

**MNPEF**

Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



INVESTIGANDO A EQUAÇÃO DE UMA ONDA ESTACIONÁRIA NO TEMPO E  
NO ESPAÇO POR MEIO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COMO  
ORGANIZADORES AVANÇADOS

Rodrigo Carneiro da Cunha

Orientador:  
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Junior

Recife  
Janeiro, 2019.

## Sumário

|  |    |
|--|----|
| Produto Educacional .....                              | 3  |
| Apêndice A - Material de avaliação – Pré-teste .....   | 21 |
| Apêndice B - Atividade da mola Slinky - Grupo 1 .....  | 22 |
| Apêndice C - Atividade do Pêndulo - Grupo 2 .....      | 23 |
| Apêndice D - Atividade do Pêndulo e do trenzinho ..... | 24 |

## O Produto Educacional

### Confeção dos Aparatos

A atividade pedagógica desenvolvida no presente produto possui quatro aparatos experimentais. Dois dos referidos aparatos, a mola *Slinky* (Imagem 1) e a bola de bilhar presa a um suporte vertical para o pêndulo simples (Imagem 2), foram emprestados pela escola onde houve a aplicação do produto.

| <b>Imagem 1: mola <i>Slinky</i>.</b>   | <b>Imagem 2: aparato do pêndulo simples.</b>  |
|--|---|
|  |  |
| <b>Fonte:</b> acervo do autor.   | <b>Fonte:</b> acervo do autor.  |

Ainda assim, realizamos uma pesquisa de mercado, no dia 27 de dezembro de 2018, para cotar os valores atuais, tanto da mola *Slinky* quanto da bola de bilhar, referente ao kit com 10 bolas, e os valores encontrados foram R\$ 50,59<sup>1</sup> e R\$ 60,79<sup>2</sup>, respectivamente.

<sup>1</sup>Disponível em: <[https://www.lightinthebox.com/pt/p/brinquedo-educativo-mola-maluca-brinquedos-alivia-estresse-brinquedos-ornamento-em-metal-o-stress-e-ansiedade-alivio-brinquedos-de\\_p6366366.html?category\\_id=76095&prm=1.2.1.1](https://www.lightinthebox.com/pt/p/brinquedo-educativo-mola-maluca-brinquedos-alivia-estresse-brinquedos-ornamento-em-metal-o-stress-e-ansiedade-alivio-brinquedos-de_p6366366.html?category_id=76095&prm=1.2.1.1)>. Acesso em: 27 de dez. de 2018.

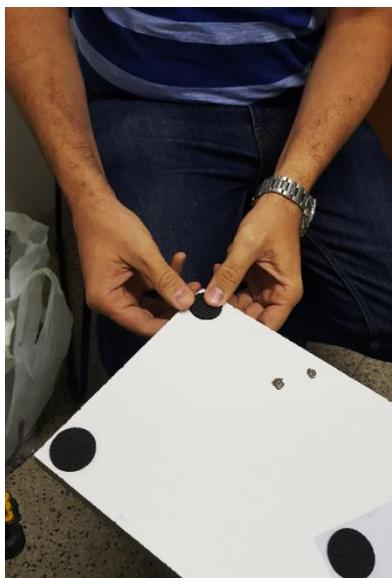
<sup>2</sup>Disponível em: <[https://www.americanas.com.br/produto/41951111/bola-para-sinuca-kit-com-10-bolas?pfm\\_carac=bola%20de%20sinuca&pfm\\_index=1&pfm\\_page=search&pfm\\_pos=grid&pfm\\_type=search\\_page%20](https://www.americanas.com.br/produto/41951111/bola-para-sinuca-kit-com-10-bolas?pfm_carac=bola%20de%20sinuca&pfm_index=1&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page%20)>. Acesso em: 27 de dez. de 2018.

Durante as reuniões de orientação para elaboração do produto, promovidas pelo professor orientador da presente dissertação, foram confeccionados outros dois aparatos educativos ao longo do ano de 2018, os quais serão detalhados a seguir.

- **Experimento do trenzinho com o pêndulo simples**

O aparato destrinchado aqui possui um suporte de madeira nas dimensões: 50 cm de comprimento, 20 cm de largura e 2 cm de espessura. Por baixo desse suporte foram dispostos quatro adesivos antiderrapantes, como demonstrado na Imagem 3.

