Hall, 1984.

<sup>7</sup> THEODORAKIS, S.; PARIDI, K. **Oscillations of a candle burning at both ends**. American Association of Physics Teachers, v. 77, n. 11, 2009.

<sup>8</sup> TJOSEM, P. J. H.; CASE, W. B.; BASS, R. M. **The candle seesaw**. American Journal of Physics, v. 87, n. 5, 2019. Disponível em: <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.5096886>.

<sup>9</sup> YOUNG, H., FREEDMAN, R. **Física II – Termodinâmica e Ondas**. 12ª Edição. Pearson, 2008.

<sup>10</sup> MUHARAYU, N. **Theory of Thermodynamic Variables of rubber band heat**. 6th Asian Physics Symposium. Journal of Physics: Conference Series 739 (2016).

---

<sup>11</sup> MULLEN, J. G. LOOK, G. W. KONKEL, J. **Thermodynamics of a simple rubber-band heat engine**. American Journal of Physics Vol. 43, No. 4, p. 349-353. Abril, 1975.

<sup>12</sup> PEREIRA A. L. **Princípios da termodinâmica e mecânica: motor térmico de elásticos**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional no Ensino de Física) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba/São Paulo, 2019.

<sup>13</sup> SCHMUCKLER. J. S. **The rubber band engine**. Journal of Chemical Education. Vol. 59. No. 2, p 152-153. February, 1982.

<sup>14</sup> TESSERA, L. **Feynman 'Fun to Imagine' - Parte 3. Youtube, 12 mar. 2011**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Lnw-nnlwz0w>>. Acesso em: 24/01/2021.