

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

**UTFPR**  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ



# Produto Educacional

**CADERNO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS: UM GUIA PARA  
AUXILIAR O USO DO KIT 1 SEED/DEB**

DOUGLAS ROBASKIEWICZ CONEGLIAN  
ADRIANA DA SILVA FONTES  
MICHEL CORCI BATISTA

Campo Mourão – PR  
2018

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

**UTFPR**  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**SBF**  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

DOUGLAS ROBASIEWICZ CONEGLIAN

# Produto Educacional

**CADERNO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS: UM GUIA PARA  
AUXILIAR O USO DO KIT 1 SEED/DEB**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Polo 32 MNPEF), câmpus Campo Mourão, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriana da Silva Fontes  
Coorientador: Prof. Dr. Michel Corci Batista

Campo Mourão – PR  
2018

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO DO CADERNO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>49</b>
<b>A ESTRUTURA DOS EXPERIMENTOS PROPOSTOS.....</b>	<b>50</b>
<b>MECÂNICA.....</b>	<b>51</b>
<b>1 LEI DE HOOKE.....</b>	<b>52</b>
1.1 PRÁTICA I: DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE ELÁSTICA DE UMA MOLA HELICOIDAL.....	53
2.1 PRÁTICA II: DETERMINAÇÃO DO EMPUXO EXERCIDO POR UM LÍQUIDO .....	58
2.2 PRÁTICA III: EMPUXO E PESO DO VOLUME DE LÍQUIDO DESLOCADO (PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES) .....	61
<b>CALORIMETRIA.....</b>	<b>65</b>
<b>3 ESTUDOS DE CALORIMETRIA .....</b>	<b>66</b>
3.1 CONHECENDO O CALORÍMETRO.....	69
3.1.1 Testando o Calorímetro .....	71
3.1.2 Sugestões e Adaptações ao Calorímetro do Kit Experimental 1, Para o Aprimoramento das Medidas de Capacidade Térmica e Calor Específico.....	71
3.2 PRÁTICA IV: DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO .....	73
3.3 PRÁTICA V: DETERMINAÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO DE UMA AMOSTRA DE COBRE OU ALUMÍNIO.....	75
<b>OSCILAÇÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>4 MOVIMENTO OSCILATÓRIO .....</b>	<b>79</b>
4.1 GRANDEZAS RELEVANTES NO MOVIMENTO OSCILATÓRIO.....	80
4.2 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (MHS).....	81
4.3 SISTEMA MASSA-MOLA .....	81
4.4 PERÍODO DO SISTEMA MASSA-MOLA .....	82
4.5 PRÁTICA VI: OSCILADOR HARMÔNICO SIMPLES (SISTEMA MASSA-MOLA) .....	84
<b>5 PÊNDULO SIMPLES .....</b>	<b>89</b>

5.1 LEIS DO PÊNDELO SIMPLES.....	90
5.2 PRÁTICA VII: RELAÇÃO ENTRE PERÍODO DE OSCILAÇÃO E AMPLITUDE .....	91
5.3 PRÁTICA VIII: RELAÇÃO ENTRE PERÍODO DE OSCILAÇÃO E MASSA DO PÊNDELO.....	94
5.4 PRÁTICA IX: RELAÇÃO ENTRE PERÍODO DE OSCILAÇÃO E COMPRIMENTO DO PÊNDELO ....	97
5.5 PRÁTICA X: PÊNDELO SIMPLES E A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE LOCAL .....	101
<b>6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CADERNO DE EXPERIMENTOS .....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>106</b>

## APRESENTAÇÃO DO CADERNO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

No ano de 2012, a Secretaria de Educação do Estado do Paraná / Departamento de Educação Básica (SEED/DEB) encaminhou para todas as escolas estaduais que ofertam o Ensino Médio dois tipos de kits didáticos de física. Por uma questão de nomenclatura denominados esses materiais de kit experimental 1 e kit experimental 2. Porém, esses equipamentos não apresentavam nenhum manual sobre sua utilização e também nenhuma proposta de atividade experimental, o que vinha dificultando a aplicação dos mesmos por parte do professor. Nesse contexto, o presente caderno de experimentos surgiu da solicitação de alguns professores das escolas estaduais de Campo Mourão e região, em relação à utilização do kit experimental 1.

Com base nos equipamentos que compõem esse kit, produzimos dez atividades experimentais organizadas em três tópicos:

- *Mecânica:*
  - Lei de Hooke;
  - Empuxo;
  - Princípio de Arquimedes;
- *Calorimetria:*
  - Medida da capacidade térmica do calorímetro;
  - Medida do calor específico de uma peça metálica utilizando o calorímetro;
- *Oscilações:*
  - Sistema massa-mola;
  - Relação entre período de oscilação e amplitude de um pêndulo simples;
  - Relação entre período de oscilação e massa do pêndulo;
  - Relação entre período de oscilação e comprimento do pêndulo;
  - Aceleração da gravidade local.

Almeja-se que esse caderno com propostas experimentais possa auxiliar os professores em suas atividades práticas e, que a partir das atividades de verificação sugeridas nele, os docentes possam ter uma referência para que seus alunos tenham contato com a experimentação de uma forma simples e prática e, à medida que eles forem se familiarizando com essa estratégia de ensino, o professor poderá realizar experimentos mais complexos como as atividades de investigação.

## A ESTRUTURA DOS EXPERIMENTOS PROPOSTOS

Com base em Peruzzo (2012), todos os experimentos propostos neste caderno de atividades experimentais apresentam a seguinte estrutura:

- *Título*
- ✓ Evidencia o assunto a ser abordado e antecedido de uma introdução teórica sobre o tema;
- *Objetivo(s)*
- ✓ Indica o que se pretende atingir com a realização do experimento proposto;
- *Material utilizado*
- ✓ Informa os materiais e/ou equipamentos do kit 1 necessários para a realização do experimento;
- *Procedimentos*
- ✓ Orienta a montagem e a realização detalhada do experimento com fotos e/ou ilustrações;
- *Análise e discussão*
- ✓ Apresenta alguns informes relevantes na execução da prática experimental, propondo a substituição de alguns materiais por outros similares e/ou o acréscimo de outrem para a execução do experimento. Em seguida, são apresentados alguns questionamentos como forma de contextualizar a utilização do experimento, permitindo, assim, o confronto entre as concepções prévias dos estudantes e a concepção científica, facilitando dessa forma, a formação de conceitos científicos, oportunizando uma concordância entre o ensino experimental e teórico.

*Mecânica*

## 1 LEI DE HOOKE

As molas se caracterizam como estruturas que apresentam a propriedade de deformar-se sob a ação de esforços de tração ou compressão, exercendo por sua vez, forças de reação no sentido de recuperar as suas dimensões originais (PERUZZO, 2012a).

De fato, quando uma mola está sujeita a uma força  $\vec{F}$  de deformação ao longo de seu comprimento, ela passa a exercer uma força elástica  $\vec{F}_{el}$  de mesma intensidade e sentido oposto ao da força  $\vec{F}$ , assim:

$$\vec{F}_{el} = -\vec{F} \quad (1)$$

A força com que uma mola troca com objetos em contato com ela é diretamente proporcional à sua deformação, de modo que:

$$\vec{F}_x = k \cdot \vec{x} \quad (2)$$

Em que,  $k$  é uma constante de proporcionalidade característica do material que constitui a mola, denominada constante elástica. A equação (2) recebe o nome de **lei de Hooke** em homenagem ao físico inglês Robert Hooke (1635 - 1703) que investigou o comportamento de materiais elásticos.

Experimentalmente, podemos variar uma força aplicada a uma mola e perceber um aumento proporcional em sua deformação, ou seja, abaixo do limite de elasticidade a força ( $F$ ) aplicada a um corpo elástico e a deformação ( $\Delta x$ ) que ela causa são diretamente proporcionais. Dessa forma, a constante de Hooke ( $k$ ) é dada a partir da equação (2):

$$k = \frac{F}{\Delta x} \quad (3)$$

“O limite de elasticidade é maior valor para o qual a força e deformação preservam a relação de proporcionalidade” (HALLIDAY, 2009, p. 13). Fazendo uma média aritmética dos valores encontrados para  $k$ , obtemos a constante elástica de uma mola.

Após essa breve revisão do conteúdo, apresentamos uma atividade prática visando melhorar o processo de ensino-aprendizagem, como também de avaliar o alcance do mesmo.

## 1.1 PRÁTICA I: DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE ELÁSTICA DE UMA MOLA HELICOIDAL

### **Objetivo:**

Verificar a lei de Hooke e determinar a constante elástica de uma mola helicoidal.

### **Materiais:**

- 01 suporte universal;
- 01 haste vertical;
- 01 balança digital;
- 01 fixador metálico para pendurar a mola;
- 01 régua de 30 cm;
- 01 fita crepe;
- 01 tesoura sem ponta;
- 01 mola helicoidal A (mola com maior diâmetro do kit 1);
- 01 conjunto de massas aferidas com gancho suporte do kit 1.