**Imagem 3**



**Fonte:** acervo do autor.

Em cima desse suporte foram colocadas duas hastes verticais cujas especificações são 60 cm de altura, 6 cm de largura e 2 cm de espessura distantes 28 cm uma da outra. Buscando a fixação de tais hastes, foram utilizados oito parafusos e quatro cantoneiras para prender as partes de madeira conforme as imagens 4 e 5.

| Imagem 4  | Imagem 5   |
|---|--|
|  |  |
| <p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>   | <p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>  |

Na parte superior do aparato foram colocados mais dois parafusos em cada lado para reforçar as hastes verticais que estão presas à base retangular (Imagem 6).

**Imagem 6**



**Fonte:** acervo do autor.

Neste aparato, existe também uma haste horizontal de madeira que pode se movimentar variando a sua posição vertical, para, desta forma, regular o tamanho do fio do pêndulo que irá oscilar (Imagem 7).

**Imagem 7**



**Fonte:** acervo do autor.

O pêndulo de prumo mostrado na imagem a seguir foi comprado por R\$ 20,00, em agosto de 2018. Na extremidade inferior do pêndulo foi colado um pincel de tinta guache para registrar na fita de papel as oscilações geradas.

**Imagem 8**



**Fonte:** acervo do autor.

Também foi utilizado no organizador avançado 3, um trenzinho de brinquedo<sup>3</sup>, que na pesquisa de mercado realizada no dia 27 de dezembro de 2018 o valor do brinquedo foi cotado em R\$ 29,99.

No suporte de madeira anteriormente descrito foi preso, por dois parafusos de cada lado, uma caixa de plástico, a fim de manter a fita de papel presa no trenzinho, em trajetória retilínea (Imagem 9).

**Imagem 9**



**Fonte:** acervo do autor.

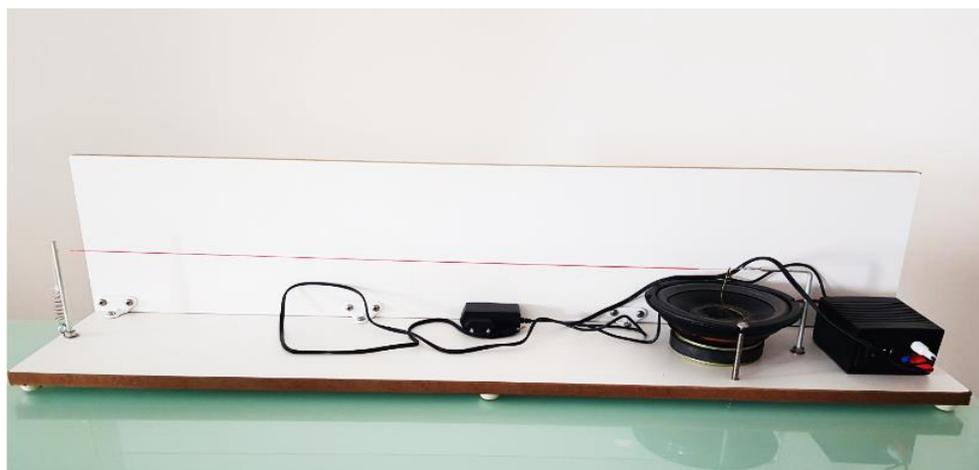
- **Experimento do Oscilador de Melde**

O aparato foi montado com duas bases de madeira de 100 cm de comprimento, 20 cm de largura e 2 cm de espessura, de tal forma que elas se conectam perpendicularmente entre si por meio de quatro cantoneiras, onde cada uma delas possui três parafusos (Imagem 10).

---

<sup>3</sup>Disponível em: <<https://www.rihappy.com.br/locomotiva-die-cast-grande-thomasefriends-hipo-xipo-fisher-price/p>>. Acesso em: 27 de dez. de 2018.

**Imagem 10:** oscilador de Melde.



**Fonte:** acervo do autor.

A utilidade da parte vertical consiste em facilitar a visualização da corda vibrante, de modo que, para dar destaque à referida corda, a pintamos com tinta fosca de artesanato vermelha<sup>4</sup>, conforme imagem anterior.

