



SENSORIAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA O ENSINO DE ONDAS USANDO
SMARTPHONE

Alexsandro Neves Silveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Federal do Rio grande) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) - Polo 21/FURG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Arashiro
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Agueda Maria Turatti

Rio Grande
Abril de 2021

Sensoriamento de Experimentos Para o Ensino de Ondas Usando Smartphone

Alexsandro Neves Silveira

Orientador:
Prof. Dr. Everaldo Arashiro

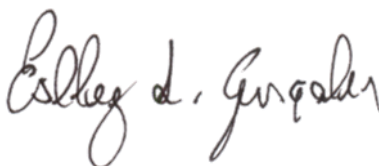
Coorientadora:
Prof^a. Dr^a. Águeda Maria Turatti

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Polo Rio Grande no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:



Prof. Dr. Everaldo Arashiro



Prof. Dr. Esley Scatena Gonçales



Prof. Dr. Cristiano Brenner Mariotti

Rio Grande
Abril de 2021

Ficha Catalográfica

S587s Silveira, Alexsandro Neves.
Sensoriamento de experimentos para o ensino de ondas usando
Smartphone / Alexsandro Neves Silveira. – 2021.
94 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –
FURG, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Rio
Grande/RS, 2021.

Orientador: Dr. Everaldo Arashiro.

Coorientadora: Dra. Agueda Maria Turatti.

1. Ensino de Física 2. Experimentação 3. Sensoriamento
4. *Smartphone* 5. Oscilações 6. Ondas Mecânicas I. Arashiro,
Everaldo II. Turatti, Agueda Maria III. Título.

CDU 53:37

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

Agradecimentos

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho, principalmente:

À minha família especialmente aos meus pais e minha namorada pelo apoio, compreensão e colaboração.

Aos meus orientadores pela colaboração, apoio e parceria.

Aos alunos que participando das atividades possibilitaram alcançar esse objetivo.

Aos meus colegas do MNPEF por engrandecer minha visão como professor nas nossas discussões.

Aos professores do MNPEF por expandir meus conhecimentos sobre a Física e pedagógicos, evoluindo o meu ser professor

RESUMO

SENSORIAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA O ENSINO DE ONDAS USANDO SMARTPHONE

Alexsandro Neves Silveira

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Arashiro
Coorientadora: Prof. Dra. Agueda Maria Turatti

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Federal do Rio Grande) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) - Polo 21/FURG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A presença do celular em sala de aula é um desafio e pretendemos, ao invés de enfrentar tentando minar sua presença nas salas de aula, usá-lo como um aliado no processo de ensino-aprendizagem nas aulas de Física. Nesse sentido criamos um experimento para estudar as ondas no interior de tubos sonoros usando o *smartphone* como suporte para realizar e monitorar o experimento. Além desse experimento usamos mais dois: sistema massa – mola e pêndulo simples, também usando os sensores presentes no celular, através do aplicativo *Phyphox*, para coletar os dados e tornando o conceito de onda mais concreto. Portanto, focamos nos conceitos de ondulatória, que é extremamente abstrato, tentando criar ferramentas para promover uma aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Ensino de Física, experimentação, sensoriamento, *smartphone*, oscilações e ondas mecânicas.

Rio Grande
Abril de 2021

ABSTRACT

SENSING OF EXPERIMENTS FOR WAVES TEACHING USING SMARTPHONE

Alexsandro Neves Silveira

Advisor: Prof. Dr. Everaldo Arashiro
Co-advisor: Prof. Dra. Agueda Maria Turatti

Master's dissertation submitted to the Postgraduate Program of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF), Polo 21 / FURG, as part of the requirements necessary to obtain the title of Master in Physics Education.

The presence of smartphones in the classroom is a challenge and we intend, instead of facing it trying to undermine its presence in the classrooms, to use it as an ally in the teaching-learning process in Physics classes. In this sense, we created an experiment to study the waves inside sound tubes using the smartphone as a support to carry out and monitor the experiment. In addition to this experiment we use two more, mass - spring system and simple pendulum, also using the sensors present in the smartphone to collect the data and make the wave concept more concrete. So we focus on wave concepts, which are extremely abstract, trying to create tools to promote meaningful learning

Keywords: Physics education, experimentation, sensing smartphone, oscillations and mechanical waves.

Rio Grande
April of 2021

Sumário

Introdução.....	8
Capítulo 1 Oscilações, ondas e acústica	9
1.1 Movimento Harmônico Simples.....	9
1.1.1 Sistema Massa – Mola.....	10
1.1.1.1 Período do Sistema Massa – Mola	12
1.1.2 Pêndulo Simples	12
1.1.2.1 Período do Pêndulo Simples.....	13
1.2 Ondas	14
1.2.1 Características das Ondas	15
1.2.2 Velocidade de Onda.....	16
1.3 Acústica	16
1.3.1 Velocidade do som no ar	16
1.3.2 Altura do Som.....	17
1.3.3 Intensidade do Som	17
1.3.4 Tubos Sonoros	18
1.3.4.1 Tubos Sonoros Abertos	19
1.3.4.2 Tubos Sonoros Fechados	19
Capítulo 2 Fundamentação Teórica.....	21
2.1 Aprendizagem Significativa	21
2.2 Experimentação e uso do <i>Smartphone</i> no Ensino de Física	23
Capítulo 3 Elaboração e Aplicação do Produto Educacional	28
3.1 Descrição da escola	28
3.2 Descrição das turmas	28
3.3 Metodologia.....	29
3.4 Aplicação do Produto Educacional.....	31
3.4.1 Pré-aplicação no primeiro semestre de 2019.....	32
3.4.2 Aplicação na turma de 2019	32
3.4.2.1 Avaliação dos Questionários sobre MHS.....	35
3.4.3 Aplicação na turma de 2020	39
3.4.3.1 Avaliação dos Questionários sobre MHS.....	42
3.4.3.2 Avaliação dos Questionários sobre ondas	45
3.5 Considerações Finais	49
Referências Bibliográficas.....	51
Apêndice A Produto Educacional.....	54
Apêndice B Questionário Movimento Harmônico Simples.....	85
Apêndice C Questionário Ondas	87
Apêndice D Roteiro para o Experimento do Sistema Massa-Mola.....	88
Apêndice E Roteiro para o Experimento do Pêndulo Simples.....	90
Apêndice F Roteiro para o Experimento do Tubo Sonoro	92

Introdução

O trajeto até chegar neste trabalho começou estudando formas de criar opções para facilitar o acesso a experimentos para professores de Física, visto que a estrutura dos laboratórios nas escolas é muito deficitária principalmente na rede pública, onde na maioria das vezes só há sala disponibilizada para o laboratório, sem equipamentos, vindo em algumas ocasiões a ser um depósito.

Foram pensadas, discutidas e avaliadas diversas formas de alcançar a construção de experimentos acessíveis, de baixo custo e que não obrigassem o professor, ao decidir usar em suas aulas, a dedicar muito tempo para dominar o funcionamento, construção e aplicação das atividades práticas. Finalmente foi escolhido usar o celular como laboratório didático nas aulas de Física devido as potencialidades que ele apresenta e também pela constante tentativa de limitar seu uso em sala de aula, mas uma boa alternativa para contornar esse problema foi transformar o *smartphone* em aliado. A ideia inicial foi criar diversas experiências que contemplariam os três anos do Ensino Médio, mas acabamos focando no desenvolvimento de atividades que abordam os conceitos de Oscilações, porque existe uma quantidade pequena de atividades pensadas para essa área, como observado na revisão feita em publicações, além de ser extremamente abstrata o que acaba dificultando a compreensão do aluno. Também é uma temática de relevante importância no nosso cotidiano, visto que as comunicações se baseiam nesses conceitos, bem como os instrumentos musicais, seja para produzir o som ou seja para a propagação do som produzido, dentre diversas outras áreas.

Então houve o desenvolvimento de um produto educacional (anexo A), onde são abordados os conceitos necessários para desenvolver as aulas teóricas e os roteiros para realizar experimentos sobre movimento harmônico simples e tubos sonoros. O produto foi construído visando potencializar o uso dos experimentos, baseado na Aprendizagem Significativa, conceito criado por David Ausubel. Se desenvolveram as aulas conceituais, antes das aulas experimentais, tentando fugir de uma aprendizagem mecânica, mas sabendo que possivelmente acabamos criando esse tipo de aprendizagem, que possui impacto no desenvolvimento do aluno, pois como Ausubel defende, podemos usar a aprendizagem mecânica para criar um ancoradouro fortalecendo uma possível aprendizagem significativa que os experimentos podem proporcionar aos alunos.

No primeiro capítulo são discutidos os conceitos de ondulatória pertinentes aos experimentos que foram desenvolvidos para o produto educacional, sistema massa-mola e pêndulo simples que estão dentro da parte que trata do movimento harmônico simples, também são apresentados os conceitos para compreender o funcionamento dos tubos sonoros. O capítulo dois levanta a fundamentação pedagógica que foi usada para criar as atividades propostas, onde foi discutido a aprendizagem significativa, o uso de experimentos no Ensino de Física e também o uso de *smartphones* como apoio para os experimentos. No terceiro e último capítulo são descritos: a escola e as turmas onde foi aplicado o produto, a metodologia que foi usada na aplicação e como foi a experiência da aplicação do produto. Ainda apresenta um comparativo das respostas que os alunos deram ao questionário aplicado antes e depois de realizarem os experimentos.

Capítulo 1

Oscilações, ondas e acústica

Se observarmos à nossa volta notamos diversas situações que se repetem ciclicamente, sendo periódicas ou semi periódicas, ou seja, oscilações. Oscilação é um movimento periódico em torno da posição de equilíbrio, quanto maior a distância de afastamento do corpo oscilante em relação à posição de equilíbrio, maior será a amplitude.

Fenômenos periódicos são os que se repetem em intervalos de tempo iguais, por exemplo, a corrente alternada que no Brasil oscila 60 vezes por segundo, podendo ser escrita como 60 Hz, o dia que dura 24 horas ou até mesmo o ano que dura 365 dias.

Fenômenos semi periódicos se repetem em intervalos de tempo quase iguais, ou seja, a cada repetição temos um tempo diferente para conclusão de um ciclo, por exemplo, as batidas do coração se repetem com um tempo muito próximo, mas oscilam devido a situações as quais nos expomos.

Algumas grandezas, como período, frequência e amplitude são importantes para o estudo dos movimentos oscilatórios e são definidas como segue:

Período (T) é o intervalo de tempo para realizar uma oscilação completa.

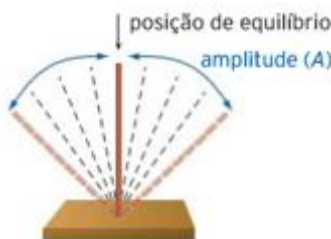
Frequência (f) é o número de oscilações completas realizadas em um intervalo de tempo, a unidade de medida no sistema internacional é o Hertz (Hz), que mede quantas oscilações há em um segundo.

A relação entre período e frequência se dá pela seguinte equação

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

A amplitude de uma oscilação é a maior distância que o corpo alcança a partir da posição de equilíbrio, esta sendo a posição onde o corpo fica estático naturalmente. Oscilação é um movimento periódico em torno da posição de equilíbrio.