### **Procedimentos:**

1. Montar os materiais necessários para o experimento conforme a Figura 1. Utilizar a fita crepe para prender a régua de 30 cm na lateral da haste vertical;

**Figura 1** - Montagem inicial para determinação da constante elástica da mola A



**Fonte:** O autor (2016)

2. Posicionar a extremidade inferior na mola A em  $L_0 = 0$  cm, conforme a Figura 2;

**Figura 2** - Comprimento inicial da mola A,  $L_0 = 0$  cm



**Fonte:** O autor (2016)

3. Medir a massa do conjunto (60 g + gancho suporte).  $m_{conjunto} = \underline{\hspace{2cm}}$  kg;

4. Determinar o peso do conjunto, por meio da equação:  $P = m \cdot g$ , adotando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , anotando o valor obtido no Quadro 1 na coluna: P = F (N);

5. Prender o conjunto (60 g + gancho suporte) na extremidade da mola;

6. Verificar a deformação  $\Delta L$  sofrida pela mola, anotando o valor obtido no Quadro 1 na coluna  $\Delta L$  (m);

7. Retirar o conjunto massa + gancho suporte e verificar se a mola volta para a posição inicial  $L_0 = 0$  cm.

8. Determinar a constante elástica  $k$  por meio da equação:  $k = \frac{F}{\Delta L}$ . Anote o valor obtido no Quadro 1;

9. Acrescentar novos conjuntos de (massa + gancho suporte) repetindo os passos 2 a 8 completando o Quadro 1:

**Quadro 1** - Dados para determinação da constante elástica da mola A

	<b>Massa + gancho suporte</b>	<b>P = F (N)</b>	<b><math>\Delta L</math> (m)</b>	<b>k ( N/m)</b>
<b>1</b>	60 g + gancho			
<b>2</b>	80 g + gancho			
<b>3</b>	100 g + gancho			
<b>4</b>	120 g + gancho			
<b>5</b>	140 g + gancho			
<b>Média aritmética da constante elástica (k) da mola A</b>				

Fonte: O autor (2016)

**OBSERVAÇÃO:** Para determinação da constante elástica da mola B (mola com menor diâmetro do kit 1) recomendamos a utilização de massas aferidas de 50g sem a utilização do gancho suporte. Apenas adicione as massas na extremidade da mola B e utilizando os passos 1 a 9 descritos anteriormente preenchendo o Quadro 2:

**Quadro 2** - Dados para determinação da constante elástica da mola B

	<b>Massa (g)</b>	<b>P = F (N)</b>	<b><math>\Delta L</math> (m)</b>	<b>k ( N/m)</b>
<b>1</b>	250			
<b>2</b>	300			
<b>3</b>	350			
<b>4</b>	400			
<b>5</b>	450			
<b>Média aritmética da constante elástica (k) da mola B</b>				

Fonte: O autor (2016)

### **Análise e discussão:**

Recomendamos ao professor, como forma de contextualizar a utilização do experimento, os seguintes questionamentos:

a) O que aconteceu com os valores de  $\Delta L$ , à medida que F aumentou?

---

b) Qual é a relação existente entre F e  $\Delta L$ ?

---

c) Construa o gráfico de F em função de  $\Delta L$ .



d) Determine o coeficiente angular da reta

e) Determine o coeficiente linear da reta.

---

f) Qual é o significado físico do coeficiente angular da reta?

---

---

g) A mola ultrapassou o limite de elasticidade? O que é esse limite de elasticidade?

---

---

h) Os resultados obtidos comprovam a lei de Hooke? Em caso afirmativo, enuncie a lei.

---

---

## 2 EMPUXO EXERCIDO POR UM LÍQUIDO

Quando mergulhamos um corpo em um líquido, total ou parcialmente, verificamos que este age sobre o corpo, exercendo uma força resultante dirigida para cima. Essa força recebe o nome de *empuxo* ( $\vec{E}$ ), cuja intensidade é igual ao peso do líquido deslocado pelo corpo (HALLIDAY, 2009; PERUZZO, 2012 – a). Você já deve ter percebido o empuxo ao tentar mergulhar uma bola na água, por exemplo.

O empuxo pode ser determinado pela diferença entre o peso real ( $\vec{P}_R$ ), peso do corpo fora do líquido e o peso aparente ( $\vec{P}_A$ ), peso do corpo imerso em um líquido.

$$\vec{E} = \vec{P}_R - \vec{P}_A \quad (3)$$

Também podemos determinar o empuxo por meio do *princípio de Arquimedes*, no qual: “Todo corpo sólido mergulhado num líquido em equilíbrio, recebe deste uma força vertical de sentido de baixo para cima cuja intensidade é igual à do peso do líquido deslocado pelo corpo” (RAMALHO, 2009, p. 437). Matematicamente, podemos demonstrar por:

$$E = P_{LD}$$

$$E = m_{LD} \cdot g, \text{ temos que:}$$

$$m_{LD} = \rho \cdot V, \text{ logo:}$$

$$E = \rho \cdot V \cdot g \quad (4)$$

Em que  $\rho$  é a densidade do líquido,  $V$  o volume do corpo submerso na água e  $g$  a aceleração da gravidade.

Após essa breve revisão do conteúdo, apresentamos algumas atividades práticas visando melhorar o processo de ensino-aprendizagem, como também de avaliar o alcance do mesmo.

## 2.1 PRÁTICA II: DETERMINAÇÃO DO EMPUXO EXERCIDO POR UM LÍQUIDO

### Objetivo:

Verificar a existência da força de empuxo exercida por um líquido sobre um corpo quando nele mergulhado.

### Materiais:

- 01 suporte universal;
- 01 haste vertical;
- 01 fixador metálico para pendurar o dinamômetro;
- 01 dinamômetro de 1 N;
- 01 massa aferida de 60 g do kit 01;
- 01 bécker de 250 ml;
- 200 ml de água;
- 200 ml de álcool;
- 20 cm de barbante;
- 01 tesoura sem ponta

### Procedimentos:

1. Ajustar o "zero" do dinamômetro;
2. Com o auxílio do barbante, pendurar a massa aferida de 60 g conforme a Figura 3;

**Figura 3** - Massa aferida de 60g presa na extremidade do dinamômetro de 1 N



**Fonte:** O autor (2016)

3. Anotar o valor do peso real ( $P_R$ ) indicado no dinamômetro.  $P_R = \underline{\hspace{2cm}}$  N;
4. Com o auxílio do bécker contendo 200 ml de água, mergulhar a massa aferida de modo que essa fique completamente submersa, mas sem tocar o fundo ou a lateral do bécker, conforme a Figura 4;

**Figura 4** - Massa de 60 g submersa



**Fonte:** O autor (2016)

5. Anote o valor do peso aparente ( $P_A$ ) indicado no dinamômetro.  $P_A = \underline{\hspace{2cm}}$  N;
6. Por meio da equação:  $\vec{E} = \vec{P}_R - \vec{P}_A$  determine o valor do módulo do empuxo.  $E = \underline{\hspace{2cm}}$  N;
7. Repetir os procedimentos (1 a 6) utilizando como líquido o álcool;

### **Análise e discussão:**

O professor pode optar em utilizar apenas como líquido a água. O ideal seria utilizar dois líquidos com densidades diferentes de modo que os alunos compreendam que o empuxo depende da densidade do líquido. Na ausência de álcool, recomendamos a utilização de água com sal como segundo líquido a ser utilizado.

Sugere-se ao professor, como forma de contextualizar a utilização da atividade experimental, os seguintes questionamentos:

a) Justifique a aparente diminuição do peso do corpo ao ser submergido nos diferentes líquidos.

---

---

b) Quais são a direção e o sentido do empuxo  $\vec{E}$ ?

---

---

c) Qual é o valor do módulo do empuxo nos diferentes líquidos utilizados no experimento?

---

---

d) Qual dos módulos apresenta maior empuxo? Justifique.

---

---

e) O empuxo depende da densidade do líquido?

---

---

## 2.2 PRÁTICA III: EMPUXO E PESO DO VOLUME DE LÍQUIDO DESLOCADO (PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES)

### **Objetivo:**

Verificar que a força de empuxo exercida pelo líquido sobre um corpo tem direção vertical, sentido de baixo para cima e intensidade igual à do peso do fluido deslocado pelo corpo.

### **Materiais:**

- 01 suporte universal;
- 01 haste vertical;
- 01 fixador metálico para pendurar o dinamômetro;
- 01 dinamômetro de 1 N (de preferência de precisão de 0,01 N);
- 01 seringa 10 ml;
- 01 massa aferida de 60 g do kit 01;
- 01 bécker de 250 ml;
- 200 ml de água;
- 01 copo descartável 50 ml;
- 20 cm de barbante;
- 01 marcador para retroprojektor ou similar;
- 01 tesoura sem ponta.

### **Procedimentos:**

1. Ajustar o “zero” do dinamômetro;
2. Colocar uma alça de barbante no copo descartável de 50 ml, conforme Figura 5;

**Figura 5** - Copo com alça de barbante



**Fonte:** O autor (2016)

2. Com o auxílio do barbante, pendurar a massa aferida de 60 g conforme a Figura 6;

**Figura 6** - Massa de 60 g presa na extremidade do dinamômetro



**Fonte:** O autor (2016)

3. Anotar o valor do peso real  $P_R$  indicado no dinamômetro.  $P_R = \underline{\hspace{2cm}}$  N;

4. Com o auxílio do bécker contendo 200 ml de água, mergulhar a massa aferida de modo que esta fique completamente submersa, mas sem tocar o fundo ou a lateral do bécker conforme a Figura 7. Perceba que o nível de água no bécker aumentou;

**Figura 7** - Massa de 60 g submersa



**Fonte:** O autor (2016)

5. Com auxílio do marcador para retroprojeter, indique no bécker o volume de líquido deslocado pelo corpo;

6. Anote o valor do peso aparente  $P_A$  indicado no dinamômetro.  $P_A = \underline{\hspace{2cm}}$  N;

7. Por meio da equação:  $\vec{E} = \vec{P}_R - \vec{P}_A$ , determine o valor do módulo do empuxo.  $E = \underline{\hspace{2cm}}$  N;

8. Com auxílio da seringa, retirar o volume de líquido deslocado pelo corpo indicado no bécker;
9. Retire a massa aferida submersa na água contida no bécker;
10. Pendure na extremidade no dinamômetro o copo plástico de 50 ml com alça de barbante, ajustando o "zero" no dinamômetro;
11. Deposite o volume de líquido deslocado contido na seringa no copo de 50 ml;
12. Anote o valor do peso do volume de líquido deslocado.  $P_{LD} = \underline{\hspace{2cm}}$  N.