Na parte inferior do aparato foram colocadas seis sapatas de borracha brancas presas com seis parafusos e as respectivas arruelas para evitar o deslizamento quando o aparato fosse ligado (Imagens 11 e 12).

| Imagem 11   | Imagem 12  |
|---|--|
|  |  |
| <b>Fonte:</b> acervo do autor.  | <b>Fonte:</b> acervo do autor.   |

<sup>4</sup> Disponível em: <[https://www.casadaarte.com.br/tinta\\_acrilica\\_fosca\\_-\\_nature\\_colors\\_acrilex\\_60\\_ml/p?gclid=Cj0KCQiAsdHhBRCwARIsAAhRhsI3-ob8Wm0IXolynVNjLLUxMsLTQg1ja3OtSduTshQqkQIc9wf2ejcaAoBoEALw\\_wcB](https://www.casadaarte.com.br/tinta_acrilica_fosca_-_nature_colors_acrilex_60_ml/p?gclid=Cj0KCQiAsdHhBRCwARIsAAhRhsI3-ob8Wm0IXolynVNjLLUxMsLTQg1ja3OtSduTshQqkQIc9wf2ejcaAoBoEALw_wcB)>. Acesso em: 23 de dez. de 2018.

Foi utilizado um alto-falante *ETM-EG 102*<sup>5</sup>, que possui uma potência de 300 watts, diâmetro de 12 polegadas e o custo foi de R\$ 80,00 em agosto de 2018. Para fixar o alto-falante à base do aparato, aplicamos dois grandes parafusos com cerca de 10 cm cada um.

Um fio metálico de pesca de espessura 0,90 mm foi preso com cola ao alto-falante, a fim de transmitir a vibração das ondas sonoras do instrumento para o fio. Uma haste metálica (Imagem 13), fixada próxima ao alto-falante, possui um pitão de rosca, utilizado para ser amarrado ao fio de pesca. Na extremidade oposta, existe outra haste metálica a qual o fio de pesca fica preso.

**Imagem 13**



**Fonte:** acervo do autor.

Um amplificador multiuso da *Deltronica*<sup>6</sup>, cujo valor em agosto de 2018 era de R\$ 100,00, foi preso à base de madeira por meio de dois parafusos. Tal amplificador foi conectado, soldado ao alto-falante, por meio de um cabo de áudio ligado ao celular.

O aplicativo *Audio Test ToneGenerator*<sup>7</sup>, usado no experimento, foi baixado gratuitamente no *Play Store*, em maio de 2018. Tal aplicativo gera ondas

---

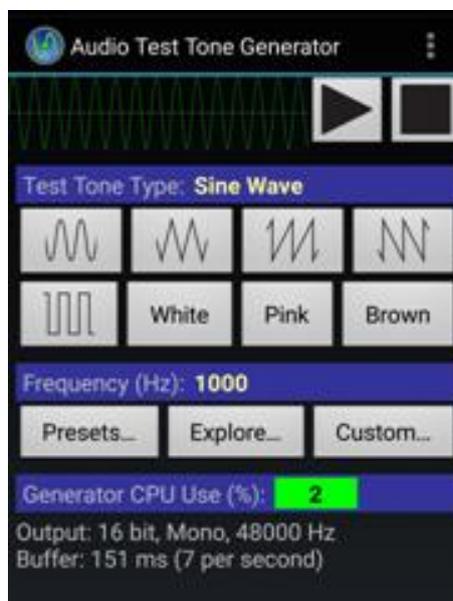
<sup>5</sup> Disponível em: <<https://lista.mercadolivre.com.br/alto-falante-etm-eg-102>>. Acesso em: 23 de dez. de 2018.

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://www.deltronica.com.br/amplificador-multiuso-deltronica-am20-rca-20wrms-110-220v-e-12v>>. Acesso em: 28 de dez. de 2018.

<sup>7</sup> Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fbrlcu.audiotest>>. Acesso em: 28 de dez. de 2018.

sonoras com as frequências desejadas de 1 Hz até 20000 Hz, com ajuste fino de décimos de milésimos de Hz.

**Imagem 14**



**Fonte:** <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fbrlcu.audiotest>>.

A partir da utilização de um estroboscópio, que faz parte dos materiais existentes em alguns laboratórios de física experimental, tanto de escolas como de universidades, pode-se gerar pulsos de flash na mesma frequência da onda gerada no aparato. Dessa forma, é possível ‘congelar’ a onda no tempo e mostrar a relação  $y$ , posição vertical de um ponto da corda, com o  $x$ , posição horizontal de um ponto da corda.