Figura 1.1 – Representação de um movimento oscilatório

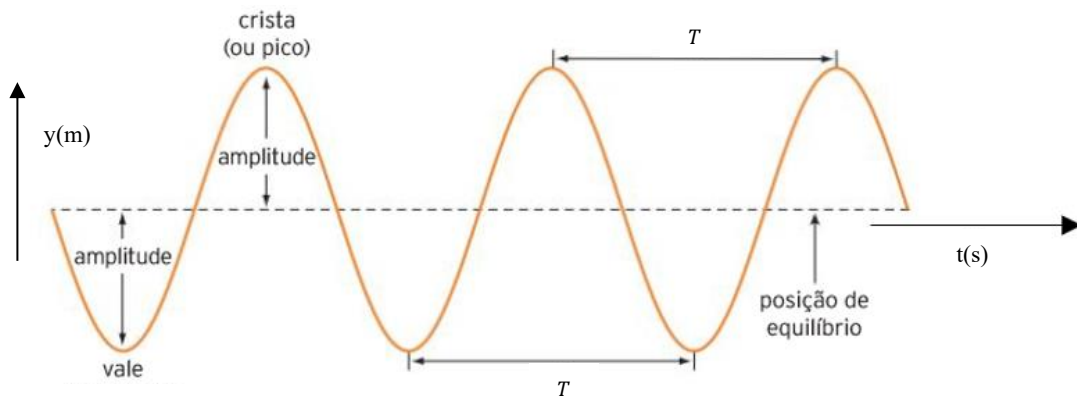


Fonte: Ser protagonista box: física

1.1 Movimento Harmônico Simples

Um movimento que se repete em intervalos de tempo similares pode ser denominado movimento harmônico simples (MHS), e pode ser representado graficamente por um gráfico senoidal, como a figura a seguir.

Figura 1.2 – Gráfico senoidal do MHS



Fonte: Ser protagonista box: física

Para determinar o período é necessário determinar o tempo entre dois picos. Existem dois modelos físicos que são mais convencionais para estudar esse tipo de movimento, o Sistema Massa-Mola e o Pêndulo Simples.

1.1.1 Sistema Massa – Mola

O sistema massa-mola é basicamente um corpo preso a uma mola oscilando em torno de uma posição de equilíbrio. A seguir vamos discutir o comportamento desse sistema do ponto de vista do deslocamento e das energias associadas aos movimentos.

As energias aparecem no sistema devido ao deslocamento da massa em relação à sua posição de equilíbrio, surgindo assim uma força em sentido contrário à força que causa esse deslocamento, denominada força elástica descrita pela Lei de Hooke. Essa força também pode ser chamada de força restauradora, uma vez que faz com que a massa retorne à posição de equilíbrio, ainda pode ser chamada de força elástica e é matematicamente descrita por:

$$F_{el.} = -kx \quad (2)$$

Onde x é o quanto afastado da posição de equilíbrio a massa está e o k é a constante elástica da mola.

Temos presente a Energia Cinética que é associada ao movimento e a Energia Potencial Elástica que é associada a posição em função da ação da mola.

A Energia Cinética é definida por:

$$E_{cin} = \frac{mv^2}{2} \quad (3) \quad \text{Onde temos a massa } (m) \text{ e a velocidade } (v).$$

E a Energia Potencial Elástica por:

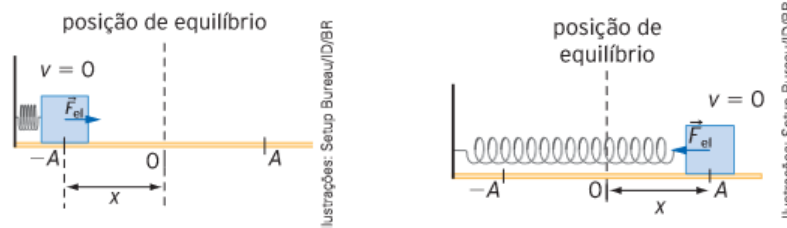
$$E_{pot.el.} = \frac{kx^2}{2} \quad (4) \quad \text{Onde temos a constante elástica da mola } (k) \text{ e a distância que a massa se afasta da posição de equilíbrio } (x).$$

Ainda podemos definir a energia total do sistema, ou Energia Mecânica:

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot.el.} \quad (5)$$

Na figura 1.3, a seguir, existem alguns pontos fixos que são as amplitudes de oscilação representados por $-A$ e A , sendo essas as posições mais afastadas da posição de equilíbrio ($x=0$ na linha pontilhada) que o corpo pode atingir.

Figura 1.3 – Exemplo de um sistema massa-mola em suas amplitudes máximas

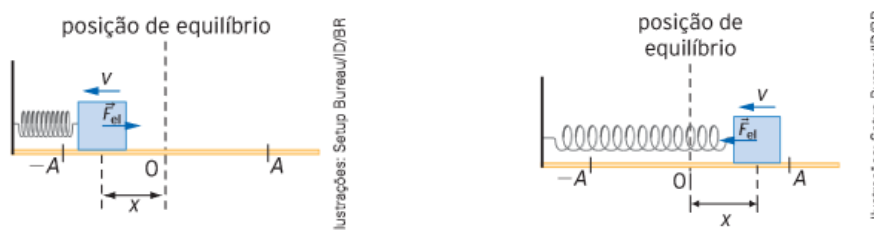


Fonte: Ser protagonista box: física

Para analisar esse sistema, assume-se que o corpo já está em movimento e que a Energia Mecânica se conserva, pois não há atrito (força dissipativa). Na figura 1.3 vemos a massa nas amplitudes, ou seja, o ponto mais afastado da posição de equilíbrio e também onde existe uma inversão do movimento, portanto temos $v=0$. Aqui a Energia potencial elástica é máxima e a Energia Cinética nula. Logo $E_{mec} = E_{pot.el.}$

Se a massa estiver em qualquer posição intermediária entre as amplitudes e a posição de equilíbrio ($-A > x > 0$ ou $0 > x > A$), como demonstrado na figura 1.4, a velocidade assume valores variáveis para cada distância da posição de equilíbrio, isso resulta que conforme a Energia Cinética diminui a Energia Potencial Elástica aumenta e vice-versa, então $E_{mec} = E_{cin} + E_{pot.el.}$

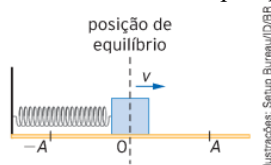
Figura 1.4 – Exemplo de um sistema massa-mola em suas amplitudes intermediárias



Fonte: Ser protagonista box: física

Quando a massa está exatamente na posição de equilíbrio, ou seja, $x=0$ (figura 1.5), por consequência, a Energia Potencial Elástica é nula e a Energia Cinética é máxima, pois o corpo tem a velocidade com o maior valor durante o movimento oscilatório, nesse ponto a $E_{mec} = E_{cin.}$

Figura 1.5 – Sistema massa-mola na posição de equilíbrio



Fonte: Ser protagonista box: física

1.1.1.1 Período do Sistema Massa – Mola

Após apresentar como é o comportamento de um movimento oscilatório periódico através do sistema massa-mola, vamos estudar a grandeza física tempo através do período de oscilação, ou seja, quanto tempo a massa leva para sair de um determinado ponto e voltar para esse mesmo ponto, efetuando assim um ciclo completo. Por exemplo: sair da amplitude A , passar pela posição de equilíbrio 0 , chegar na amplitude $-A$, voltar passando por 0 e voltar à posição A . O período de oscilação, como já visto, equivale ao inverso da frequência.

Podemos relacionar a frequência (f) com a frequência angular (ω)

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (6)$$

Para definir a frequência angular do sistema massa-mola é necessário igualar a força resultante a elástica e encontrar a equação para a aceleração:

$$ma = -kx \rightarrow a = \frac{-kx}{m}$$

Sabendo que a frequência angular pode ser escrita da seguinte forma.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (7)$$

Logo o período de oscilação é calculado por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (8)$$

1.1.2 Pêndulo Simples

Uma massa puntiforme suspensa por um fio, livre para oscilar, representa um Pêndulo Simples. É possível fazer o mesmo tipo de análise feita para o sistema massa-mola, considerando ainda um sistema conservativo, mas a Energia Mecânica fica definida como Energia Cinética somada com a Energia Potencial Gravitacional, que, nesse caso, está relacionada à posição em relação ao centro da Terra.

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot.grav.} \quad (9)$$

A Energia Potencial Gravitacional é definida por:

$$E_{pot.grav.} = m \cdot g \cdot h \quad (10)$$

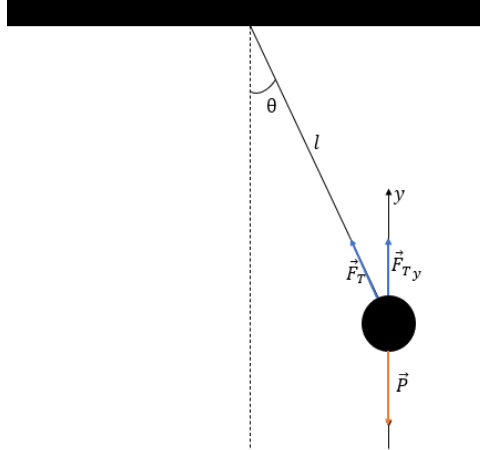
Onde m é a massa, g é a aceleração gravitacional e h a distância em relação a um ponto definido como referencial inicial.

Essa é a diferença básica entre o sistema massa-mola e o pêndulo simples. Além disso, o movimento do Pêndulo Simples se dá no eixo vertical.

1.1.2.1 Período do Pêndulo Simples

O período do Pêndulo Simples, assim como o período no sistema massa-mola, é o tempo necessário para completar uma oscilação.

Figura 1.6 – Exemplo de um Pêndulo Simples



Fonte: O Autor

A partir da figura acima é possível observar que a massa suspensa pelo fio está sujeita a força peso e a tração do fio, a força de tração pode ser decomposta em suas componentes no eixo x e no eixo y. Para construir a equação que define o período do pêndulo simples serão observadas as forças que atuam na direção y, então:

$$\vec{F}_{ry} = \vec{F}_{Ty} + \vec{P}$$

Sendo \vec{F}_{Ty} a componente da tração no eixo y, \vec{P} a força peso e \vec{F}_{ry} a força resultante na direção y. Como a aceleração se altera apenas no referencial x, a força resultante em y é nula, portanto:

$$\vec{F}_{Ty} + \vec{P} = 0 \quad (11)$$

Sabendo que $\vec{F}_{Ty} = F_T \cos(\theta)$ e $\vec{P} = mg$, a equação 11 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$F_T \cos(\theta) + mg = 0 \quad (12)$$

Como $F_T = ma$ e nesse caso a aceleração é a aceleração centrípeta $a = \omega^2 R$, reescrevendo a velocidade angular para $\omega = \frac{2\pi}{T}$, pois 2π será o deslocamento máximo de uma volta do movimento circular e T o período desse deslocamento e ainda escrevendo $R = l$, ou seja, o raio de curvatura igual ao comprimento do fio que suspende a massa, teremos:

$$a = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 l$$

$$F_T = -m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 l \quad (13)$$

Portanto a equação 12 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$-m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 l \cos(\theta) + mg = 0$$

Reescrevendo a equação para isolar o período de oscilação do pêndulo simples:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos(\theta)}{g}} \quad (14)$$

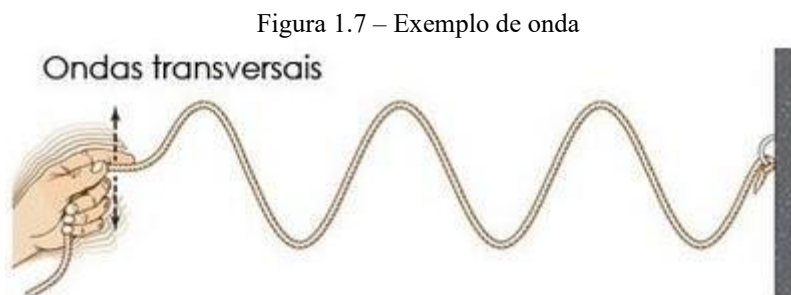
Ao realizar pequenas oscilações com pêndulo simples é possível considerar o $\cos(\theta)$ aproximadamente igual a 1, portanto:

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

A equação 15 descreve o período de oscilação de um pêndulo simples, e vale ressaltar que é válida apenas para pequenos ângulos, preferivelmente abaixo de 10° , e que independe da massa a ser utilizada.