### **Análise e discussão:**

O dinamômetro de 1 N do kit 1 possui uma precisão de 0,05 N, o que pode dificultar a leitura do módulo do empuxo, além de não aferir o peso do copo com alça de barbante utilizado no experimento. Para uma melhor precisão e análise dos dados, sugerimos que o professor utilize um dinamômetro de 1 N com precisão de 0,01 N. Apesar de a massa do copo de 50 ml com alça de barbante ser praticamente desprezível, pode ocorrer uma diferença significativa na comparação do módulo do empuxo com o peso do líquido deslocado pelo corpo. Por esse motivo, é fundamental a utilização de um dinamômetro mais sensível para comparação do peso do líquido deslocado com o módulo do empuxo. Essas recomendações farão com que o experimento atinja o objetivo desejado. Caso o professor não consiga fazer uso do dinamômetro que recomendamos, sugerimos que ele discuta com seus alunos os possíveis erros decorrentes da precisão do equipamento nas medidas aferidas durante a prática.

Recomendamos ao professor como forma de contextualizar a utilização da atividade prática, os seguintes questionamentos:

a) Qual é o valor do módulo do empuxo  $\vec{E}$ ?

---

b) Qual é o valor do módulo do peso do volume de líquido deslocado pelo corpo?

---

c) Compare o peso do volume de líquido deslocado pelo corpo submerso com o valor do módulo do empuxo e escreva sua conclusão.

---

---

---

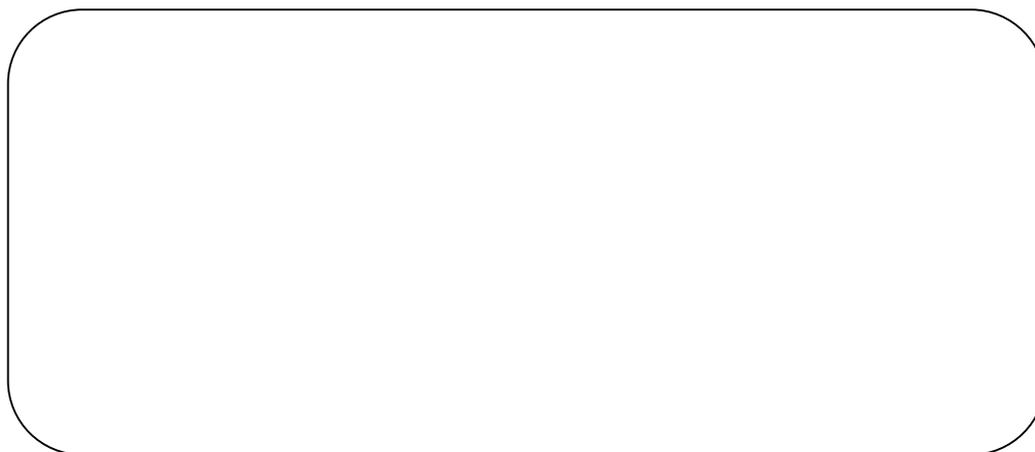
d) Enuncie o princípio de Arquimedes;

---

---

---

e) Partindo do conceito de massa específica ( $m = \rho \cdot V$ ), demonstre a equação do empuxo por meio da igualdade:  $E = P_{LD}$ .



# *Calorimetria*

### 3 ESTUDOS DE CALORIMETRIA

Antes de iniciarmos os estudos de Calorimetria, área da física que estuda o calor, suas medidas e seus processos de transferência, apresentamos os principais conceitos científicos abordados pelo tema, são eles:

**Temperatura:** É a grandeza física que indica a intensidade média de agitação das partículas que compõe um corpo (BARROS, 1999).

**Calor:** É a energia térmica em trânsito que se transfere espontaneamente devido a uma diferença de temperatura. Sendo o calor uma forma de energia, no SI a unidade de medida é o joule (J). Em homenagem ao físico James Prescott Joule (1818-1889), que demonstrou a equivalência entre a energia mecânica e a energia térmica (NEWTON, 2013).

**OBSERVAÇÃO:** Além do joule, podemos usar também a unidade caloria (cal) para determinar quantidades de calor. Assim temos que: 1 cal = 4,186 J, no entanto, para facilitar os cálculos, é comum aparecer o valor de 4,2 joules para cada caloria (ARTUSO, 2013).

**Equilíbrio térmico:** É a situação na qual todos os corpos que compõem um sistema estão à mesma temperatura (BARROS, 1999).

**Capacidade térmica:** É a quantidade de calor  $Q$  necessária para que a temperatura de um corpo varie uma unidade, ou seja, “a capacidade térmica indica a quantidade de calor que o corpo deve receber ou ceder para que sua temperatura varie uma unidade” (NEWTON, 2013, p. 37). Portanto, a capacidade térmica  $C$ , é o quociente entre a quantidade de calor  $Q$  trocado por um corpo e sua correspondente variação de temperatura ( $\Delta\theta$ ).

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \quad (4)$$

**OBSERVAÇÃO:** A unidade de medida mais usada na capacidade térmica de um corpo é  $cal/^{\circ}C$ . No SI, a unidade de capacidade térmica é  $J/K$  (ARTUSO, 2013).

Outro modo de definir a capacidade térmica é levar em consideração o calor específico (c) do material que o compõe o corpo, assim como, sua massa  $m$ . Dessa forma, também podemos definir a capacidade térmica como:

$$C = m \cdot c \quad (5)$$

**Calor específico:** O calor específico ( $c$ ) é uma característica fundamental de qualquer material. Cada grama de certa substância sempre necessita absorver ou liberar determinada quantidade de calor para sofrer variação de um grau em sua temperatura (ARTUSO, 2013). Essa quantidade de calor característica da substância denomina-se calor específico. Matematicamente temos:

$$c = \frac{C}{m} \quad (6)$$

**OBSERVAÇÃO:** Vimos que a capacidade térmica por uma unidade de massa é denominada calor específico ( $c$ ), dado usualmente pela unidade  $cal/g \cdot ^\circ C$ . No SI, o calor específico é medido em  $J/kg \cdot K$  ou  $J/kg \cdot ^\circ C$  (ARTUSO, 2013).

O Quadro 3 a seguir apresenta o calor específico de algumas substâncias.

**Quadro 3** - Calor específico de algumas substâncias

Substância	Calor específico (em $cal/g \cdot ^\circ C$ )
Água	1,000
Alumínio	0,219
Cobre	0,093
Ferro	0,550
Chumbo	0,031
Estanho	0,119
Bronze	0,090
Zinco	0,093

**Fonte:** Newton (2013, p. 38)

**Calor sensível:** “É o calor que, recebido ou cedido por um corpo, provoca nele uma variação de temperatura” (NEWTON, 2013, p. 38).

Para calcular a quantidade de calor sensível que um corpo recebe ou cede, usamos a definição de calor específico.

$c = \frac{C}{m}$  substituindo (4) em (6), temos:

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta} \rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (7)$$

**OBSERVAÇÃO:** A equação (7) é denominada de *equação fundamental da calorimetria*, em que,  $\Delta\theta = \theta_{final} - \theta_{inicial}$ . Dessa forma, se a temperatura aumenta,  $\theta_f > \theta_i$  e  $\Delta\theta > 0$  e nesse caso, a quantidade de calor  $Q$  é positiva. Se a temperatura diminui,  $\theta_f < \theta_i$  e  $\Delta\theta < 0$ . E nesse caso  $Q$  é negativa (NEWTON, 2013).

### 3.1 CONHECENDO O CALORÍMETRO

O calorímetro é um instrumento utilizado para medir a capacidade térmica de um corpo, o calor específico de um material ou mesmo a quantidade de calor absorvida ou cedida por uma substância. Ele é constituído basicamente de um vaso de metal revestido por um isolante térmico e fechado por uma tampa isolante contendo um orifício central pelo qual se introduz o termômetro (Figura 8). Geralmente, a tampa pode conter um furo adicional para o emprego de um agitador utilizado para mexer a mistura e facilitar as trocas de calor entre as substâncias contidas no calorímetro (BONJORNO, 2013; NEWTON, 2013; STEFANOVITS, 2013).

**Figura 8** - Calorímetro do kit experimental 1 encaminhado pela SEED/DEB



**Fonte:** O autor (2016)

O funcionamento de um calorímetro baseia-se na transferência de calor que ocorre quando se colocam em contato duas substâncias com temperaturas diferentes. “Conhecidas as propriedades de uma substância, consegue-se determinar a capacidade térmica ou o calor específico da outra, por meio da verificação das temperaturas inicial e final no interior do calorímetro” (STEFANOVITS, 2013, p. 36).

Uma vez que o calorímetro é termicamente isolado, a soma das quantidades de calor transferidas é nula. Assim, a quantidade de calor que um corpo ou uma substância ganha é igual à quantidade que o outro perde. Esse fato é justificado pelo princípio das trocas de calor:

Quando dois ou mais corpos trocam calor apenas entre si, a soma das quantidades de calor trocadas pelos corpos até atingir o equilíbrio térmico é igual a zero.

$$\sum Q_{Liberado} + \sum Q_{Absorvido} = 0 \quad (8)$$

Não podemos esquecer que o calorímetro, além de servir como recipiente, também participa das trocas de calor, cedendo calor para seu conteúdo ou recebendo calor dele.