## **Roteiro de Utilização**

Nosso produto educacional é composto de um aparato experimental que consiste numa reconstrução do oscilador de Melde (organizador avançado 4), com o qual investigamos os fundamentos físicos da equação de uma onda estacionária. Analisando a propagação de uma das ondas que formam o padrão de ondas estacionárias existe a composição de dois movimentos perpendiculares, considerados independentes, sendo eles o Movimento

Horizontal Retilíneo e Uniforme (MRU) e o vertical, denominado Movimento Harmônico Simples (MHS).

Há, também, três aparatos secundários, com os quais desenvolvemos atividades de organizadores avançados necessárias à evocação ou construção, se for o caso, dos conceitos subsunçores em cima dos quais ancoraremos a aprendizagem significativa dos princípios físicos da citada equação.

Os conceitos subsunçores necessários para o decorrer da atividade educacional aqui descrita seriam os conceitos de: período, frequência, comprimento de onda, equação fundamental da ondulatória e composição de movimentos de Galileu. Se os estudantes não tiverem em sua estrutura cognitiva tais conceitos prévios, dificilmente entenderão a equação de uma onda estacionária.

No primeiro momento pedagógico, serão desenvolvidos dois organizadores avançados utilizando um pêndulo simples (organizador avançado 1) e uma mola *Slinky* (organizador avançado 2). No segundo momento pedagógico realizaremos uma atividade de reconciliação integradora dos movimentos estudados no momento pedagógico antecessor, utilizando-se do registro de movimento oscilatório de um pêndulo numa tira de papel que se movimenta uniformemente numa direção perpendicular ao movimento de oscilação do pêndulo (organizador avançado 3).

No momento pedagógico subsequente, tais movimentos serão revisitados por meio da diferenciação progressiva, empregando, em tal instante, duas atividades experimentais desenvolvidas no oscilador de Melde, objetivando facilitar a compreensão particular de cada um dos dois movimentos ali compostos, bem como da sua representação por meio da equação de uma onda estacionária.

A fim de auxiliar na visualização das atividades e dos objetivos a serem alcançados na construção do presente produto, elencamo-los na tabela a seguir:

**Tabela 1**

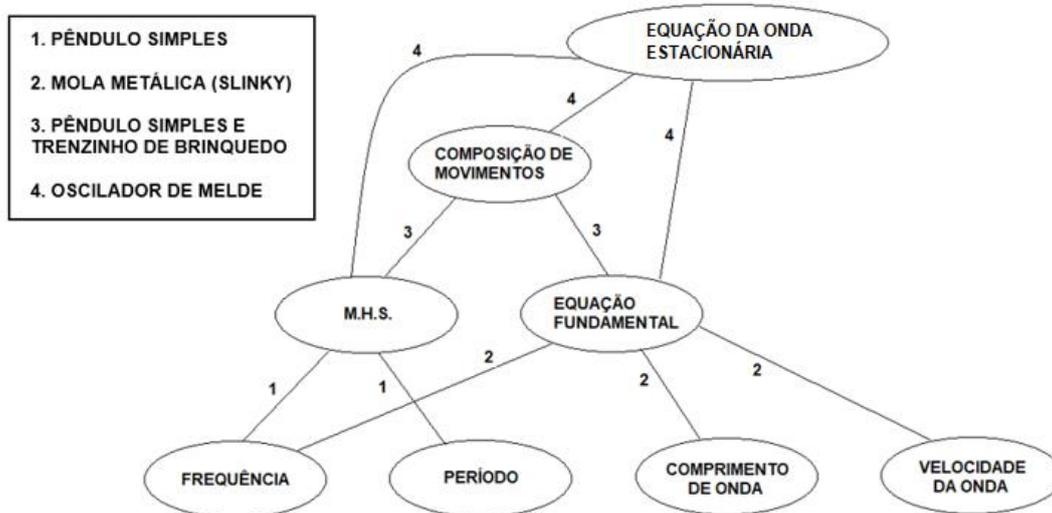
| <b>Momento pedagógico</b> | <b>Duração</b> | <b>Atividades</b>   | <b>Objetivos</b>   |
|---------------------------|----------------|---|--|
| Primeiro                  | 1,5 h          | <p>Realização de um pré-teste.</p> <p>Breve introdução teórica do assunto MHS, mostrando os movimentos periódicos e oscilatórios.</p> <p>Experimento do pêndulo simples</p> <p>Experimento da Mola Slinky.</p> <p>Depois cada grupo compartilha as suas conclusões.</p> | <p>Colher os conhecimentos prévios dos estudantes.</p> <p>Revisar pontos teóricos de Ondulatória.</p> <p>Verificar a diferença das ondas longitudinais e transversais.</p> <p>Analisar o movimento do pêndulo (MHS) e relacionar período e frequência. Verificar a relação entre o período e o comprimento do fio.</p> <p>Analisar o movimento da mola e relacionar o comprimento de onda, a frequência e o período de oscilações. Verificar a relação da tensão na mola e a velocidade de propagação da onda.</p> |
| Segundo                   | 1 h            | <p>Experimento do pêndulo simples com o trenzinho de brinquedo.</p>   | <p>Analisar a composição de movimentos de Galileu, supostamente independentes, do pêndulo (MHS) e do movimento do trenzinho (MRU). Reconciliação integradora dos dois movimentos, o MRU e o MHS.</p>   |
| Terceiro                  | 1,5 h          | <p>Oscilador de Melde</p> <p>Aplicação do pós-teste</p>   | <p>Diferenciação progressiva dos dois movimentos na corda no oscilador de Melde e a partir disso entender a representação matemática da equação de uma onda estacionária.</p> <p>Avaliar o aprendizado do estudante durante a atividade educacional</p>  |