1.2 Ondas

Se tivermos uma corda esticada e a balançarmos para cima e para baixo teremos um pulso, quando existe uma sequência periódica de pulsos caracteriza uma onda. Então uma onda é uma oscilação periódica que se propaga no espaço como demonstrado na figura abaixo.



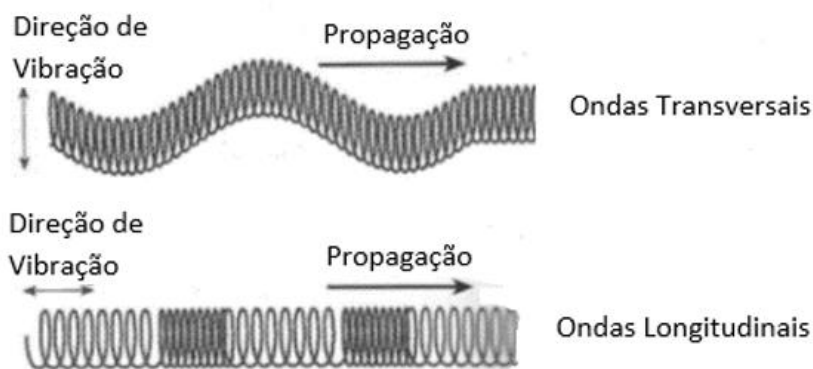
Fonte: Ondas transversais

Uma onda tem algumas propriedades, além de ser pulsos periódicos ela transporta energia, mas não transporta matéria.

1.2.1 Características das Ondas

As ondas se dividem em duas formas quanto à direção de propagação: as longitudinais e as transversais. As ondas transversais oscilam para cima e para baixo perpendicular à direção de propagação, enquanto as ondas longitudinais oscilam para frente e para trás na mesma direção da propagação, a figura 1.8 demonstra esse comportamento descrito acima.

Figura 1.8 – Ondas transversais e longitudinais

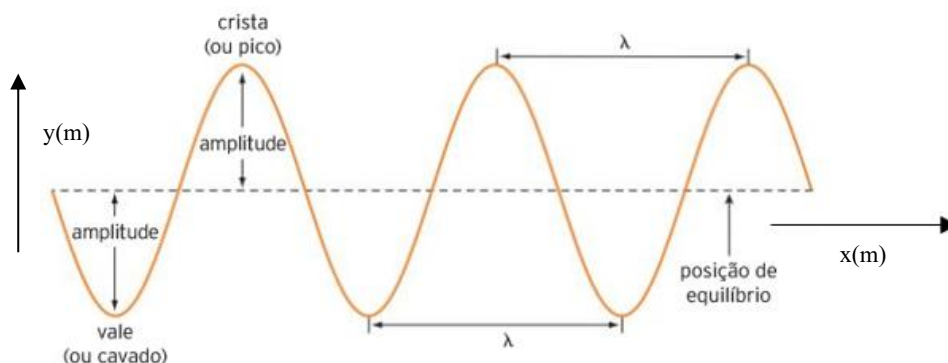


Fonte: Curso do Blog – Termologia, Óptica e Ondas, Os Fundamentos da Física

As ondas também podem ser classificadas quanto a sua natureza: mecânica, de matéria ou eletromagnéticas. As ondas mecânicas precisam de um meio para se propagar (som, ondas do mar, terremotos, entre outras), as ondas de matéria ou ondas de De Broglie descrevem como uma partícula pode ter comportamento ondulatório, já as eletromagnéticas não dependem de um meio, ou seja, podem se propagar no vácuo (Wi-Fi, Bluetooth, sinal de satélite, TV e rádio, e etc.). As ondas ainda podem ser classificadas como uni, bi ou tridimensionais.

Algumas propriedades são características das ondas, como: o ponto mais alto da onda que denominamos de crista ou pico e o ponto mais baixo da onda chamado de vale.

Figura 1.9 – Propriedades das Ondas



Fonte: Ser protagonista box: física

A amplitude é a distância de um pico ou de um vale até a posição de equilíbrio, ela representa o quanto de energia a onda está transmitindo, ou seja, quanto maior a amplitude maior a energia que a onda está transportando. Nesse exemplo, a oscilação ocorre na vertical e se propaga na horizontal.

O comprimento de onda (λ) representa um ciclo completo realizado. A maneira mais fácil de determinar é medindo a distância de um pico até o imediatamente

posterior, ou dois vales, como é possível ver na figura 1.9. Mas ele pode ser determinado através de quaisquer dois pontos que se repetem sobre a onda.

Assim como nos casos de oscilação (sistema massa-mola e pêndulo simples), as ondas possuem frequência e período. A frequência é o número de ciclos que são realizados em determinado intervalo de tempo, quando medimos em Hertz (Hz) é o número de ciclos que ocorrem em um segundo e o período é o tempo necessário para realizar um ciclo completo.

1.2.2 Velocidade de Onda

A onda percorre uma distância que chamamos de comprimento de onda em um tempo que chamamos de período. Em cinemática definimos a velocidade por:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (16)$$

Podemos afirmar que $\Delta S = \lambda$ e $\Delta t = T$, então a velocidade pode ser reescrita:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (17)$$

Ou ainda com a forma mais conhecida, denominada equação fundamental das ondas, já que a frequência é o inverso do período.

$$v = \lambda f \quad (18)$$

No caso das ondas mecânicas, a velocidade da onda varia para cada meio de propagação, pois o comprimento de onda varia dependendo do meio em que a onda se propaga, enquanto a frequência depende exclusivamente da fonte geradora.

1.3 Acústica

A acústica estuda os sons e suas propriedades, os sons são ondas mecânicas tridimensionais que se propagam em meios materiais, como o ar, líquidos e sólidos com velocidade diferenciadas. O som pode ser dividido em três tipos conforme a faixa de frequências: infrassons, intervalo audível e ultrassons. O intervalo audível é compreendido entre as frequências de 20 Hz a 20 kHz, os sons abaixo de 20 Hz são chamados de infrassons e os acima de 20 kHz ultrassons. Diversos animais tem a capacidade de ouvir os infrassons ou ultrassons, mas o intervalo audível é definido pelo intervalo de som ouvido pelos seres humanos. O som se propaga através de uma onda longitudinal capaz de criar áreas de compressão e rarefação, ou seja, a oscilação equivale a diferenças de pressão no ar que se propagam no espaço

1.3.1 Velocidade do som no ar

Como a velocidade de uma onda depende do meio em que ela se propaga, e o ar varia a densidade dependendo da altitude e da temperatura, a velocidade do som no ar varia conforme a temperatura e altitude local. A tabela 1.1 mostra a velocidade do som a nível do mar em algumas temperaturas.

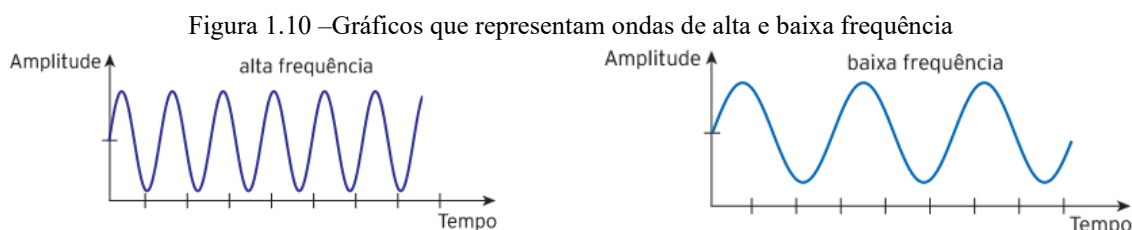
Tabela 1.1 – Velocidade das ondas sonoras
Velocidade das ondas sonoras a 1atm

0°C	331,1 m/s
10°C	337,4 m/s
20°C	343,4 m/s
30°C	349,2 m/s

Fonte: Nussenzveig, H. Moysés

1.3.2 Altura do Som

A altura do som faz referência a frequência da onda sonora. Sons de alta frequência são denominados sons agudos, já as frequências mais baixas são chamadas de sons graves. Ao analisarmos a equação fundamental das ondas, equação (18), vemos que o comprimento de onda e a frequência são inversamente proporcionais portanto, sons agudos tem um comprimento de onda pequeno e os sons graves tem comprimentos de onda grandes.

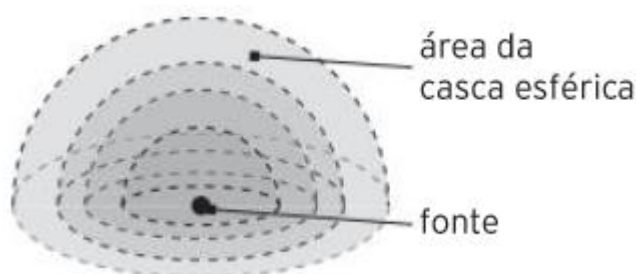


Fonte: Ser protagonista box: física

1.3.3 Intensidade do Som

A intensidade do som depende da quantidade de energia que a onda transporta, na representação gráfica da onda a intensidade é associada à amplitude de oscilação. A partir da fonte sonora as frentes de onda se propagam em todas as direções, considerando que não há nenhum obstáculo e a fonte no solo, o som se propaga como uma cúpula com várias camadas.

Figura 1.11 – Frentes de onda



Fonte: Ser protagonista box: física

Podemos calcular a intensidade como a razão entre a potência da fonte sonora e a área por onde o som se propaga.

$$I = \frac{P}{A} \quad (19)$$

A intensidade basicamente define o que costuma ser chamado de volume, com a equação acima temos a unidade de medida em W/m^2 , mas é mais comum vermos a medida em decibel (dB) que é um submúltiplo de bel, unidade de medida do nível de intensidade da sensação sonora (β), representado matematicamente por:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (20)$$

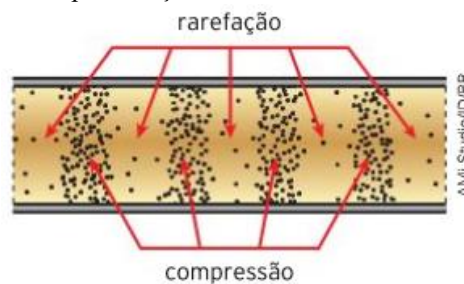
O valor de I_0 é definido como o limiar da audição ou o silêncio e vale $10^{-12}W/m^2$ e $\beta=0$.