A princípio, “um calorímetro é denominado ideal quando, além de impedir as trocas de calor entre seu conteúdo e o meio externo não troca calor com os corpos nele contidos” (NEWTON, 2013, p. 40). Esse tipo de calorímetro existe somente na teoria, aparecendo com frequência em enunciados de exercícios. Nesses casos, os enunciados referem-se ao calorímetro dizendo que o mesmo tem **capacidade térmica desprezível**.

**Fique atento!** Para obter erros experimentais abaixo de 10 %, o calorímetro não pode permitir perdas significativas de calor para o meio externo.

### 3.1.1 Testando O Calorímetro

Inicialmente, testamos o calorímetro do kit 1 para determinação do calor específico de uma amostra de cobre e alumínio, admitindo que sua capacidade térmica era desprezível. Também não realizamos nenhuma adaptação ou modificação ao equipamento. Com base em nossos testes, percebemos que a estrutura do calorímetro se aquecia consideravelmente. Esse fato nos levou à constatação de que o calorímetro não era um bom isolante térmico, pois obtivemos erros experimentais elevadíssimos para o calor específico dos metais citados. Dessa forma, entendemos que o equipamento em sua forma original (Figura 9), não constitui um sistema termicamente isolado. Para minimizar os erros e deixar as medidas com mais confiabilidade apresentaremos a seguir algumas adaptações em sua estrutura.

**Figura 9** - Calorímetro presente no kit experimental 1 sem modificações



**Fonte:** O autor (2016)

### 3.1.2 Sugestões E Adaptações Ao Calorímetro Do Kit Experimental 1, Para O Aprimoramento Das Medidas De Capacidade Térmica E Calor Específico

As mudanças que se fizeram necessárias para o bom funcionamento do calorímetro foram: O fundo do copo plástico na cor azul foi isolado com um E.V.A branco e a tampa com orifício central para introdução do termômetro recebeu a mesma orientação. O copo interno de alumínio de 220 ml envolvido em isopor foi revestido por uma folha de papel A4, dobrada ao meio na posição retrato. Essas adaptações são apresentadas na Figura 10 abaixo.

**Figura 10** - Adaptações sugeridas pelo autor ao calorímetro do kit experimental 1



**Fonte:** O autor (2016)

Sugerimos ao professor que ao trabalhar com o calorímetro do kit experimental 1, faça as devidas adaptações mencionadas e leve em consideração no cálculo do calor específico a capacidade térmica deste equipamento, pois as adaptações são simples e fáceis de serem aplicadas ao equipamento e que podem garantir o nível de confiabilidade, facilitando, assim, o trabalho do professor e a aprendizagem do aluno. Em nossos testes, com esse procedimento, obtivemos o valor de  $7,8 \text{ cal/}^\circ\text{C}$  para sua capacidade térmica.

Após essa breve revisão do conteúdo, de conhecer as adaptações e sugestões empregadas ao calorímetro apresentamos algumas atividades práticas relacionadas ao conteúdo e equipamento, visando melhorar o processo de ensino-aprendizagem, como também de avaliar seu alcance.

### 3.2 PRÁTICA IV: DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO

#### Objetivo:

Determinar a capacidade térmica do calorímetro do kit experimental 1;

#### Materiais:

01 calorímetro;  
 01 balança digital;  
 01 bécker de vidro de 250 ml;  
 01 resistência para aquecer o bécker contendo água;  
 01 termômetro de álcool ou mercúrio (-10 a 110 °C);  
 200 ml de água.

#### Procedimentos:

1. Meça 50 g de água, em temperatura ambiente, e coloque no calorímetro, anotando a temperatura do sistema após o equilíbrio térmico.  $m_{\text{água fria}} = \text{_____ g}$ ;  $T_i = \text{_____ } ^\circ\text{C}$ ;
2. Meça 100g de água e coloque para aquecer.  $m_{\text{água quente}} = \text{_____ g}$ ;
3. Retire a água do aquecedor após a temperatura ultrapassar 80°C;
4. Com o auxílio do termômetro, mexa a água para uma maior homogeneidade e meça a temperatura de equilíbrio da água quente, mas não demore muito para que a temperatura da água não baixe muito;
5. Rapidamente abra o calorímetro, coloque a água quente, e feche-o;
6. Meça a temperatura final de equilíbrio térmico  $T_F = \text{_____ } ^\circ\text{C}$ ;
7. Com os dados obtidos, usando o calor específico da água igual a 1,0 cal/g.°C, determine a capacidade térmica do calorímetro utilizando a equação (9):

$$m \cdot c \cdot (T_F - T_i)_{\text{Água fria}} + m \cdot c \cdot (T_F - T_i)_{\text{Água quente}} + C (T_F - T_i)_{\text{Calorímetro}} \quad (9)$$

**Análise e discussão:**

Repita os procedimentos (1 a 7), por no mínimo três vezes, e faça uma média aritmética dos valores de capacidade térmica obtidos. Esse processo fará com que o valor da capacidade térmica obtida fique mais preciso. Recomenda-se que após a primeira utilização do calorímetro, devem-se secar as partes úmidas com o auxílio de um pano ou papel toalha seco. Caso a folha de papel A4 esteja úmida, substitua-a imediatamente por outra seca e limpa. Essas recomendações evitarão que possíveis trocas de calor indesejadas influenciem nas medidas de capacidade térmica obtidas.

Sugere-se ao professor, como forma de contextualizar a utilização do conteúdo e equipamento, os seguintes questionamentos:

a) Qual foi o valor encontrado para a capacidade térmica do calorímetro?

---

b) O que diz o princípio das trocas de calor?

---

---

c) O que é a capacidade térmica de um corpo?

---

---

d) O que significa um calorímetro ser denominado ideal?

---

---

e) Agora que você realizou o experimento, explique com suas palavras o princípio de funcionamento de um calorímetro.

---

---

f) Faça um levantamento sobre as possíveis fontes de erros experimentais, para a medida da capacidade térmica do calorímetro.

---

---

---

### 3.3 PRÁTICA V: DETERMINAÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO DE UMA AMOSTRA DE COBRE OU ALUMÍNIO

**Objetivo:**

Determinar a calor específico de uma amostra de cobre ou alumínio;

**Materiais:**

- 01 calorímetro;
- 01 amostra de cobre;
- 01 amostra de alumínio;
- 01 balança digital;
- 01 bécker de vidro de 250 ml;
- 01 resistência para aquecer o bécker contendo água;
- 01 termômetro de álcool ou mercúrio (-10 a 110 °C);
- 200 ml de água.

**Procedimentos:**

1. Coloque no calorímetro uma peça metálica, cuja massa deve ser aferida.  $m_{peça\ metálica} =$  \_\_\_\_\_ g;
2. Meça 50 g de água, em temperatura ambiente, e coloque no calorímetro, anotando a temperatura do sistema após o equilíbrio térmico.  $m_{água\ fria} =$  \_\_\_\_\_ g;  $T_i =$  \_\_\_\_\_ °C;
3. Meça 100g de água e coloque para aquecer.  $m_{água\ quente} =$  \_\_\_\_\_ g;
4. Retire a água do aquecedor após a temperatura ultrapassar 80°C;
5. Com o auxílio do termômetro, mexa a água para uma maior homogeneidade e meça a temperatura de equilíbrio da água quente, mas não demore muito para que a temperatura da água não baixe muito;
6. Rapidamente abra o calorímetro, coloque a água quente, e feche-o;
7. Meça a temperatura final de equilíbrio térmico.  $T_F =$  \_\_\_\_\_ °C;

8. Com os dados obtidos, usando o calor específico da água igual a  $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ , determine o calor específico da peça metálica utilizando a equação (10):

$$m \cdot c \cdot (T_F - T_I)_{\text{Água fria}} + m \cdot c \cdot (T_F - T_I)_{\text{Água quente}} + m \cdot c \cdot (T_F - T_I)_{\text{Peça metálica}} + C \cdot (T_F - T_I)_{\text{Calorímetro}} \quad (10)$$

9. Consulte a literatura e determine o erro experimental para o calor específico do cobre e do alumínio, utilizando a equação (11).

$$\Delta\% = \frac{|Valor_{\text{Teórico}} - Valor_{\text{Experimental}}|}{Valor_{\text{Teórico}}} \cdot 100 \quad (11)$$

**OBSERVAÇÃO:** Se o desvio percentual entre o valor teórico e o valor experimental ficar abaixo de 10 %, suas medidas encontram - se dentro do tolerável, portanto, são confiáveis.

### **Análise e discussão:**

É recomendável que se leve em consideração no cálculo do calor específico a capacidade térmica do calorímetro. Além disso, após a primeira utilização do calorímetro, devem-se secar as partes úmidas com o auxílio de um pano ou papel toalha secos. Caso a folha de papel A4 esteja úmida, substitua-a imediatamente por outra seca e limpa. Essas recomendações evitarão que possíveis trocas de calor indesejáveis influenciem nas medidas de calor específico.

Sugere-se ao professor como forma de contextualizar a utilização da prática experimental os seguintes questionamentos:

a) As medidas obtidas para o calor específico do cobre ou alumínio são confiáveis? Justifique.

---

b) Por que é importante levar em consideração no experimento à capacidade térmica do calorímetro?

---

---

c) Faça um levantamento sobre as possíveis fontes de erros experimentais.

---

---

d) Agora que você realizou o experimento, escreva sua conclusão sobre o que é o calor específico de uma substância?