**Fonte:** elaborado pelo autor.

Para o desenvolvimento atividade educacional aqui descrita, é imprescindível a divisão dos três momentos pedagógicos mostrada na tabela anterior. Objetivo final, o qual nos propomos alcançar ao decorrer das atividades, é o entendimento da equação de uma onda estacionária, buscando relacionar a posição vertical de um ponto da corda com a posição horizontal e o instante de tempo.

Para tanto, o mapa a seguir descreve a forma como pensamos a construção e/ou a análise da equação de uma onda estacionária, por meio da disposição ordenada dos referidos conceitos subsunçores:

### Mapa Conceitual 1



Fonte: elaborado pelo autor.

### Primeiro Momento Pedagógico (1,5 h)

No primeiro momento pedagógico será realizada uma revisão, por parte do professor, de movimentos periódicos e oscilatórios, explicando as equações que descrevem tais movimentos e mostrando alguns exemplos práticos. É pertinente haver uma breve discussão sobre a relação entre o Movimento Circular Uniforme (MCU) e o Movimento Harmônico Simples (MHS) para justificar matematicamente a equação da posição do MHS, que servirá de base para a equação de uma onda estacionária. Para exemplificar, serão realizados três experimentos, detalhados a seguir.

Na atividade educacional, inicialmente, formarão dois grupos de alunos, que realizarão procedimentos diferentes, os quais serão compartilhados no final de cada etapa. Ainda primeiro momento pedagógico, um grupo deverá realizar o experimento do pêndulo simples (organizador avançado 1), cujo objetivo é analisar um tipo de MHS e estabelecer a relação do período com a frequência e com o comprimento do fio. Tal experimento consiste de um pêndulo simples,

oscilando na vertical, cuja massa do corpo oscilante é grande o suficiente para que o amortecimento de sua oscilação não seja relevante. Ou seja, a força de resistência do ar sobre o corpo possuirá um valor desprezível comparada com a componente do peso, que fará o papel da força restauradora do MHS.

Nesse experimento, um fio de náilon terá uma de suas extremidades pendurada no teto da sala de aula e na extremidade oposta ao fio haverá um pêndulo de prumo, feito de cobre, conforme mostrado na figura a seguir:

**Imagem 17:** pêndulo de Prumo.



**Fonte:** acervo do autor.

O pêndulo de comprimento  $L$  deverá ser abandonado formando um ângulo pequeno em relação à vertical e será medido, com um cronômetro do celular, certo intervalo de tempo correspondente a cinco oscilações do mesmo. Posteriormente, determina-se o período do movimento ( $T$ ) dividindo o intervalo de tempo total por 5, ou seja,  $T = \frac{\Delta t_{TOTAL}}{5}$ . O procedimento deverá ser repetido três vezes e calcula-se uma média dos resultados para se obter o período final médio do movimento, ou seja,  $T = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$ . Com o valor médio do período  $T$ , compara-se com o período  $T'$  obtido pela equação do pêndulo simples, que é um exemplo de MHS,  $T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$ , substituindo o valor medido de  $L$  e considerando a aceleração da gravidade  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  e  $\pi = 3,14$ .