A seguir vai ser demonstrado como ocorre a propagação das ondas sonoras no interior de tubos sonoros.

1.3.4 Tubos Sonoros

Muitos instrumentos musicais produzem som através de tubos. O que produz esses sons é a capacidade dos tubos sonoros vibrarem a coluna de ar dentro deles, criando uma onda estacionária (Figura 1.12).

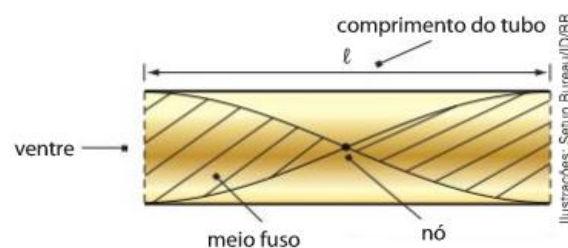
Figura 1.12 – Representação de uma onda no interior de um tubo



Fonte: Ser protagonista box: física

Nas regiões de compressão é onde ficam os nós e a pressão é máxima, nas regiões de rarefação se localizam os ventres e a pressão é mínima.

Figura 1.13 – Propriedades de uma onda no interior de um tubo

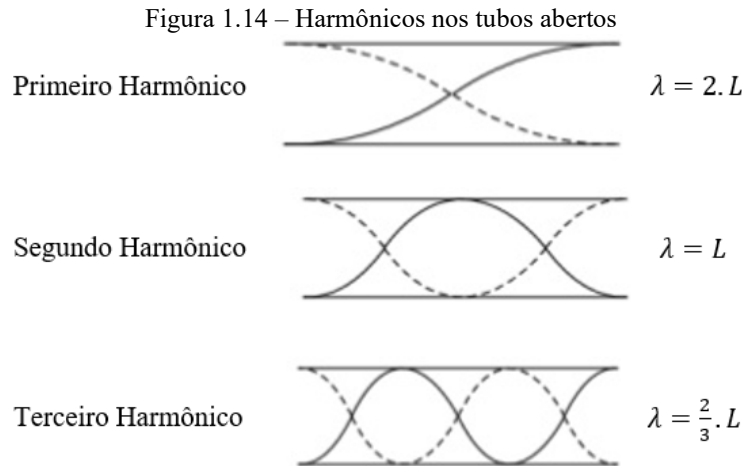


Fonte: Ser protagonista box: física

Os tubos se classificam de acordo com a configuração de suas extremidades, elas podem ser abertas ou fechadas, assim temos os tubos sonoros abertos, onde as duas extremidades são abertas, como representados nas figuras acima e os tubos sonoros fechados, onde uma extremidade é aberta e a outra é fechada.

1.3.4.1 Tubos Sonoros Abertos

Os tubos abertos possuem duas extremidades abertas e, para determinar o comprimento de uma onda mede-se a distância de um pico até o seguinte. Então, se medir a distância de um vale até um pico obtém-se metade do comprimento de onda. A figura abaixo representa os harmônicos, que são valores específicos de frequência capazes de gerar ressonância. O primeiro harmônico representa a frequência fundamental e os demais harmônicos provêm dele. Para o primeiro harmônico o comprimento de onda é igual a duas vezes o comprimento do tubo.



Fonte: Adaptado de João L.P.

Pela figura 1.14 é possível observar que o comprimento de onda varia dependendo do harmônico. Observando o comportamento do comprimento de onda para cada harmônico, a seguinte equação pode descrever o comprimento de onda para qualquer harmônico.

$$\lambda = \frac{4.L}{2.n} \quad (21)$$

Onde L é o comprimento do tubo e n o número do harmônico.

Já que para uma onda a equação (18) é válida, a frequência f_n do harmônico pode ser dada por:

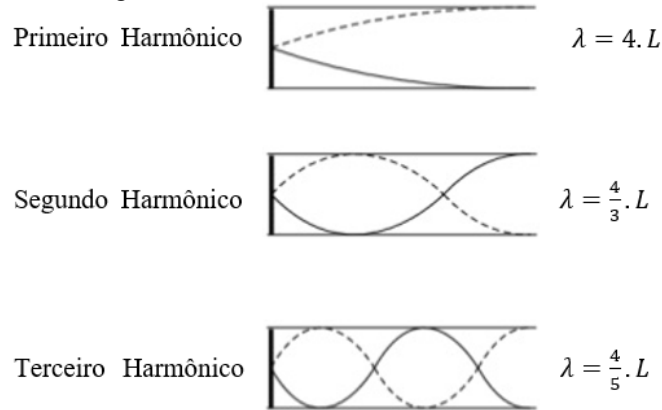
$$f_n = \frac{n.v}{2.L}, n = 1,2,3, \dots \quad (22)$$

Sendo que que a frequência fundamental faz referência ao $n = 1$ e os demais harmônicos são múltiplos desse valor.

1.3.4.2 Tubos Sonoros Fechados

Os tubos sonoros fechados têm uma configuração de harmônicos diferente dos tubos sonoros abertos, pois possuem uma das extremidades aberta e a outra fechada. Ao analisar o primeiro harmônico, podemos ver (figura 1.15) que há a representação da quarta parte de um comprimento de onda, ou seja, o comprimento de onda vale quatro vezes o comprimento do tubo.

Figura 1.15 – Harmônicos nos tubos fechados



Fonte: Adaptado de João L.P.

Percebe-se que só existem números ímpares dividindo o 4, isso significa que só existem números harmônicos ímpares quando estamos tratando dos tubos sonoros fechados. Genericamente, o comprimento de onda pode ser escrito como $\frac{4}{n}L$, mas para podermos usar a ordem dos harmônicos da mesma forma que os tubos sonoros abertos ($n = 1, 2, 3, \dots$) escrevemos:

$$\lambda = \frac{4L}{(2n - 1)} \quad (23)$$

Reescrevendo a equação fundamental das ondas para saber a frequência em termos do comprimento do tubo e do número do harmônico, temos:

$$f_{(2n-1)} = \frac{(2n - 1)v}{4L} \quad (24)$$

Identificando o tipo de tubos sonoros em que o som se propaga, abertos ou fechados, é possível determinar o número harmônico (n) através da quantidade de nós que se apresenta na representação da onda dentro do tubo (figura 1.13). Isso vale tanto para tubos sonoros abertos quanto fechados.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Apresentaremos o conceito de aprendizagem significativa que embasa o processo de ensino e aprendizagem que rege o trabalho executado. Também será discutido o ensino de oscilações e o uso de experimentação no Ensino de Física.

2.1 Aprendizagem Significativa

A aprendizagem significativa se baseia em detectarmos algum conhecimento já existente no aluno e trabalharmos o novo conhecimento a ser ensinado de forma que este se relacione com o anterior. Isso é o mais importante, segundo Ausubel (1978).

“Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigue isso e ensine-o de acordo.(apud Moreira, 2016, pág. 6)”

Esse conhecimento, já dominado pelo aluno, que precisa ser identificado e onde são alicerçados novos conhecimentos, é chamado por Ausubel de subsunçor.

“A este conhecimento, especificamente relevante à nova aprendizagem, o qual pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem, David Ausubel (1918-2008) chamava de subsunçor ou ideia-âncora.(Moreira, 2012, pág. 2)”

Então quando há aprendizagem significativa acontece uma ligação entre um conhecimento novo que está sendo aprendido e um conhecimento já existente. E quando não existe essa conexão acontece a aprendizagem mecânica, que pode vir a ser significativa no futuro.

“Quando o conteúdo escolar a ser aprendido não consegue ligar-se a algo já conhecido, ocorre o que Ausubel chama de aprendizagem mecânica, ou seja, quando as novas informações são aprendidas sem interagir com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Assim, a pessoa decora fórmulas, leis, mas esquece após a avaliação. (Pelizzari et al., 2002, pág. 2)”

Segundo (Moreira, 2016) o que diferencia a aprendizagem mecânica da significativa é a forma como o novo conhecimento interage com o subsunçor existente. Essa interação deve ser de forma não-literal e não-arbitrária, resultando em uma aprendizagem significativa, conseqüentemente, a aprendizagem mecânica se dá de forma literal e arbitrária. Mas vale ressaltar que essa relação não é dicotômica, mas sim situações extremas de um processo de ensino e aprendizagem onde pode ser interessante usar as duas formas de aprendizagem como sugerido por Novak (1977)

“A aprendizagem mecânica é sempre necessária quando um indivíduo adquire novas informações em uma área de

conhecimento que lhe é completamente nova. (apud Moreira, 2016, pág. 13)”

A aprendizagem mecânica seria uma ferramenta, dentre outras, que possibilitaria criar um subsunçor que serviria como ancoradouro para o novo conhecimento e ao longo do tempo esse subsunçor poderá ser desenvolvido através da aprendizagem significativa. Com a mesma finalidade, Ausubel propõe os organizadores prévios, que constituem de um material introdutório mais abrangente sobre o assunto a ser tratado possibilitando uma ideia inicial do assunto a ser aprofundado. Moreira diz que um organizador prévio pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo do que este.(Moreira, 2012)

Mas, obviamente, não basta detectar os subsunçores existentes nos alunos, para que a aprendizagem aconteça de forma não-literal e não-arbitrária, existem mais algumas condições para que haja a aprendizagem significativa.

“Para haver aprendizagem significativa são necessárias duas condições. Em primeiro lugar, o aluno precisa ter uma disposição para aprender: se o indivíduo quiser memorizar o conteúdo arbitrária e literalmente, então a aprendizagem será mecânica. Em segundo, o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que ser lógico e psicologicamente significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo, e o significado psicológico é uma experiência que cada indivíduo tem. Cada aprendiz faz uma filtragem dos conteúdos que têm significado ou não para si próprio.(Pelizzari et al., 2002, pág. 2)”

O processo de aprendizagem depende tanto de o professor criar um material potencialmente significativo, mas acima de tudo depende do interesse do aluno em tornar esse material significativo, pois se o aluno se relacionar com o material apresentado de forma literal e arbitrária não haverá aprendizagem significativa. Quando discutimos a aprendizagem significativa, passa a ideia de que uma vez adquirido o conhecimento nunca mais será perdido, mas como tudo o que não exercitamos com frequência acaba ficando inerte, a aprendizagem significativa tem a finalidade de o aluno racionalizar o que está sendo aprendido e não que os conhecimentos adquiridos sejam eternos, mas mesmo esquecidos existem vantagens como (Agra et al., 2017, pág.6) aponta.

“Na Aprendizagem Significativa, o esquecimento é residual, isto se deve porque o conhecimento esquecido está inserido no subsunçor e por esse motivo existem algumas vantagens, por exemplo: O conhecimento adquirido é retido e lembrado por mais tempo, o aluno aumenta sua capacidade de aprender outros conteúdos mais facilmente e mesmo que a informação original tenha sido esquecida, há facilidade em reaprender. (Agra et al., 2017, pág.6)”

Após a interação, não-literal e não-arbitrária, entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento há um princípio, introduzido por Ausubel, chamado assimilação, onde o conhecimento novo interage como o subsunçor. O cerne da "teoria da assimilação" está na ideia de que novos significados são adquiridos através da interação

do novo conhecimento com conceitos ou proposições previamente aprendidos (Moreira, 2016). O esquecimento mencionado acima era denominado por Ausubel como assimilação obliteradora.