---

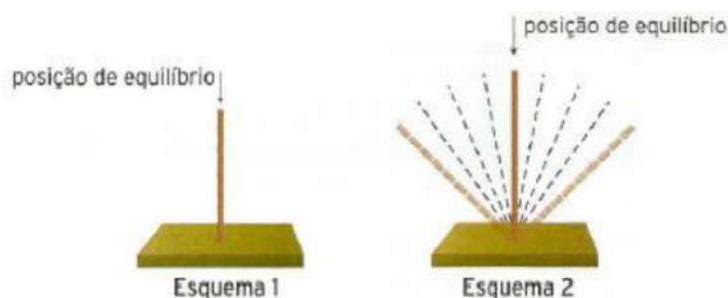
---

# *Oscilações*

#### 4 MOVIMENTO OSCILATÓRIO

Em princípio, “um movimento é oscilatório quando ocorre periodicamente em torno de uma posição central, conhecida como posição de equilíbrio” (STEFANOVITS, 2013, p. 135). Para exemplificar o que é um movimento oscilatório, imagine uma lamina flexível ou uma régua presa perpendicularmente a um suporte como mostra a Figura 11 a seguir. Todos os pontos que constituem a régua estão em posição de equilíbrio (esquema 1). Se inclinarmos a extremidade dessa e soltarmos, todos os pontos passam a realizar um movimento oscilatório em torno da mesma posição central de equilíbrio (esquema 2).

**Figura 11** - Representação dos esquemas do movimento da régua



**Fonte:** STEFANOVITS (2013, p. 135)

Dessa forma, “as oscilações correspondem a vibrações localizadas enquanto que as ondas estão associadas à propagação” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 39). Na natureza, encontramos uma infinidade de movimentos oscilatórios como, por exemplo, os movimentos do pêndulo de um relógio, de uma criança que brinca num balanço ou o batimento das asas de um beija-flor. A nossa fala, audição e visão, também são frutos de fenômenos oscilatórios.

Dois exemplos de movimento oscilatório merecem destaque na Física, são eles: o movimento oscilatório de um corpo suspenso por um fio, conhecido como *pêndulo simples* e as oscilações de um corpo preso a uma mola, conhecido como *sistema massa-mola*.

#### 4.1 GRANDEZAS RELEVANTES NO MOVIMENTO OSCILATÓRIO

De um modo geral, as oscilações são caracterizadas pelo movimento de vaivém de um ponto em relação a uma posição de equilíbrio, ou seja, algo oscila para cima e para baixo, para frente e para trás, ou ainda, para direita e para esquerda (PERUZZO, 2012b). Por se tratar de um movimento repetitivo, a análise das oscilações pode ser realizada pelos conceitos de período, frequência e amplitude. Assim, temos que:

O período ( $T$ ) do movimento oscilatório é o intervalo de tempo necessário para o corpo realizar uma oscilação completa (movimento de ida e volta).

A frequência ( $f$ ) do movimento oscilatório é o número de oscilações completas realizadas pelo corpo em certo intervalo de tempo.

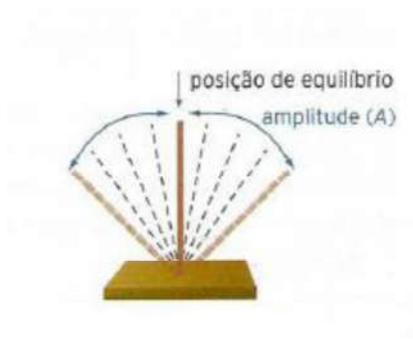
A relação entre período e frequência é dada por:

$$T = \frac{1}{f} \quad (12)$$

Em que, o período é medido em segundos ( $s$ ) e a frequência é medida em ( $Hz$ ).

Por fim, a amplitude é outra grandeza importantíssima no movimento oscilatório. Ela corresponde a medida de maior distância em relação à posição de equilíbrio, conforme a Figura 12.

**Figura 12** - A amplitude de um movimento oscilatório



**Fonte:** STEFANOVITS (2013, p. 135)

De acordo a Figura 12, o comprimento da trajetória do movimento oscilatório é sempre o dobro de sua amplitude.

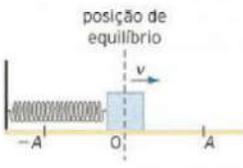
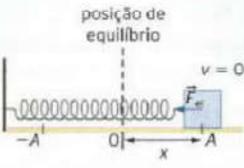
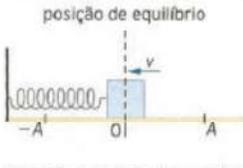
#### 4.2 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (MHS)

O movimento harmônico simples (MHS) é um movimento periódico em que um corpo realiza sucessivas oscilações em torno de uma posição de equilíbrio no qual está submetido a uma força restauradora. A aceleração desse tipo de movimento é dirigida para a posição de equilíbrio e sua intensidade é proporcional à distância em relação à posição de equilíbrio (HALLIDAY, 2009; MACHADO, 2000; NUSSENZVEIG, 2002; PERUZZO, 2012b; STEFANOVITS, 2013).

#### 4.3 SISTEMA MASSA-MOLA

Um caso típico de MHS é o sistema massa-mola, formado por um corpo preso a uma mola que oscila periodicamente em torno de uma posição de equilíbrio (NUSSENZVEIG, 2002; PERUZZO, 2012b; STEFANOVITS, 2013). Para deslocar um corpo de sua posição de equilíbrio, em se tratando de um sistema massa-mola, é preciso esticar ou comprimir a mola presa ao corpo, que ao ser liberado, tende a voltar à posição de equilíbrio. Esse tipo de movimento se dá no sentido contrário ao do deslocamento inicial que ocasionou a deformação da mola. Dessa forma, a força elástica  $\vec{F}_{el}$  atua como a força restauradora, responsável pelo fato de o corpo oscilar em torno da posição de equilíbrio. A Figura 13 apresenta os esquemas de seis momentos distintos de um sistema massa-mola, considerando um plano horizontal sem atrito.

**Figura 13** – Representação dos distintos momentos presentes no sistema massa-mola

Posição de equilíbrio $x = 0$	Distensão máxima $x = A$	Retorno à posição de equilíbrio $0 < x < +A$
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• A mola está na posição de equilíbrio.</li> <li>• A força elástica é nula, pois a mola está relaxada; porém o corpo tem velocidade, o que acarreta a distensão da mola.</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• A mola apresenta distensão máxima.</li> <li>• A força elástica é máxima, e a velocidade é nula.</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• A mola está voltando à posição de equilíbrio.</li> <li>• O corpo tem velocidade no mesmo sentido da força elástica.</li> </ul>
Posição de equilíbrio $x = 0$	Compressão $-A < x < 0$	Compressão máxima $x = -A$
 <ul style="list-style-type: none"> <li>• A mola está na posição de equilíbrio.</li> <li>• A força elástica é nula, porém o corpo ainda tem velocidade.</li> <li>• Por inércia, ocorre a compressão da mola.</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• A mola está sendo comprimida.</li> <li>• A força elástica volta a atuar, mas no sentido contrário ao da velocidade.</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• A mola sofre compressão máxima.</li> <li>• A força elástica é máxima e a velocidade é nula.</li> </ul>

**Fonte:** STEFANOVITS (2013, p.137)

#### 4.4 PERÍODO DO SISTEMA MASSA-MOLA

Uma das variáveis mais marcantes no MHS é o período, devido sua regularidade ser muito útil nas medições de tempo, determinação de massa e constante elástica de uma mola (PERUZZO, 2012b; STEFANOVITS, 2013). O período ( $T$ ) de um oscilador massa-mola é dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (13)$$

Em que, a massa  $m$  e a constante elástica da mola  $k$ , são expressos em unidades no SI. Como o período só depende de  $m$  e  $k$ , a oscilação de um sistema massa-mola ideal apresenta o mesmo período tanto na horizontal quanto na vertical.

Sendo o período o inverso da frequência, temos:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (14)$$

Sendo  $k$  uma constante, a qual depende da mola, a partir de (14) percebe-se que, aumentando-se a massa  $m$  suspensa, a frequência de oscilação diminui ou o período de oscilação aumenta.

Outra constatação importante do período de um sistema massa-mola é que ele não depende da amplitude e nem da gravidade local. Assim, o movimento do referido sistema terá o mesmo período na Terra ou em qualquer outro planeta. Essa comprovação é importantíssima para medir a massa de um astronauta a bordo de uma espaçonave. Como não é possível usar uma balança, devido ao estado de imponderabilidade, usa-se uma cadeira que acoplada a molas funciona como um sistema massa-mola. O mesmo está atrelado a um cronômetro que afere o período que o sistema levou para realizar uma oscilação. Conhecendo-se o período e a constante elástica da mola e substituindo na equação do período, obtém-se a massa do astronauta. A Figura 14 apresenta o sistema descrito.

**Figura 14** - Astronauta se posicionado na cadeira para determinação de sua massa



**Fonte:** <http://www.zerognews.com>. Acesso em: 20 dez. 2016

Após essa breve revisão do conteúdo, apresentamos uma atividade prática visando melhorar o processo de ensino-aprendizagem, como também de avaliar o alcance do mesmo.

#### 4.5 PRÁTICA VI: OSCILADOR HARMÔNICO SIMPLES (SISTEMA MASSA-MOLA)

##### **Objetivos:**

Estudar e compreender o movimento harmônico simples presente no sistema massa-mola observando que um corpo elástico obedece à lei de Hooke;

##### **Materiais:**

- 01 suporte universal;
- 01 haste vertical;
- 01 fixador metálico para pendurar a mola;
- 01 mola helicoidal A (mola com maior diâmetro do kit 1);
- 01 conjunto de massas aferidas do kit 01;
- 01 cronômetro do kit 1;
- 01 fita crepe;
- 01 tesoura sem ponta;
- 01 calculadora;
- 01 balança digital.