**Tabela 3**

|         | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T$ | $T'$ |
|---------|-------|-------|-------|-----|------|
| $L_1 =$ |       |       |       |     |      |
| $L_2 =$ |       |       |       |     |      |
| $L_3 =$ |       |       |       |     |      |

**Fonte:** elaborado pelo autor.

$L$  : Comprimento do fio

$T_1$  : Período determinado pelo Aluno (etapa 1)

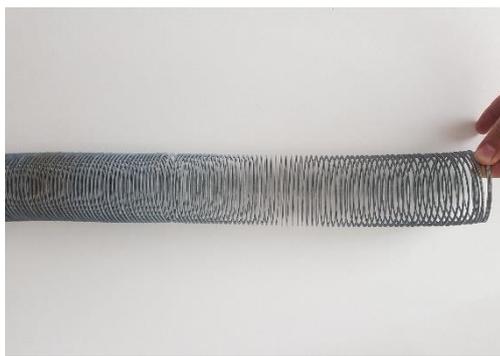
$T_2$  : Período determinado pelo Aluno (etapa 2)

$T_3$  : Período determinado pelo Aluno (etapa 3)

$T$  : Período médio

$T'$ : Período calculado pela expressão  $T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$  com o respectivo valor de  $L$

Ainda no primeiro momento pedagógico, o segundo grupo realiza o experimento da mola metálica (Imagens 15 e 16), que tem como objetivo analisar a propagação da onda na mola metálica, estabelecer as relações entre o período, a frequência e a velocidade da onda, tendo como objetivo secundário analisar a relação entre a tensão da corda e a velocidade da onda (organizador avançado 2).

| Imagem 15   | Imagem 16  |
|---|--|
|  |  |
| <p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>   | <p><b>Fonte:</b> acervo do autor.</p>  |

O experimento consiste na manipulação de uma mola de ferro por partes dos estudantes no qual eles deverão movimentar, em um plano horizontal, a mola, gerando ondas longitudinais e transversais. No caso das ondas transversais, principal objeto de estudo desse produto pedagógico, primeiramente, deverá ser medido o comprimento total da mola esticada e observar-se a quantidade de ciclos completos estabelecidos na configuração experimental.

Enquanto estão sendo geradas as ondas transversais, outro estudante deverá marcar, com o cronômetro do celular, o intervalo de tempo total ( $\Delta t_{TOTAL}$ ) relativo a  $N$  oscilações completas geradas pelo primeiro estudante e posteriormente, determinar a frequência do movimento, dividindo o número de oscilações completas pelo o intervalo de tempo total, ou seja,  $f = \frac{N}{\Delta t_{TOTAL}}$ , como  $\Delta t_{TOTAL} = 30$  fica  $f = \frac{N}{30}$ . Por fim, a partir dessas informações de comprimento de onda e frequência deverá ser possível estimar a velocidade da onda por meio da equação fundamental  $v = \lambda \cdot f$ .

Durante as medições, será possível coletar outros dados realizando, ainda, algumas modificações simples nas etapas citadas acima, por exemplo, colocando constante o comprimento da mola esticada e buscando variar apenas as frequências de oscilação e os respectivos comprimentos de onda.

**Tabela 2:** experimento da mola *slinky* no primeiro momento pedagógico.

| ETAPA PARA $L_1 =$ |   |               |                       |          |           |
|--------------------|---|---------------|-----------------------|----------|-----------|
|                    | N | $\lambda$ (m) | $\Delta t_{TOTAL}(s)$ | $f$ (Hz) | $v$ (m/s) |
| n = 0,5            |   |               |                       |          |           |
| n = 1              |   |               |                       |          |           |
| n = 1,5            |   |               |                       |          |           |
| n = 2              |   |               |                       |          |           |

**Fonte:** elaborado pelo autor.

L: Distância entre as extremidades da mola esticada

n: Número de ciclos

N: Número de oscilações geradas pelo estudante no intervalo de tempo  $\Delta t_{TOTAL}$

$\lambda$ : Comprimento de onda

$\Delta t_{TOTAL}$  : Intervalo de Tempo

$f$  : Frequência média

$v$  : Velocidade da onda

$v_{m_1}$ : Velocidade da onda (média dos quatro valores encontrados)

### **Segundo Momento Pedagógico (1,0 h)**

Após a realização simultânea dos dois experimentos anteriormente apresentados e da partilha das observações feitas entre os alunos, todos os estudantes se juntar para observação do experimento do pêndulo simples com a utilização de um trezinho de brinquedo, a fim de analisar a composição de movimentos. Em seguida, os movimentos do pêndulo e do trezinho são superpostos e deverão ser registrados em uma folha de papel (organizador avançado 3).