Em consonância com tudo o que foi mostrado, esse trabalho visou criar um material didático potencialmente significativo. Considerando que em uma turma com grande número de alunos os conhecimentos prévios de cada um divergem, visando facilitar o desenvolvimento dos experimentos foi escolhida uma metodologia em que primeiro seriam expostos os conceitos que se pretende ensinar com a expectativa de que o nível médio do conhecimento da turma seja elevado. Isso possibilitaria a criação de subsunçores nos alunos através de um organizador prévio que será a aula teórica precedente à aula de atividades experimentais onde seriam realizados os experimentos apresentados no produto educacional deste trabalho. Os experimentos visam desenvolver uma aprendizagem significativa de um conceito extremamente teórico e abstrato: oscilações. Além disso, durante os experimentos faz-se uso de tecnologias que estão presente no cotidiano dos alunos, principalmente os computadores e *smartphones*, com o intuito de despertar o interesse para a aprendizagem desse conteúdo.

Nesse sentido, é importante apresentar o tema sobre o uso de Experimentação no Ensino de Física, o que será feito a seguir.

2.2 Experimentação e uso do *Smartphone* no Ensino de Física

Muitas são as dificuldades encontradas pelos alunos no processo de ensino-aprendizagem no Ensino de Física. As aulas de Física são, muitas vezes, ministradas de forma estritamente teóricas, o que pode acabar desmotivando os alunos.

“Os alunos têm o papel de ouvintes e, na maioria das vezes, os conhecimentos transmitidos pelos professores não são realmente absorvidos por eles, são apenas memorizados por um curto período de tempo e, em geral, esquecidos posteriormente, comprovando a não-ocorrência de um aprendizado significativo. (Batista et al., 2009)”

A experimentação na Física tem como objetivo implementar ações que melhorem o interesse dos estudantes pela disciplina, podendo auxiliar, também, na tomada de decisões, porque aprimora a observação, a paciência e a curiosidade, além de ser uma ferramenta fundamental na consolidação dos conceitos vistos na parte teórica.

“Hoje se verifica que, de maneira geral, a metodologia empregada no ensino de física dificulta a aprendizagem de conceitos e leis. Essa dificuldade pode estar relacionada à não utilização de recursos didáticos, como por exemplo o computador e aplicativos, nas aulas de física. (Novicki et al., 2011, pág. 11)”

Levando em consideração (Novicki et al., 2011) e tendo em vista a necessidade de experimentação nas aulas de Física, a deficiência de material ou mesmo de laboratório em grande parte das escolas de Ensino Médio são grande desvantagem para essa implementação. Por outro lado, atualmente existe a facilidade de acesso a *smartphones* por grande parte dos alunos. Isso foi usado como motivador de aprendizagem, através de experimentos que aproveitam os sensores presentes nos *smartphones* para realizar experimentos nas aulas de Física. Os experimentos são potencializadores para uma aprendizagem significativa, já que podem se relacionar com

o seu dia-a-dia, como aponta (Moura & Neto, 2011) e (Andrade et al., 2020), e agregado com o celular esse potencial é ainda maior.

“O uso de experiências auxilia o aluno a conciliar o seu cotidiano com a teoria abordada em sala de aula, pois elas apresentam a parte prática da física. (Moura & Neto, 2011, pág. 1)”

“...aplicação dessa estratégia (experimentação) de ensino consiste numa maior interação dos alunos em aula, ao despertar a curiosidade e o interesse pela disciplina Física levando assim a um desenvolvimento significativo no seu ensino. (Andrade et al., 2020)”

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) apontam que a deficiência em aliar um ensino teórico ao ensino experimental nas aulas de Física resulta em um ensino vazio de significado, o que colabora para o crescente desinteresse pela disciplina.

“O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. (BRASIL, 1998)”

A experimentação é um aliado da aprendizagem significativa, como aponta também Zanon e Silva (2000, p. 134) além de salientar a importância de valorizar as propostas desenvolvidas para experimentação, vale ressaltar que é importante incentivar a produção das mais diversas propostas.

“As atividades práticas podem assumir uma importância fundamental na promoção de aprendizagens significativas em ciências e, por isso, consideramos importante valorizar propostas alternativas de ensino que demonstrem essa potencialidade da experimentação: a de ajudar os alunos a aprender através do estabelecimento de interrelações entre os saberes teóricos e práticos inerentes aos processos do conhecimento escolar em ciência. (apud de Oliveira & da Silva, 2016, pág. 7)”

Mas, mesmo tendo a experimentação toda essa importância apresentada em um levantamento feito por (Alves & Ribeiro, 2009), entre os anos de 1971 e 2006, em periódicos nacionais na área de Ensino de Física, apresentam os principais obstáculos para o uso de experimentação:

“...os entraves, para o uso da experimentação no ensino de Física, são: carência de pesquisa sobre o que os alunos realmente aprendem por meio de experimentos, despreparo do professor para trabalhar com atividades experimentais e condições de trabalho ... é possível dizer que esta pesquisa ainda parece carecer de “foros” de discussão e de divulgação sobre a sua relevância, eficiência e benefício para o processo de ensino - aprendizagem de Física. (Alves & Ribeiro, 2009)”

O celular, cada vez mais, faz parte do cotidiano dos estudantes e banir o seu uso em sala de aula é uma tarefa complicada, portanto uma opção melhor seria tentar inseri-lo no ambiente escolar como prática educacional, tentando solucionar um dos obstáculos, condições de trabalho, contornando a precariedade estrutural dos

laboratórios de ciências. Pode-se discutir que nem todo aluno tem acesso a esse recurso, mas estudos demonstram que, entre os alunos pesquisados, 83,2% possuem celular (da Costa et al., 2012), 87% levam e usam o celular durante as aulas (Medeiros et al., 2019) e (Ribas et al., 2017), apoiado nos dados do Comitê Gestor da Internet no Brasil, aponta que 91% das pessoas na faixa etária do Ensino Médio utiliza celular. Então podemos perceber que é um recurso muito presente dentro das escolas e como a grande maioria possui está disponível para ser usado, sendo muitas vezes uma distração aos estudos. Uma simples solução à questão de como ficariam os alunos que não possuem o celular seria elaborar as atividades em grupos onde pelo menos um dos alunos possua um *smartphone*. Ainda em uma situação extrema onde nenhum aluno possua acesso, dificilmente o professor não disponibilizará desse recurso, assim podendo ser usado de forma a demonstrar algum conceito ou desenvolver a atividade a ser proposta de maneira que apenas um celular seja suficiente.

Nos são disponibilizados diversos sensores nos *smartphones* possibilitando realizar a obtenção de dados dos experimentos que se relacionem com o conteúdo visto nas aulas de Física. Os sensores atualmente disponíveis nesses aparelhos – como acelerômetro, GPS, giroscópio, termômetro, barômetro, sensores de campo magnético, intensidade sonora e luminosidade – são capazes de medir grandezas físicas em intervalos de tempo da ordem de milissegundos. Todos esses sensores podem ser utilizados em conjunto com aplicativos que leem as medidas efetuadas, mostram o resultado em forma gráfica e armazenam os dados em arquivos. Muitos desses aplicativos, como o *Phyphox*, são gratuitos, fáceis de usar e podem ser obtidos facilmente nas lojas virtuais. A diversidade de sensores encontrados nos *smartphones* torna possível desenvolver um grande número de experimentos quantitativos e observações sem a utilização de sistemas externos de aquisição de dados, que na maioria das vezes possuem preços elevados.

“A diversidade de sensores encontrados nos smartphones e tablets torna possível realizar um grande número de experimentos e observações sem a utilização de aparelhos de medida dispendiosos e difíceis de encontrar em uma escola. Mais ainda, a portabilidade dos aparelhos facilita a montagem de experimentos em salas de aula regulares, dispensando em muitos casos o deslocamento dos alunos a um laboratório. (Vieira & Aguiar, 2016, pág 8)”

Mas mesmo diante da grande disponibilidade de *smartphones* que há dentro da sala de aula e com todas as potencialidades que esse aparelho traz para o processo de ensino-aprendizagem existem diversos movimentos das escolas e também políticos com a finalidade de banir o uso dos celulares em sala de aula como apontam (Lopes & Pimenta, 2020; Medeiros et al., 2019; Ribas et al., 2017). O principal expoente dessa batalha contra o celular em sala de aula é o projeto de lei 2246/2007, de autoria do deputado Pompeo de Mattos do PDT-RS, que se aprovada, qual será a eficácia dessa lei? Além de ser ineficaz, contraria o que diversos documentos elaborados pelo MEC dizem.

“Nos documentos elaborados pelo MEC (PCNEM, PCN+EM, OCNEM, DCNGEB e as DCNEM) e na própria LDB n.º 9394/96, também se cita a necessidade de relacionar as práticas de ensino escolares com o mundo do trabalho e com as práticas sociais inerentes à vida do sujeito/estudante, para que as situações didáticas de aprendizagem trabalhadas

ganhem significado e possam ser devidamente contextualizadas.(Ribas & Grossa, 2012, pág 22)”

Não há dispositivo que mais realize interação entre as práticas sociais que o celular, principalmente entre os jovens, então inserir seu uso no ambiente escolar é trazer um elemento de seu uso cotidiano. Além disso, estamos inseridos em um mundo cada vez mais automatizado, então compreender o funcionamento dos diversos sensores existentes nos *smartphones* e interagir com eles para a coleta de dados em experimentos também está diretamente relacionado com situações que vivenciamos em nossas vidas. Diante disso, Prenski (2004) e Kolb (2008).

“...acreditam que tempo, dinheiro e energia são gastos pensando em desenvolver políticas, leis e procedimentos para manter o telefone celular fora da escola. Entretanto, este esforço deveria ser feito no sentido de pensar as possibilidades de integração deste recurso didático às práticas de ensino utilizadas na escola, para explorá-lo ao máximo, ampliando as possibilidades de internalização dos conteúdos conceituais durante as mediações pedagógicas das situações didáticas de aprendizagem.(apud Ribas et al., 2017, pág 34)”

Ainda existe a situação do ponto de vista da escola e dos professores, pois o celular com o uso descontrolado em sala de aula faz com que o aluno se desconcentre dos estudos, além de possivelmente acabar com o foco dos colegas. Então acaba acontecendo uma disputa entre escola e alunos para impedir o uso dos celulares em sala de aula, mas é uma situação que é presente e, por mais que se realizem movimentos de criação de lei ou a escola aja de maneira mais incisiva, essa situação se perpetuará, pois para os estudantes que usam *smartphone*, desde praticamente o berço, ele é um integrante muito significativo de suas vidas e isso vai ao encontro do que é constatado por (Rocha et al., 2015) quando afirma que as novas tecnologias da comunicação fazem parte da cultura e da identidade dos estudantes atuais. Então se reitera a importância de inserir o *smartphone* como aliado nos processos de ensino.

Num estudo realizado por (Rezende et al., 2009) onde avaliaram 100 trabalhos publicados em 7 dos principais periódicos do Brasil foi possível observar que nenhum dos trabalhos trata sobre o uso de celular no processo de ensino-aprendizagem. Então como apontado anteriormente é necessário haver incentivo e valorização para a criação de materiais que utilizem o celular como um recurso didático. Mais recentemente estão surgindo diversas propostas e uma iniciativa que fomenta essa produção vem da *American Association of Physics Teacher* que abriu uma seção dedicada a artigos envolvendo o uso de *smartphones* no Ensino de Física chamada *iPhysicsLabs*. Porém, ainda que seja alcançada uma situação onde diversas propostas existam, envolvendo as mais diversas áreas da Física é preciso investir na formação continuada do professor para que ele se aproprie desses recursos, pois como aponta (Santos et al., 2019), os *smartphones* como parceiros no ensino e aprendizado; podem cativar e aumentar a atenção dos alunos para as aulas, algo que hoje pode representar um desafio para muitos docentes.