##### **Procedimentos:**

1. Montar os materiais necessários para o experimento conforme a Figura 15. Utilize a fita crepe para prender a régua de 30 cm na lateral da haste vertical, de modo que, o seu zero fique alinhado com a extremidade inferior da mola A;

**Figura 15** - Montagem inicial da prática do sistema massa-mola



2. Medir a massa do conjunto (60 g + gancho suporte).  $m_{\text{conjunto}} = \text{_____}$  kg. Utilizar todas as casas após a vírgula. Anotar o valor obtido no Quadro 4 na coluna (massa oscilante pendurada).
3. Pendurar no fixador metálico a mola A. Em seguida, acrescente o conjunto (60 g + gancho suporte) em sua extremidade, estabelecendo o repouso do conjunto massa-mola conforme a Figura 15 acima;
4. Afastar o conjunto (60 g + gancho suporte) cerca de 3 cm da posição de equilíbrio (3 cm é a amplitude), e liberá-lo cuidadosamente para que o conjunto massa-mola inicie um movimento oscilatório na vertical;
5. Com o cronômetro do kit 1, medir o tempo de 10 oscilações completas. Repetir esse procedimento três vezes e anotar os valores no Quadro 4 na coluna (tempo 10 oscilações);
6. Determinar o tempo médio  $\bar{t}$  das 10 oscilações. Anotar o valor no Quadro 4, na coluna (tempo médio  $\bar{t}$ );
7. Determinar o período  $T$ , isto é, o tempo gasto para realizar uma oscilação completa. Com três casas após a vírgula. Utilize a equação:  $T = \frac{\bar{t}}{n}$ . Anote o valor no Quadro 4 na coluna (período  $T$ ) utilize três casas após a vírgula;
8. Determine a frequência do período  $T$ , utilizando a equação:  $f = \frac{1}{T}$ . Anote o valor no Quadro 4;
9. Repetir os procedimentos acima, preenchendo o Quadro 4:

**Quadro 4** - Registro de dados do oscilador harmônico simples (sistema massa- mola)

	Massa + gancho suporte	Massa oscilante pendurada (kg)	Tempo 10 oscilações (s)	Tempo Médio $\bar{t}$ (s)	Período $T$ (s)	Frequência (Hz)
1	60 g + gancho suporte					
2	90 g + gancho suporte					
3	120 g + gancho suporte					
4	150 g + gancho suporte					

Fonte: O autor (2016)

### Análise e discussão

Sugere-se ao professor para que oriente os alunos que forem marcar o tempo de 10 oscilações utilizando o cronômetro que liberem também a massa oscilante. A amplitude utilizada é cerca de 3 cm abaixo da posição de equilíbrio do conjunto massa-mola. É importante acionar o cronômetro quando se libera a massa oscilante, tomando o cuidado para que ela realize um movimento oscilatório na vertical. Esses procedimentos evitarão possíveis erros nas medidas dos tempos das oscilações e, conseqüentemente, no período  $T$ . Em nossos testes obtivemos um valor de 8,5 N/m para a constante elástica  $k$  da mola A.

Aconselha-se ao professor como forma de contextualizar a utilização do experimento os seguintes questionamentos:

a) Qual é a força restauradora, responsável pelo fato do corpo oscilar em torno da posição de equilíbrio?

---

b) O que podemos perceber com o período  $T$  e a frequência  $f$ , quando aumentamos a massa  $m$  suspensa? Qual é a relação entre essas duas grandezas?

---



---

c) O período  $T$  do oscilador harmônico simples (sistema massa-mola) depende de quais variáveis?

---



---

d) Por que no cálculo do período  $T$ , desprezamos a massa da mola?

---



---

e) Determine a constante elástica  $k$  da mola para o conjunto (90 g + gancho suporte) por meio da equação:  $k = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 m$ . Utilize como  $m$  a massa oscilante pendurada e o período  $T$  do Quadro 4. Use  $\pi = 3,14$ .  $k =$  \_\_\_\_\_ N/m.

f) Determine o valor do período teórico por meio da equação:  $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ ; Use  $\pi = 3,14$ .

$$T_{\text{teórico}} = \text{_____ s};$$

g) Compare o valor do período teórico acima com o valor do período experimental no Quadro 4 e escreva a sua conclusão.

$$T_{\text{teórico}} = \text{_____ s} \quad T_{\text{Exp.}} = \text{_____ s}$$

---



---

h) Determine o valor da frequência teórica para o conjunto (90 g + gancho suporte), dada pela equação:  $f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$ ; Compare com o valor da frequência experimental do conjunto no Quadro 4, com o valor teórico da frequência obtida e escreva a sua conclusão. Use o  $k$  obtido no procedimento letra (e) e a massa oscilante pendurada do conjunto no quadro 3. Use  $\pi = 3,14$ .

$$f_{\text{teórica}} = \text{_____ Hz} \quad f_{\text{Exp.}} = \text{_____ Hz}$$


---



---

h) Imagine a seguinte situação: Você é um astronauta que está na estação espacial há duas semanas e precisa medir a sua massa. Uma balança convencional seria inútil, devido ao estado de imponderabilidade ao qual está submetido. Baseado nos conhecimentos adquiridos neste tópico, argumente qual sistema seria o ideal para a determinação de sua massa corporal.

---

---

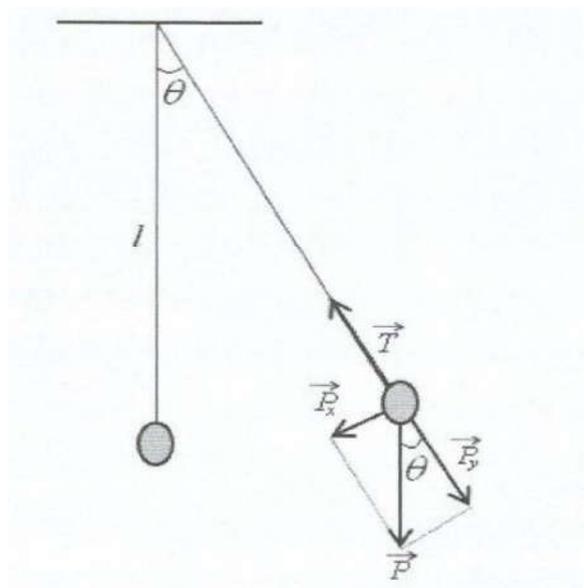
---

---

## 5 PÊNULO SIMPLES

O pêndulo simples consiste numa massa  $m$  suspensa por um fio de comprimento  $l$  que oscila em torno de uma posição de equilíbrio como, por exemplo, o pêndulo de um relógio. Quando afastado de sua posição de equilíbrio e abandonado, o pêndulo se movimenta em um plano vertical sob ação da gravidade. Esse movimento é oscilatório e periódico para pequenas amplitudes (NUSSENZVEIG, 2002; PERUZZO, 2012b; STEFANOVITS, 2013). Na Figura 16 abaixo, estão representadas as forças que atuam sobre o corpo suspenso do pêndulo simples, desprezando-se a resistência do ar e a massa do fio.

**Figura 16** - Esquema das forças atuantes na massa  $m$  do pêndulo simples



**Fonte:** PERUZZO (2012b, p. 147)

As forças que atuam na massa pendular são a tração ( $\vec{T}$ ) exercida pelo fio, e o peso ( $\vec{P}$ ) da massa. A força peso está sendo decomposta segundo as direções da reta tangente e da reta normal à trajetória da massa  $m$ . A componente tangencial do peso  $\vec{P}_x$  é a força restauradora do movimento oscilatório do pêndulo. Se as oscilações ocorrerem em ângulos pequenos ( $\theta_{max} \leq 10^\circ$ ), tem-se que o  $\text{sen } \theta \cong \theta$  (NUSSENZVEIG, 2002; PERUZZO, 2012b). Dessa forma, o movimento passa a ser harmônico e o período  $T$  do pêndulo simples pode ser calculado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (15)$$

Em que  $g$  é aceleração da gravidade,  $l$  o comprimento do fio.

A frequência de oscilação do pêndulo simples é dada por:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (16)$$

Em que  $g$  é aceleração da gravidade,  $l$  o comprimento do fio.

Analisando a equação 15 e a equação 16 conclui-se que  $T$  e  $f$  independem da massa  $m$  pendular e da amplitude de oscilação. Assim, dependem apenas do comprimento do pêndulo  $l$  e da aceleração da gravidade  $g$ .

### 5.1 LEIS DO PÊNDULO SIMPLES

**Primeira lei do pêndulo simples (lei do isocronismo):** As oscilações de pequenas amplitudes num pêndulo simples são isócronas, ou seja, apresentam a mesma duração;

**Segunda lei do pêndulo simples (lei das massas e das substâncias):** O período de um pêndulo simples é independente da massa e da substância de que é constituído o corpo oscilante;

**Terceira lei do pêndulo simples (lei dos comprimentos):** O período do pêndulo simples é diretamente proporcional à raiz quadrada do comprimento do pêndulo.

Após essa breve revisão do conteúdo, apresentamos algumas atividades experimentais visando melhorar o processo de ensino-aprendizagem e também de avaliar o alcance do mesmo.

## 5.2 PRÁTICA VII: RELAÇÃO ENTRE PERÍODO DE OSCILAÇÃO E AMPLITUDE

### Objetivo:

Compreender que para pequenas amplitudes o período de oscilação não se altera.