A utilização da composição de movimentos no experimento do pêndulo simples citado anteriormente consiste em fixar na ponta do pêndulo um pincel com tinta *guache* que registrará a trajetória de oscilação em um papel sobre uma

mesa horizontal. Esse papel deverá estar preso a um trenzinho de brinquedo, em velocidade constante, realizando um movimento retilíneo uniforme. A distância percorrida e o intervalo de tempo do trenzinho serão medidos pelos estudantes, para posteriormente calcular a velocidade da onda riscada no papel por meio da equação  $v_1 = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ .

Ao medir o período do pêndulo, calcular a frequência e medir o comprimento de onda registrado no papel será possível calcular a velocidade da onda pela expressão  $v_2 = \lambda \cdot f$  e comparar com  $v_1$  que deverá dar um valor aproximado, uma vez que, teoricamente, devem ser iguais.

O período do pêndulo pode variar em algumas etapas para obter um conjunto de valores que facilitem a análise de comparação de  $v_1$  e  $v_2$ .

**Tabela 4**

|                | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T$ | $f$ | $\lambda$ | $v_1$ | $\Delta S$ | $\Delta t$ | $v_2$ |
|----------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----------|-------|------------|------------|-------|
| E <sub>1</sub> |       |       |       |     |     |           |       |            |            |       |
| E <sub>2</sub> |       |       |       |     |     |           |       |            |            |       |
| E <sub>3</sub> |       |       |       |     |     |           |       |            |            |       |

**Fonte:** elaborado pelo autor.

E<sub>1</sub>: Etapa 1

E<sub>2</sub>: Etapa 2

E<sub>3</sub>: Etapa 3

$T_1$ : Período determinado pelo Aluno 1

$T_2$ : Período determinado pelo Aluno 2

$T_3$ : Período determinado pelo Aluno 3

$T$ : Período médio

$\lambda$ : Comprimento de onda

$f$ : Frequência média

$v_1$ : Velocidade da onda

$\Delta S$ : Distância percorrida pelo trenzinho

$\Delta t$  : Intervalo de tempo do percurso do trenzinho

$v_2$ : Velocidade do trenzinho

### Terceiro Momento Pedagógico (1,5 h)

O quarto experimento é um gerador de ondas transversais em uma corda tensa conhecido como oscilador de Melde (organizador avançado 4). O principal objetivo desse experimento é analisar as relações da ordenada  $y$  de um ponto da corda com a abscissa  $x$  e, também, com o instante analisado.

Por meio de um cabo de áudio, o professor deverá conectar o celular a um amplificador, que estará ligado a um alto-falante que vibra de acordo com frequência escolhida em um aplicativo gerador de ondas sonoras. No alto-falante existirá uma haste metálica que estará em contato com o fio de pesca, o qual vibrará também, estabelecendo ondas estacionárias com modos de vibrações diferentes.

A equação geral de uma onda estacionária estabelecida na corda é a seguinte:

$$y(x, t) = (2.A). \text{sen}(kx) \cos(\omega t) \text{ onde } \left( k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ e } \omega = \frac{2\pi}{T} \right)$$

$y$ : ordenada de um determinado ponto da corda

$x$ : abscissa de um determinado ponto da corda

$t$ : instante de tempo

$A$ : Amplitude de uma onda senoidal

$(2.A)$ : Amplitude resultante da superposição de duas ondas senoidais

$k$ : número de onda

$\omega$ : frequência angular

A utilização de um estroboscópio geraria de pulsos de flash na mesma frequência da onda gerada no aparato. Dessa forma, é possível 'congelar' a onda no tempo ( $t = 0$ ) e mostrar a relação  $y$ , posição vertical de um ponto da corda, com o  $x$ , posição horizontal de um ponto da corda, conforme a equação a seguir:

$$y(x, t) = (2.A). \text{sen}(kx) \cos(\omega t)$$

Como  $t = 0$  e  $\cos 0 = 1$ , então:

$$y(x, 0) = (2.A). \text{sen}(kx)$$

Ou seja, a função nesse caso não é de duas variáveis e sim uma função de apenas uma variável. O valor de  $y$  depende apenas do valor da variável  $x$ .