Para que seja possível os estudantes e professores interagirem como os dados coletados pelos diversos sensores presentes nos *smartphones* existem diversos aplicativos disponíveis nas lojas de aplicativos como a *Play Store*, da empresa *Google*, para o sistema operacional *Android* ou a *App Store*, da empresa *Apple*, para o sistema operacional *iOS*. Dentre os aplicativos os que mais se destacam são o *Physics Toolbox Sensor Suite*, da empresa *Vieyra Software*, o *Science Journal* da *Google* e o aplicativo

Phyphox desenvolvido pela Universidade Técnica de Aachen, *RWTH Aachen University*, é um acrônimo para experimentos físicos de telefone, tradução livre, que em inglês é *physical phone experiments*. Como já discutido anteriormente e (Santos et al., 2019) aponta em um trecho retirado do próprio *site* do *Phyphox*.

“Smartphones hoje em dia já reúnem incontáveis funções que ajudam diferentes usuários em variadas tarefas. Mas além de serem computadores portáteis, eles podem também ser laboratórios portáteis. É possível medir a aceleração, campos magnéticos, o som, e até mesmo a pressão atmosférica. Para tal, basta utilizar aplicativos voltados a esse tipo de experimento, tais como o *Phyphox*.(Phyphox apud Santos et al., 2019, pág 92)”

O *Phyphox* possui uma série de recursos, além de coletar dados dos sensores dos celulares, interessantes para o uso em sala de aula como a possibilidade de visualizar os dados lidos instantaneamente e controlar o aplicativo por um navegador de internet em um computador através do espelhamento da tela apresentado pelo aplicativo no *smartphone*, possibilitando também sua projeção no quadro durante a aula para demonstrar diversos conceitos sobre os gráficos produzidos pelo *Phyphox*.

“A vantagem do aplicativo *phyphox* é que ele permite o acesso remoto ao experimento por uma interface web de qualquer computador na mesma rede do *smartphone*.(Barroso et al., 2020, pág. 2)”

Outro recurso interessante é a possibilidade de exportar os dados obtidos para diversas extensões de *software* para maior aprofundamento no experimento desenvolvido, auxiliando na compreensão dos resultados experimentais.

“Ao ganhar acesso imediato a gráficos e análises estatísticas os estudantes podem avaliar melhor o significado e implicações dos resultados experimentais.(Vieira & Aguiar, 2016, pág. 8)”

No site do *Phyphox*¹ é possível encontrar alguns experimentos que podem ser aplicados, notícias sobre eventos e dos desenvolvimentos sobre o aplicativo, fóruns de discussão entre outras possibilidades, em janeiro de 2020 foi alcançada a marca de um milhão de downloads, mostrando que a comunidade está crescendo rapidamente, pois o aplicativo foi desenvolvido em 2016.

¹ <https://phyphox.org/>

Capítulo 3

Elaboração e Aplicação do Produto Educacional

O produto educacional começou como uma ampla gama de experimentos a serem desenvolvidos ao longo dos três anos do ensino médio, mas com a participação em diversos eventos e seminários aos integrantes do polo 21 do MNPEF foi coletada uma série de considerações e foi definido junto aos orientadores que seriam apenas os três experimentos que serão apresentados a seguir.

O motivador para o desenvolvimento das atividades com o uso do celular veio de constantes tentativas da escola tentar eliminar o uso deste dispositivo das salas de aula e os constantes fracassos, já que o smartphone é parte da cultura dos alunos. Com essa visão e sabendo das potencialidades do uso de celular em atividades no Ensino de Física se começou a desenvolver o presente produto educacional.

3.1 Descrição da escola

O produto educacional foi aplicado no Colégio Sagrado Coração de Jesus, a escola conta com turmas desde as séries iniciais até o Ensino Médio. É privada e localizada na cidade de Rio Grande no bairro Cidade Nova, bairro este que fica nas proximidades do centro comercial da cidade. O bairro conta com diversos tipos de comércio, tendo um perfil social bem variado o que reflete no perfil socioeconômico dos alunos, sendo a maioria de classe média. Mas como a escola conta com um perfil filantrópico, distribuindo bolsas subsidiadas pelo MEC e pela própria escola, também conta com alguns alunos com capacidade socioeconômica menor que os demais. A escola possui uma boa infraestrutura, contando com internet Wi-Fi, um laboratório de informática, que além de sediar as aulas de informática fica disponível para as demais disciplinas, laboratório de ciências com poucos recursos, principalmente para a Física, biblioteca e auditório. Ligado ao auditório são oferecidas aulas de teatro e dança e no interior da escola há um amplo pátio com parte coberta, um pequeno parque infantil, uma cozinha que também é usada como refeitório e uma quadra de esportes coberta.

3.2 Descrição das turmas

O produto educacional foi aplicado em duas turmas, ambas turmas de segundo ano do Ensino Médio, nos anos de 2019 e 2020. A turma de 2019 tinha 22 alunos, um tamanho compatível com a estrutura da sala de aula, e a maioria dos alunos já frequentava a escola desde as séries iniciais e tinha um rendimento bom. Os alunos que foram chegando na turma se enquadraram no ritmo da mesma e esse foi o principal motivo de ter sido escolhida para a aplicação do produto. Mas devido a algumas necessidades da escola no fim do ano de 2019, não foi possível aplicar com essa turma o experimento sobre tubos sonoros, que é o terceiro experimento do produto. Então foi preciso reaplicar o produto educacional na turma de 2020. Essa era bem diferente da anterior, a turma contava com poucos alunos que frequentavam a escola desde pequenos. A principal razão disso, foi que a turma que já não era muito grande no fim do Ensino Fundamental teve muitos alunos aprovados para cursar o Ensino Médio no

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Rio Grande. Somados a esses alunos que permaneceram na escola, tiveram outros alunos vindos de outras escolas, resultando em 34 alunos no ano de 2019, no primeiro ano do Ensino Médio. Uma turma grande para a estrutura das salas da escola, então foi uma turma muito difícil de trabalhar, difícil de gerar interesse, difícil de motivar, difícil manter a atenção, difícil de controlar a conversa. Uma das razões era eles estarem muito próximos dentro da sala e outra era a imensa diversidade de personalidades e comportamentos em sala de aula. Em função disso, decidiu-se aplicar o produto educacional na turma de segundo ano de 2019, mas como já exposto não foi possível realizar a aplicação completamente. Então a turma de primeiro ano de 2019, descrita acima, progrediu para o segundo ano do Ensino Médio, contando com 30 alunos no ano de 2020. Como a aplicação do produto educacional foi incompleta em 2019 foi preciso reaplicar em 2020. Logo que iniciou o ano houve o cancelamento das aulas devido a pandemia da Covid-19, ficando as aulas no formato remoto ao longo de todo o ano de 2020, obrigando que o produto fosse aplicado nesse formato remoto.

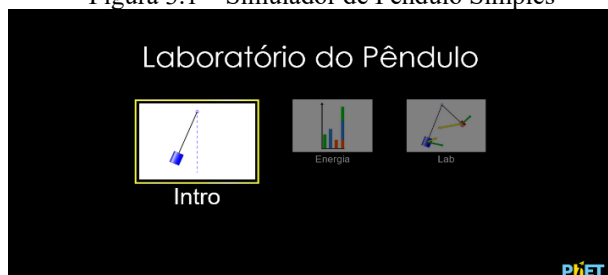
3.3 Metodologia

No presente trabalho, usando de todas as potencialidades presentes nos celulares desenvolvemos três experimentos utilizando o aplicativo *Phyphox*. O primeiro é composto de uma massa oscilante presa a uma mola, pode-se detectar o período de oscilação usando o acelerômetro do celular e, a partir dos dados obtidos determinar a constante elástica de uma mola qualquer. O segundo experimento é um pêndulo simples. Tem-se um ímã preso a uma massa para que possa ser medida a variação do campo magnético usando o magnetômetro presente no celular. Com isso, obtêm-se o período do pêndulo sendo possível determinar a aceleração gravitacional no local do experimento. E, por último, determinar-se a velocidade do som usando tubos sonoros, variando o comprimento do tubo usando de montagens que o deixam com configuração de tubo aberto ou tubo fechado. Os experimentos de forma simples, mas bastante inovadora, tratam de um tema pouco abordado no estudo da Física e caracteristicamente muito abstrato. O ensino de oscilações normalmente é feito de maneira estritamente teórica e isso dificulta muito a compreensão dos mesmos, pois o tema é extremamente abstrato sendo então pouco visual, ou “palpável”, para os alunos. Então, além da Física ser vista como uma disciplina difícil, a parte de ondulatória possivelmente seja considerada a mais difícil, como apontam (Krummenauer et al., 2009; Magalhães & Alves Filho, 2018; Moura & Neto, 2011; Novicki et al., 2011)

As aulas foram planejadas de forma a potencializar uma aprendizagem significativa, mas também visando eliminar possíveis falhas nos conhecimentos prévios dos alunos e com a finalidade de nivelar estes conhecimentos na turma. As primeiras atividades do produto educacional são aulas teóricas onde foram expostos os conteúdos dos temas de interesse e, para auxiliar o entendimento nas aulas de sistema massa-mola e pêndulo simples, foram usados simuladores desses temas através do site PhET². As figuras 3.1 e 3.2 mostram as telas iniciais dos simuladores utilizados nas aulas.

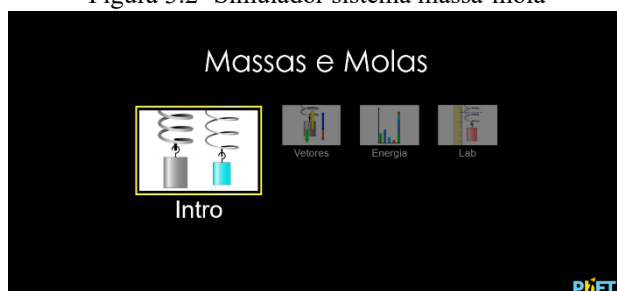
² <https://phet.colorado.edu/>

Figura 3.1 – Simulador de Pêndulo Simples



Fonte: PhET. Laboratório do Pêndulo

Figura 3.2- Simulador sistema massa-mola



Fonte: PhET. Massas e Molas

Posteriormente às aulas expositivas, foram aplicados os questionários sobre esses temas (anexos B e C) para realizar a avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos e o impacto causado pelo produto na aprendizagem dos alunos, já que os mesmos questionários foram reaplicados após as aulas experimentais. Os experimentos de sistema massa-mola e pêndulo simples foram aplicados nas aulas seguintes, seguiram os roteiros disponibilizados nos apêndices D, E e F.

Após aos experimentos de MHS, foi dada uma aula expositiva sobre os conceitos de ondas, com a mesma finalidade das aulas sobre sistema massa-mola e pêndulo simples, então aplicado o questionário prévio sobre os tubos sonoros (anexo C) e reaplicado o de MHS após os experimentos do mesmo. Por fim, foi realizado o experimento de tubos sonoros e feita a reaplicação do questionário sobre os mesmos. A tabela 3.1 demonstra como ficaram organizadas as aulas para a aplicação do produto educacional.