### Materiais:

- 01 suporte universal;
- 01 haste vertical;
- 01 fixador metálico;
- 01 massa aferida de 30 g do kit 01;
- 01 trena de 5m do kit 2;
- 01 cronômetro do kit 1;
- 01 calculadora;
- 01 m de barbante;
- 01 tesoura sem ponta.

### Procedimentos:

1. Montar o equipamento conforme a Figura 17, prendendo a massa aferida de 30 g na extremidade do fio, de modo que, o furo central fique na posição horizontal. O comprimento do fio deve ser de 0,40 m, distância aferida do fixador metálico até o centro da massa de 30 g.

**Figura 17** - Montagem inicial da prática VII



**Fonte:** O autor (2016)

2. Afastar 5 cm de sua posição de equilíbrio (5 cm é o valor da amplitude). Soltar a massa e deixar oscilar livremente.
3. Medir o tempo de 10 oscilações e determinar o período de oscilação, ou seja, o tempo de uma oscilação, utilizando três casas após a vírgula. Transcrever o resultado no Quadro 5.
4. Repetir os procedimentos acima para as amplitudes de 10 cm, 15 cm e 20 cm. Preenchendo o Quadro 5.

**Quadro 5** - Registros dos períodos das amplitudes de 5 a 20 cm

Amplitude	Tempo de 10 oscilações	Período $T(s)$
5 cm		
10 cm		
15 cm		
20 cm		

Fonte: O autor (2016)

### Análise e discussão

Sugere-se ao professor que oriente os alunos que forem marcar o tempo de oscilação utilizando o cronômetro que também liberem a massa na extremidade do pêndulo. Esse procedimento evitará possíveis erros nas medidas dos períodos. É importante frisar que o comprimento do pêndulo é a distância entre o suporte ao centro da massa suspensa.

Aconselha-se ao professor, como forma de contextualizar a utilização do experimento, os seguintes questionamentos:

- a) Observando os valores do quadro 5, podemos notar que os valores do período variam ou não variam muito para as diversas variações de amplitude utilizadas? Justifique.

---



---

- b) Esse fato nos permite concluir que para pequenas amplitudes, o período de um pêndulo simples depende ou não depende da amplitude de oscilação?

---

- c) Usando a mesma massa de 30 g, repetir os procedimentos 1,2 e 3 para uma amplitude de 30 cm. Anote o valor do período obtido com três casas após a vírgula.  $T = \underline{\hspace{2cm}}$  s.

d) O valor do período obtido no item anterior foi maior, menor ou igual aos valores presentes no quadro 5?

---

e) Acabamos de verificar experimentalmente a lei do isocronismo num pêndulo simples. Com base nos conhecimentos adquiridos nesta prática, enuncie a lei do isocronismo.

---

---

f) A análise entre período de oscilação e amplitude num pêndulo simples, nos mostrou que para pequenas amplitudes de oscilação, um pêndulo simples descreve que tipo de movimento?

---

### 5.3 PRÁTICA VIII: RELAÇÃO ENTRE PERÍODO DE OSCILAÇÃO E MASSA DO PÊNDELO

#### **Objetivo:**

Compreender o período de oscilação não depende da massa do pêndulo.

#### **Materiais:**

- 01 suporte universal;
- 01 haste vertical;
- 01 fixador metálico;
- 01 conjunto de massas aferidas do kit 01;
- 01 trena de 5m do kit 2;
- 01 cronômetro do kit 1;
- 01 calculadora;
- 01 m de barbante;
- 01 tesoura sem ponta;
- 01 fita quepe ou adesiva estreita.

#### **Procedimentos:**

1. Montar o equipamento conforme a Figura 18, prendendo a massa aferida de 30 g na extremidade do fio na posição vertical. O comprimento do fio deve ser de 0,40 m, distância aferida do fixador metálico até o centro da massa de 30 g.

**Figura 18** - Montagem inicial da prática VIII



**Fonte:** O autor (2016)

2. Afastar 10 cm de sua posição de equilíbrio (10 cm é o valor da amplitude). Soltar a massa e deixar oscilar livremente.
3. Medir o tempo de 10 oscilações e determinar o período de oscilação, ou seja, o tempo de uma oscilação, utilizando três casas após a vírgula. Transcrever o resultado no Quadro 6.
4. Repetir os procedimentos acima para as massas de 60 g, 90 g e 120g. Utilizando a fita crepe para unir as massas, caso seja necessário. Preencher o Quadro 6.

**Quadro 6** - Registros dos períodos das diferentes massas pendulares

<b>Massa pendular</b>	<b>Tempo de 10 oscilações</b>	<b>Período <math>T(s)</math></b>
30 g		
60 g		
90 g		
120 g		

**Fonte:** O autor (2016)

### **Análise e discussão**

No conjunto de massas aferidas do kit 1, não existem as massas de 90 g e 120 g. Para obter tais massas respectivamente, sugerimos ao professor utilizar as massas de (60g + 30 g) e (100 g + 20 g). Recomendamos que o professor utilize a fita crepe para unir as massas de modo a impedir a interferência da resistência do ar na execução do experimento.

Recomenda-se ao professor, como forma de contextualizar a utilização da atividade experimental, os seguintes questionamentos:

a) Observando o quadro 6, podemos notar que os valores dos períodos variam ou não variam muito, para as diversas variações de massas utilizadas?

---

b) Esse fato nos permite concluir que o período de oscilação depende ou não depende da massa do pêndulo?

---

c) Para uma mesma amplitude, se aumentarmos a massa do pêndulo o período aumenta, diminui, não se altera?

---

d) O que podemos concluir em relação ao período de oscilação e a massa do pêndulo?

---

e) Acabamos de verificar experimentalmente a lei das massas num pêndulo simples, com base nos conhecimentos adquiridos nesta prática, enuncie a lei das massas.

---

---

#### 5.4 PRÁTICA IX: RELAÇÃO ENTRE PERÍODO DE OSCILAÇÃO E COMPRIMENTO DO PÊNDULO

##### **Objetivo:**

Compreender a relação existente entre o período de oscilação e o comprimento do pêndulo.

##### **Materiais:**

- 01 suporte universal;
- 01 haste vertical;
- 01 fixador metálico;
- 01 massas aferida de 60 g do kit 01;
- 01 trena de 5m do kit 2;
- 01 cronômetro do kit 1;
- 01 transferidor didático (180°);
- 01 calculadora;
- 01 m de barbante;
- 01 tesoura sem ponta;

##### **Procedimentos:**

1. Montar o equipamento conforme a Figura 19, prendendo a massa aferida de 60 g na extremidade do fio na posição vertical. O comprimento do fio deve ser de 0,40 m, distância aferida do fixador metálico até o centro da massa de 60 g.

**Figura 19** - Montagem inicial prática IX



**Fonte:** O autor (2016)

2. Afastar  $10^\circ$  de sua posição de equilíbrio ( $10^\circ$  é o valor da amplitude). Soltar a massa e deixar oscilar livremente.
3. Medir o tempo de 10 oscilações e determinar o período de oscilação, ou seja, o tempo de uma oscilação, utilizando três casas após a vírgula. Transcrever o resultado no Quadro 7.
4. Utilizando a equação  $T = \frac{1}{f}$  calcule a frequência para o correspondente comprimento de pêndulo anotando no Quadro 7.
5. Diminuir o comprimento do fio em 10 cm, repetindo os procedimentos preenchendo o Quadro 7 abaixo.

**Quadro 7** - Registros dos períodos para os diferentes comprimentos do pêndulo

<b>Comprimento</b>	<b>Tempo de 10 oscilações</b>	<b>Período <math>T</math> (s)</b>	<b>Frequência <math>f</math> (Hz)</b>
40 cm			
30 cm			
20 cm			
10 cm			

**Fonte:** O autor (2016)

### **Análise e discussão**

Sugere-se ao professor que, ao diminuir o comprimento do fio de 10 em 10 cm durante o experimento, enrole o mesmo ao suporte. Esse procedimento fará com que se economize o barbante na realização da prática experimental. É importante frisar que o comprimento do pêndulo é a medida aferida entre o fixador metálico até o centro da massa suspensa.

Recomenda-se ao professor, como forma de contextualizar a utilização do equipamento, os seguintes questionamentos:

a) O período e a frequência dependem do comprimento do pêndulo?

---

b) O que ocorre com o período quando diminuimos o comprimento do pêndulo?

---

c) O que ocorre com a frequência quando diminuimos o comprimento do pêndulo?

---

d) Qual a relação entre período e frequência?

---

e) O que você espera que aconteça com a frequência, ao aumentarmos o comprimento do pêndulo?

---

f) O que você espera que aconteça com o período, ao aumentarmos o comprimento do pêndulo?

---

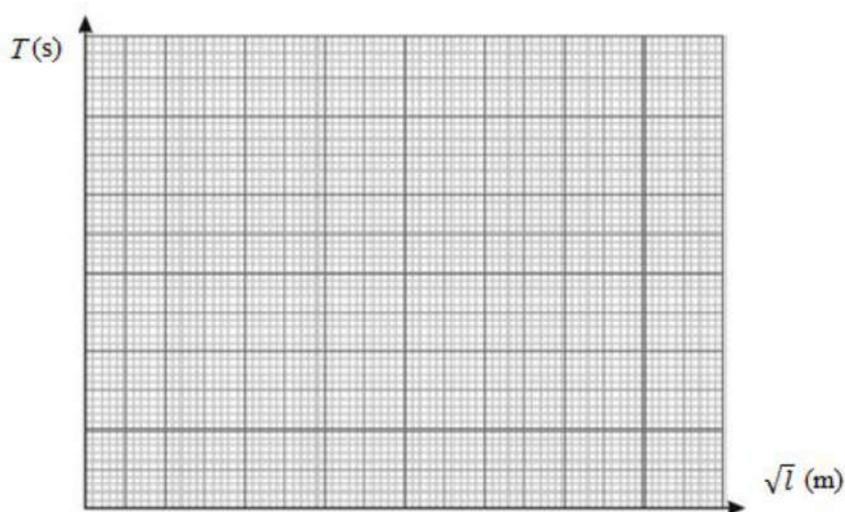
g) O que você conclui a respeito do período e da frequência de um pêndulo com comprimento fixo, se variarmos apenas a massa pendular?