Outra forma de utilizar o aparato em conjunto com o estroboscópio dá-se ao pintar uma pequena parte da corda com uma tinta fluorescente e, mais uma vez, sincronizar o estroboscópio com o aparato experimental.

Dessa forma, é possível 'congelar' a onda no eixo  $x$  ( $x = 0$ ) e observar a oscilação do MHS na vertical sem o movimento horizontal. Ou seja, a posição  $y$  (vertical) oscila em função apenas do tempo de acordo com a equação:

$$y(x, t) = (2.A). \text{sen}(kx) \cos(\omega t)$$

Como  $x = 0$  e  $\text{sen } 0 = 0$ , então:

$$y(0, t) = (2.A). \cos(\omega.t)$$

A função, nesse caso, não é de duas variáveis e sim, uma função de apenas uma variável, isto é, o valor de  $y$  depende apenas do valor da variável  $t$ .

## **Apêndice A**

### **Material de avaliação – Pré-teste**

**01. Qual a diferença entre ondas longitudinais e transversais?**

---

---

---

---

**02. Caso uma mola oscilante, gerando ondas transversais, for esticada o que isso interfere na velocidade de propagação da onda?**

---

---

---

---

**03. Como o comprimento do fio pode se relacionar com o período de um pêndulo simples?**

---

---

---

---

**04. Quais são os movimentos existentes quando uma onda periódica se propaga numa corda tensa?**

---

---

---

---

**05. Como ‘congelar’ uma onda estacionária numa corda utilizando um estroboscópio?**

---

---

---

---

## Apêndice B

### Atividade da mola *Slinky* - Grupo 1

|         | n | $\lambda$ | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T$ | $f$ | $v$ |
|---------|---|-----------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| $L_1 =$ |   |           |       |       |       |     |     |     |
| $L_1 =$ |   |           |       |       |       |     |     |     |
| $L_1 =$ |   |           |       |       |       |     |     |     |
| $L_2 =$ |   |           |       |       |       |     |     |     |
| $L_2 =$ |   |           |       |       |       |     |     |     |
| $L_2 =$ |   |           |       |       |       |     |     |     |

L: Distância entre as extremidades da mola esticada.

n: Número de ciclos.

$\lambda$ : Comprimento de onda.

$T_1$ : Período determinado pelo Aluno 1.

$T_2$ : Período determinado pelo Aluno 2.

$T_3$ : Período determinado pelo Aluno 3.

$T$ : Período médio.

$f$ : Frequência média.

$v$ : Velocidade da onda.

## Apêndice C

### Atividade do Pêndulo - Grupo 2

|         | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T$ | $T'$ |
|---------|-------|-------|-------|-----|------|
| $L_1 =$ |       |       |       |     |      |
| $L_2 =$ |       |       |       |     |      |
| $L_3 =$ |       |       |       |     |      |

$L$ : Comprimento do fio.

$T_1$ : Período determinado pelo Aluno 1.

$T_2$ : Período determinado pelo Aluno 2.

$T_3$ : Período determinado pelo Aluno 3.

$T$ : Período médio.

$T'$ : Período calculado pela expressão  $T' = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$  com o respectivo valor de  $L$ .

## Apêndice D

### Atividade do Pêndulo e do trenzinho

|                | $T_1$ | $T_2$ | $T_3$ | $T$ | $f$ | $\lambda$ | $v_1$ | $\Delta S$ | $\Delta t$ | $v_2$ |
|----------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----------|-------|------------|------------|-------|
| E <sub>1</sub> |       |       |       |     |     |           |       |            |            |       |
| E <sub>2</sub> |       |       |       |     |     |           |       |            |            |       |
| E <sub>3</sub> |       |       |       |     |     |           |       |            |            |       |

E<sub>1</sub>: Etapa 1.

E<sub>2</sub>: Etapa 2.

E<sub>3</sub>: Etapa 3.

$T_1$ : Período determinado pelo Aluno 1.

$T_2$ : Período determinado pelo Aluno 2.

$T_3$ : Período determinado pelo Aluno 3.

$T$ : Período médio.

$\lambda$ : Comprimento de onda.

$f$ : Frequência média.

$v_1$ : Velocidade da onda.

$\Delta S$ : Distância percorrida pelo carrinho.

$\Delta t$ : Intervalo de tempo do percurso do carrinho.

$v_2$ : Velocidade do carrinho.