Tabela 3.1 – Organização das aulas

Aula	Objetivo	Conteúdos Trabalhados	Recursos	Tempo
Sistema massa-mola	Compreender o movimento harmônico simples e o período do sistema massa-mola.	Movimento harmônico simples, período, massa, constante elástica da mola.	Quadro Simulador	2 aulas
Pêndulo simples	Compreender o período do pêndulo simples	Período, comprimento, aceleração da gravidade	Quadro Simulador	1,5 aula

Aplicação do questionário prévio de MHS	Avaliar o conhecimento prévio dos alunos em MHS	Conceitos do MHS	Questionário prévio do MHS	0,5 aula
Experimento sistema massa-mola	Determinar a constante elástica de uma mola qualquer	Período, massa, constante elástica da mola, onda senoidal, comprimento de onda.	Celular Suporte Mola Massas Computador Projektor	2 aulas
Experimento pêndulo simples	Determinar a aceleração da gravidade o local do experimento	Período, comprimento, aceleração da gravidade, onda senoidal, comprimento de onda	Celular Suporte Fio Massas Computador Projektor	2 aulas
Tubos sonoros	Estudar as ondas estacionárias em tubos abertos e fechados.	Onda, frequência, comprimento de onda, comprimento.	Quadro	3 aulas
Aplicação do questionário prévio de ondas e posterior de MHS	Avaliar o conhecimento prévio dos alunos em ondas e posterior aos experimentos de MHS	Conceitos de ondas e do MHS	Questionário prévio de ondas e posterior do MHS	1 aula
Experimento tubos sonoros	Determinar experimentalmente o comprimento de onda para diferentes frequências em tubos abertos e fechados	Onda, frequência, comprimento de onda, comprimento.	Tubo Fonte sonora Celular Trena	2 aulas
Aplicação do questionário posterior de ondas	Avaliar o conhecimento posterior dos alunos em ondas	Conceitos de ondas	Questionário posterior de ondas	0,5 aula

Fonte: O autor

3.4 Aplicação do Produto Educacional

Como já relatado anteriormente o produto educacional foi aplicado parcialmente em 2019 e totalmente em 2020, em turmas de segundo ano de Ensino Médio. Os relatos sobre a aplicação do mesmo estão divididos entre as turmas desses dois anos, além de

uma divisão entre cada parte da aplicação feita. Também foi feita uma pré-aplicação no primeiro semestre de 2019.

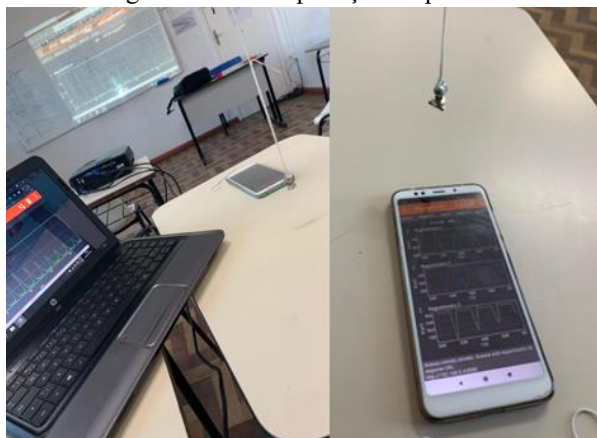
3.4.1 Pré-aplicação no primeiro semestre de 2019

Como a aplicação estava sendo planejada para ser realizada no segundo semestre de 2019, e no primeiro semestre havia a disponibilidade de aplicar em uma turma de dependência, foi feita uma avaliação usando o experimento de pêndulo simples do produto para avaliar como os alunos se relacionariam com a proposta.

Foi usado apenas um dos experimentos, pois é um período de recuperação muito curto então essa foi uma maneira para ter o máximo de aproveitamento da atividade. Poderia servir apenas como um teste da aceitação da proposta. Essa atividade foi muito positiva para o projeto, pois foi uma possibilidade de aplicar com apenas dois alunos que se envolveram e gostaram muito da atividade.

Para realizar o experimento do pêndulo simples, usamos um ímã preso a um barbante, posicionamos o celular logo abaixo, como a figura 3.3 demonstra. A tela do celular foi espelhada em um *notebook* e projetado no quadro para os alunos interagirem com o gráfico resultante do experimento. Essa metodologia de espelhamento de tela e projeção no quadro foi incorporada no projeto, pois permitiu grande interação dos alunos com o experimento, com eles podendo alterar as massas, comprimento do fio, colocando o experimento em oscilação manipulando o aplicativo através do computador e na projeção feita no quadro.

Figura 3.3 – Pré-aplicação do produto



Fonte: O autor

3.4.2 Aplicação na turma de 2019

Após a pré-aplicação e com o planejamento do produto educacional concluído, foi iniciada a aplicação do mesmo. Os relatos aqui presentes vão acompanhar o planejamento das aulas, apresentado na tabela 3.1. Inicialmente, a proposta do produto educacional foi explicada aos alunos que iriam participar da aplicação do projeto e requerido os termos de autorização fossem assinados pelos seus responsáveis.

Como já descrito, antes da realização de cada um dos experimentos foram ministradas aulas no mesmo padrão com as quais a turma já estava acostumada, ou seja, o conteúdo foi exposto no quadro de forma expositiva e foram resolvidos exercícios. Porém, o diferencial foi utilizar também um simulador do projeto PhET.

“Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências. As simulações do PhET baseiam-se em extensa pesquisa em educação e envolvem os alunos através de um ambiente intuitivo, estilo jogo, onde os alunos aprendem através da exploração e da descoberta.” (Colorado Boulder, 2021)

Foram ministradas aulas expositivas sobre o sistema massa-mola e o pêndulo simples e após os alunos foram submetidos ao questionário sobre MHS que foi reaplicado novamente após a realização dos experimentos. Para a aplicação do questionário foi explicada sua finalidade e que não seriam avaliados por esse método, mas que seria importante responderem com seriedade, de acordo com o conhecimento que tinham e que foi adquirido com as aulas.

Antes de ser escolhido o questionário como método para avaliar o conhecimento adquirido pelos alunos com os experimentos, foi feita uma tentativa de avaliar a aprendizagem através de mapas mentais. Os mapas mentais foram abandonados como método de avaliação para os experimentos, pois esta atividade sofreu forte resistência pela turma, que influenciaria na confiabilidade da avaliação da aprendizagem. Posteriormente, devido a necessidade de reaplicação do produto em meio a pandemia de Covid-19, confirmou-se que a melhor forma de fazer essa avaliação seria mesmo através de questionários.

Finalmente, foram aplicados os experimentos de MHS. Estes foram realizados em sala de aula e no laboratório de informática, onde existia um suporte para um esqueleto humano didático no laboratório de ciências que foi usado como suporte para prender o sistema massa-mola e o pêndulo simples. Como é possível ver na figura 3.4.

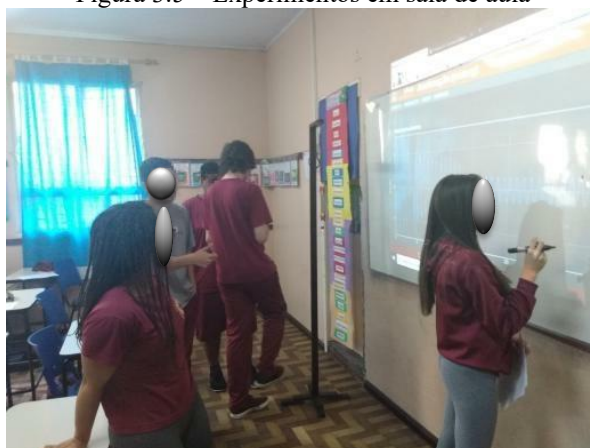
Figura 3.4 – Montagem do experimento sistema massa-mola



Fonte: O autor

Em sala de aula foi feita a mesma montagem que apresenta a figura 3.4, mas a tela do celular foi espelhada no *notebook* e projetada no quadro para que os alunos pudessem interagir com os gráficos, escrevendo sobre a projeção e retirando informações, como é possível ver na figura 3.5.

Figura 3.5 – Experimentos em sala de aula



Fonte: O autor

A realização desses dois experimentos nessas aulas ocorreu de forma tranquila e com muita interação por parte dos alunos. Eles iam ao quadro calcular o período do movimento oscilatório do sistema massa-mola, com essa visualização do movimento da massa presa a mola e o gráfico com o qual estavam interagindo, possibilitou um melhor entendimento de como o gráfico representa o movimento do sistema massa-mola. Foi uma aula despojada, com muito engajamento dos alunos, mesmo os mais tímidos quiserem ir no quadro e participar da atividade. Mas em função de não estarem acostumados com esse tipo de abordagem em aula, alguns grupos fizeram anotações de dados de forma errada. Por isso, o experimento foi refeito, mas na sala de informática, como mostra a figura 3.6. Assim, cada aluno teve acesso a um computador com os dados.

Figura 3.6 – Experimentos no laboratório de informática



Fonte: O autor

Para trabalhar nos computadores que espelhavam a tela do celular que estava realizando a sensorização do experimento a turma foi dividida em duplas ou trios, assim a atividade tomou um perfil mais sério para que os alunos mantivessem a atenção nos procedimentos que deveriam realizar, mas a realização da atividade em sala de aula (figura 3.5) teve sua importância em transformar a abstração do gráfico de oscilação e

do conceito de período em entendimento mais concreto, também facilitando a nova realização do experimento no laboratório de informática.

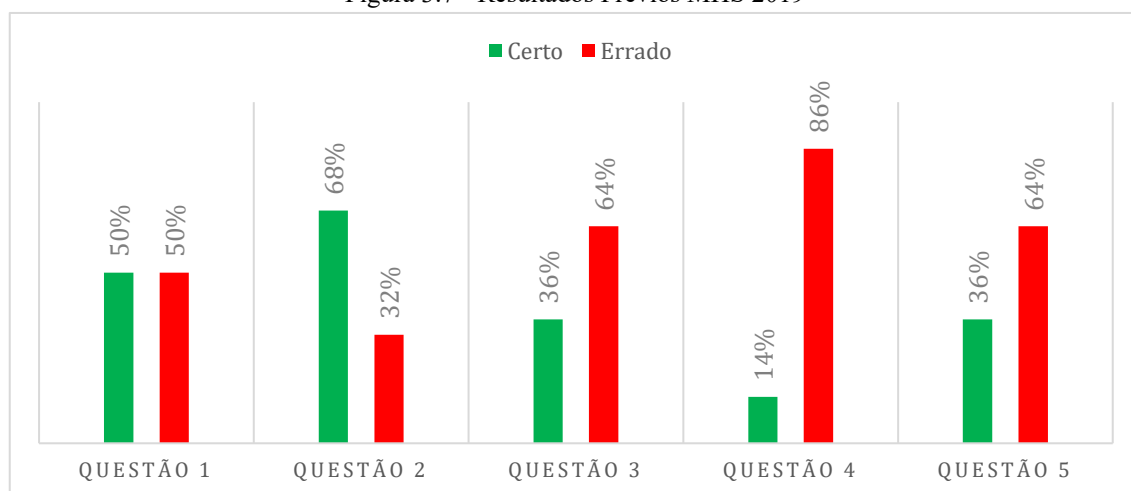
Os experimentos do sistema massa-mola e do pêndulo simples foram feitos em sequência e seguiram os mesmos procedimentos. A montagem do pêndulo conta com um barbante preso ao mesmo suporte usado para o sistema massa-mola, mas na extremidade havia um ímã preso (figura 3.3), e o celular foi colocado na proximidade do pêndulo para medir a variação do campo magnético, e com essa variação determinar o período de oscilação.