---

h) O que você conclui a respeito do período e da frequência de um pêndulo com comprimento fixo, se variarmos apenas a amplitude?

---

i) Construa o gráfico do período ( $T$ ) em função da raiz quadrada do comprimento do pêndulo ( $\sqrt{l}$ ) do pêndulo simples. Qual é o aspecto do gráfico?



j) Com base no gráfico, qual a relação entre período ( $T$ ) e raiz quadrada do comprimento do pêndulo ( $\sqrt{l}$ ) de um pêndulo simples?

---

k) Verificamos experimentalmente a lei dos comprimentos num pêndulo simples, com base nos conhecimentos adquiridos nesta prática, enuncie a lei dos comprimentos num pêndulo simples.

---

---

## 5.5 PRÁTICA X: PÊNDULO SIMPLES E A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE LOCAL

### **Objetivo:**

Determinar o valor da aceleração da gravidade local por meio do movimento de um pêndulo simples.

### **Materiais:**

- 01 suporte universal;
- 01 haste vertical;
- 01 fixador metálico;
- 01 massas aferida de 60 g do kit 01;
- 01 trena de 5m do kit 2;
- 01 cronômetro do kit 1;
- 01 transferidor didático (180°);
- 01 calculadora;
- 01 m de barbante;
- 01 tesoura sem ponta;

### **Procedimentos:**

1. Montar o equipamento conforme a Figura 20 a seguir, prendendo a massa aferida de 60 g na extremidade do fio na posição vertical. O comprimento do fio deve ser de 0,40 m, distância aferida do fixador metálico até o centro da massa de 60 g.

**Figura 20** - Montagem inicial da prática X



2. Afastar  $10^\circ$  de sua posição de equilíbrio ( $10^\circ$  é o valor da amplitude). Soltar a massa e deixar oscilar livremente.
3. Medir o tempo de 10 oscilações e determinar o período de oscilação, ou seja, o tempo de uma oscilação, utilizando três casas após a vírgula. Transcrever o resultado no Quadro 8.
4. Repetir os procedimentos acima preenchendo o Quadro 8 abaixo.

**Quadro 8** - Registros dos períodos das oscilações

Nº repetições	Tempo de 10 oscilações	Período $T(s)$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
<b>Média dos períodos <math>T(s)</math></b>		

**Fonte:** O autor (2016)

5. A análise de um pêndulo simples nos mostrou que, para pequenas oscilações, um pêndulo simples descreve um MHS, portanto, seu período de oscilação pode ser descrito por:

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

$$\text{Isolando } g \text{ na equação do período, temos: } g = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot l \quad (17)$$

6. Utilizando a média dos períodos do pêndulo no quadro 7, e a equação (17) para o cálculo de  $g$  acima, determine o valor de  $g$  local.

$$g = \text{_____ } m/s^2.$$

### **Análise e discussão**

Caso os alunos tiverem dificuldades em isolar  $g$  na equação do período do pêndulo simples, o professor terá uma ótima oportunidade para demonstrar como se obtém  $g$  a partir da referida equação. Como dissemos anteriormente, recomendamos ao professor que oriente os alunos que forem marcar o tempo de oscilação utilizando o cronômetro que liberem também a massa na extremidade do pêndulo evitando assim, possíveis erros nas medidas dos períodos.

Recomenda-se ao professor, como forma de contextualizar a utilização da prática experimental, os seguintes questionamentos:

a) Sabendo que o valor teórico de  $g$  é de  $9,81 \text{ m/s}^2$ , determine o erro percentual para  $g$  experimental, utilizando a equação:

$$\Delta\% = \frac{|Valor_{\text{Teórico}} - Valor_{\text{Experimental}}|}{Valor_{\text{Teórico}}} \cdot 100$$

b) Os valores teórico e experimental de  $g$  são iguais? A que se devem as diferenças observadas entre estes dois valores?

---

---

c) O comprimento do pêndulo influencia no valor da aceleração da gravidade?

---

d) O que aconteceria com o período de um pêndulo simples se o mesmo fosse levado à Lua e lá colocado a oscilar?

---

Apresentaremos a seguir as considerações a respeito da presente proposta de ensino *caderno de atividades experimentais*.

## 6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CADERNO DE EXPERIMENTOS

A produção desse caderno de atividades experimentais realizou-se a partir da solicitação de alguns professores das escolas estaduais de Campo Mourão e região, em relação às dificuldades de utilização do kit experimental 1. O presente trabalho buscou apresentar um recurso pedagógico capaz de auxiliar os professores na utilização do kit, na elaboração e execução de suas aulas experimentais e teve a finalidade de criar oportunidades para que o ensino teórico e experimental se efetuasse em concordância.

Apesar de conter apenas atividades experimentais de simples verificação e dentro do limite que esse tipo de abordagem experimental pode proporcionar, a aplicação desse produto educacional com professores da rede pública estadual e alunos do 3º ano do curso Técnico em Informática da UTFPR – CM, possibilitou uma melhor compreensão e entendimento acerca dos conteúdos abordados. Os relatos, tanto dos professores quanto dos estudantes, revelaram indícios de motivação, engajamento e entusiasmo, sendo avaliado por eles como uma atividade prazerosa, o que entendemos ser importante para o ensino de Física.

Acreditamos que essa proposta de ensino pode ser um importante instrumento para a compreensão de conceitos, princípios e leis da física, tornando o ensino dessa disciplina mais significativo, dinâmico e consistente. Deste modo, espera-se que o presente produto educacional possa auxiliar tanto os professores da rede estadual de educação do Paraná quanto os professores das redes particular e pública de todo o país, pois o kit experimental 1 apresenta materiais básicos presentes em qualquer laboratório de física e, por consequência, pode ser adaptado e reproduzido por qualquer professor e/ou professora da área.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. **Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades**. Revista Brasileira de Ensino de Física. Rev. Bras. Ens. Fis. vol.25 no.2 São Paulo Junho 2003.

ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. **Física, v.2**. Ensino Médio – Editora: Positivo, 2013.

BARROS, Carlos; PAULINO, Wilson Roberto. **Física e Química**. Ensino Fundamental – 46. Ed. São Paulo: Ática, 1999.

BATISTA, Michel Corci e BATISTA, Danilo Corci. **Física: Atividades experimentais**. 1. ed. Maringá, Unicesumar, 2016.

BONJORNO, José Roberto; BONJORNO, Regina de Fátima Souza Azenha; BONJORNO, Valter; RAMOS, Clinton Marcico; PRADO, Eduardo de Pinho; CASEMIRO, Renato. **Física: termodinâmica, óptica, ondulatória**. 2. Ed. São Paulo: FTD, 2013.

GASPAR, A. **Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental**. 1. ed. São Paulo: Editora Ática, 2003.

GRAF, Grupo de reelaboração do ensino de física. **Física 1: Mecânica**. 7ª. Ed. São Paulo, Edusp, 2012.

\_\_\_\_\_. **Física 2: física térmica e óptica**. 7ª. Ed. São Paulo, Edusp, 2012.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física, Volume 2: Gravitação, ondas e termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

NEWTON, Villas boas; HELOU, Ricardo Doca; GUALTER, José Biscuola. **Física 2: Termologia, ondulatório e óptica**. 2.ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

MACHADO, Kleber Daum. **Equações diferenciais aplicadas à física**. 2.ed. Ponta Grossa: UEGP, 2000.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica 2: Fluidos - oscilações e ondas - calor**. 4ª Edição rev. São Paulo – Editora: Edgard Blücher, 2002.

PARANÁ, **Diretrizes curriculares da Educação Básica: Física**. Secretaria de Estado da Educação do Paraná, Curitiba, 2008.

PERUZZO, Jucimar. **Experimentos de física básica: Mecânica**. Editora: LF - São Paulo, 2012a.

\_\_\_\_\_. **Experimentos de física básica: termodinâmica, ondulatória e óptica**. Editora: LF - São Paulo, 2012b.

RAMALHO, Francisco Júnior; NICOLAU, Gilberto Ferraro; TOLEDO, Paulo Antônio de Soares. **Os fundamentos da Física: Mecânica**, 9. Ed. rev. Ampl. São Paulo: Moderna, 2007.

SOUZA, Maria Helena Soares; SPINELLI, Walter. **Guia prático para recursos de laboratório: do material à elaboração de relatórios**. Coleção: Ponto de apoio – São Paulo: Scipione, 1997.

STEFANOVITS, Ângelo. **Ser protagonista: Física v.2**. Ensino Médio. Editora: SM, São Paulo - SP, 2013.

VALADARES, Eduardo de Campos. **Física mais que divertida - inventos eletrizantes baseados em materiais reciclados e de baixo custo**. 3. Ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.

YOUNG, Hugh D. & FREDMAN, Roger A. **Física I: Mecânica**; Tradução Sônia Midori Yamamoto; Revisão técnica Adir Moysés Luiz – 12. Ed. - São Paulo: Addison Wesley, 2008.

\_\_\_\_\_. **Física II: Termodinâmica e ondas**; Tradução Cláudia Santana Martins; Revisão técnica Adir Moysés Luiz – 12. Ed. - São Paulo: Addison Wesley, 2008.