Como mostrado na tabela 3.1 anteriormente para avaliar se os experimentos sobre pêndulo simples e sistema massa-mola contribuíram com a aprendizagem dos alunos se usou um questionário, que foi aplicado de forma prévia e posterior.

3.4.2.1 Avaliação dos Questionários sobre MHS

Os alunos responderam ao questionário sobre MHS (apêndice B), que é formado por questões de múltipla escolha e dissertativas, possibilitando uma análise qualitativa e quantitativa sobre as respostas. Na figura 3.7 é apresentada a distribuição entre certo e errado das respostas dadas, pela turma de 2019, às questões de múltipla escolha.

Figura 3.7 - Resultados Prévios MHS 2019

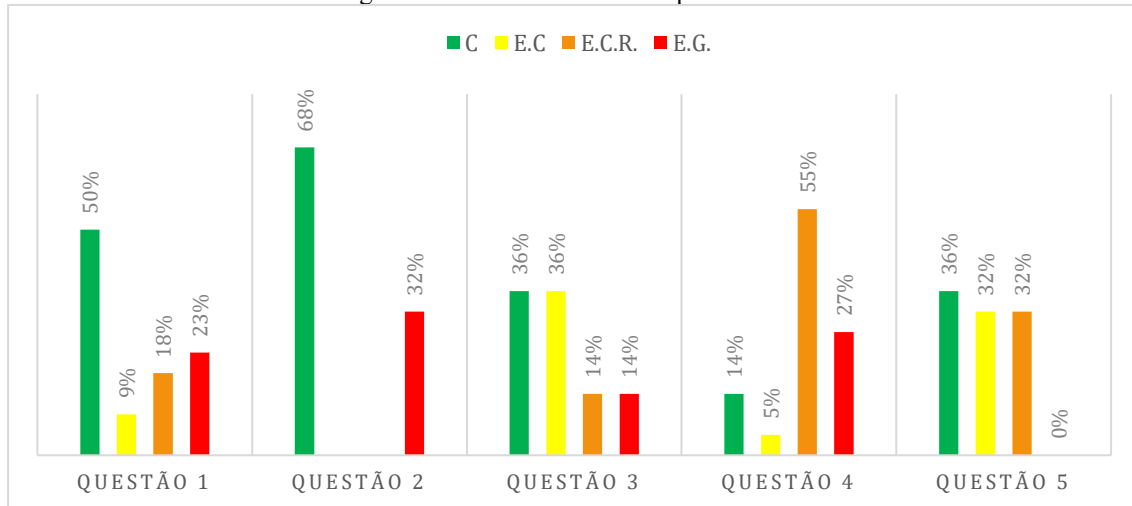


Fonte: O autor

Esse resultado mostra que, mesmo usando uma estratégia que visava nivelar os conhecimentos prévios dos alunos através de aulas expositivas, não houve um bom resultado no nível de acertos nas questões. Na questão 1 pedia-se para determinar o que é um movimento periódico e a questão 2 para identificar um movimento periódico, sendo que a única questão que a turma obteve mais acertos foi a 2. Já a questão 3 discutia a condição de existência para o equilíbrio em um ponto material. As questões 4 e 5 relacionavam o comportamento, respectivamente, do pêndulo simples e do sistema massa-mola se tivessem sua massa alterada.

Para ter uma melhor visualização da condição de compreensão da turma sobre o assunto, as alternativas foram avaliadas e classificadas por cor, sendo verde a correta (C) e as erradas em um degradê saindo do amarelo, que foi chamado erro conceitual (E.C.), para alternativas mais próximas do conceito certo passando por laranja, denominado erro conceitual relevante (E.C.R.), e chegando ao vermelho, classificado como erro grave (E.G.). Na figura 3.8 é mostrada essa distribuição.

Figura 3.8 – Análise resultados prévios 2019



Fonte: O autor

Essa distribuição foi feita na tentativa de avaliar se mesmo errando o aluno evoluiu no entendimento do assunto. Então, para possibilitar uma melhor compreensão do gráfico vamos discutir como foi feita essa classificação apresentando a questão e discutindo a razão para cada alternativa ser classificada naquela cor.

A primeira questão perguntava “O que é um movimento periódico?”. E a primeira alternativa de resposta era “Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos iguais, sendo o intervalo de tempo mínimo para a repetição do movimento denominado frequência.”, a primeira afirmativa é correta, movimento periódico se repete em intervalos de tempo iguais, mas a segunda afirmativa está errada, pois o tempo para ocorrer uma repetição é chamado período e não frequência, mas período e frequência se relacionam portanto é possível o aluno confundir os conceitos o que levou a essa alternativa ser classificada como amarela. As alternativas seguintes possuíam pequenas variações, a segunda alternativa era “Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos diferentes, sendo o intervalo de tempo mínimo para a repetição do movimento denominado período.”, a definição de período está correta, mas a de movimento periódico está incorreta e como a pergunta se referia ao movimento periódico a alternativa foi classificada como laranja. A terceira alternativa era a correta e recebeu a cor verde e afirmava “Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos iguais, sendo o intervalo de tempo mínimo para a repetição do movimento denominado período.”. A quarta alternativa era “Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos diferentes, sendo o intervalo de tempo mínimo para a repetição do movimento denominado frequência.”, nessa alternativa o conceito de movimento periódico e de período estão incorretos então ela recebeu a cor vermelha.

A segunda questão questionava “Qual das opções abaixo não é um movimento periódico?”. Essa questão não se enquadrou no degradê de cores, pois havia uma alternativa que não era um movimento periódico e correta, essa questão era a segunda alternativa “tempestades”, e todas as demais representavam movimentos periódicos, sendo “Translação da Terra em torno do Sol”, “Fases da Lua” e “O dia”. Sendo assim a divisão ficou entre verde e vermelho apenas, não tem as cores amarelo e laranja sendo representadas.

Na terceira questão buscava identificar o conhecimento do aluno sobre posição de equilíbrio e queria saber “Qual a condição para que exista equilíbrio em um ponto

material?”. A primeira alternativa era “A resultante de forças sobre o corpo ser nula.” e como estamos tratando sobre um ponto material não há torque e essa era a alternativa correta, portanto verde. Na segunda alternativa tínhamos “A força resultante equilibrar o movimento.” que na verdade não quer dizer muita coisa, mas é possível interpretar que o aluno entende que o comportamento da força resultante tem alguma relação com o equilíbrio então ela ficou com a coloração amarela. A terceira alternativa afirmava que “O movimento permitir aceleração constante.” Nada impede que um corpo em equilíbrio tenha um movimento com aceleração constante em um eixo diferente ao que ocorre a condição de equilíbrio, mas em nada isso tem a ver com essa condição portanto essa alternativa recebeu a coloração laranja. A quarta alternativa trazia “Que o somatório de forças seja maior que zero.” e é a alternativa a qual foi associada a cor vermelha, pois a alternativa nega a condição para que haja equilíbrio.

A quarta questão era “Como se comporta o período do pêndulo simples, quando aumentamos a massa?”. A primeira alternativa apresentava “Aumenta.” e recebeu a cor amarela pela possibilidade de confusão com o comportamento do sistema massa-mola. A segunda alternativa tinha “Diminui.” e correspondeu a cor laranja, por haver chance de o aluno relacionar ao comportamento de um corpo que submetido a uma força constante tenha sua massa aumentada resultando em uma desaceleração. Na terceira alternativa aparecia “Acelera.” e foi representada pela cor vermelha por não haver situação em que o aluno pudesse relacionar para justificar o seu erro e por fim tínhamos a questão “Permanece constante.” que é a correta e foi a cor verde no gráfico

A quinta e última questão de múltipla escolha trazia “Como se comporta o período do sistema massa-mola, quando aumentamos a massa?”. A primeira alternativa, que era a correta, afirmava “Aumenta.”, na segunda alternativa tínhamos “Diminui.” recebeu a cor laranja pelo mesmo motivo da questão anterior, assim como a terceira alternativa (“Acelera.”) foi representada por vermelho e a quarta alternativa (“Permanece constante.”) também recebeu a cor amarela pela possível confusão com o comportamento do período do pêndulo simples quando alteramos a massa dele.

Tabela 3.2 – Distribuição do degradê de cores

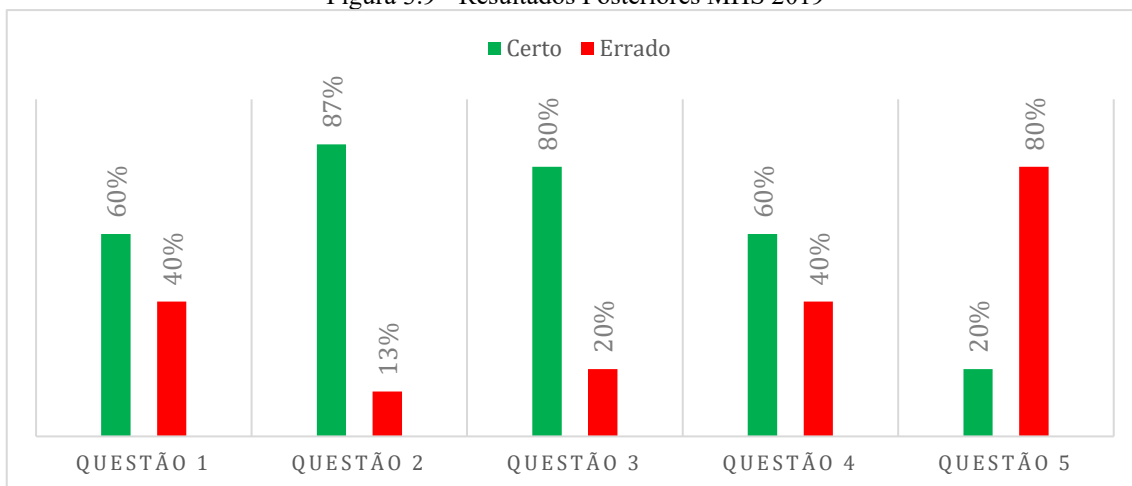
	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5
Alternativa A	Amarelo	Vermelho	Verde	Amarelo	Verde
Alternativa B	Laranja	Verde	Amarelo	Laranja	Laranja
Alternativa C	Verde	Vermelho	Laranja	Vermelho	Vermelho
Alternativa D	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Verde	Amarelo

Fonte: O autor

A tabela 3.2 representa como ficou a distribuição das cores por alternativa para cada questão, essa metodologia de associação para as cores foi usada para construir além do gráfico presente na figura 3.8, os gráficos das figuras 3.10, 3.13 e 3.15 e tentam demonstrar se houve ou não um deslocamento das respostas de alternativas com erros mais graves para as com erros menos graves ou para a alternativa correta.

Vamos observar os resultados do mesmo questionário aplicado após a realização do experimento de pêndulo simples e sistema massa-mola.

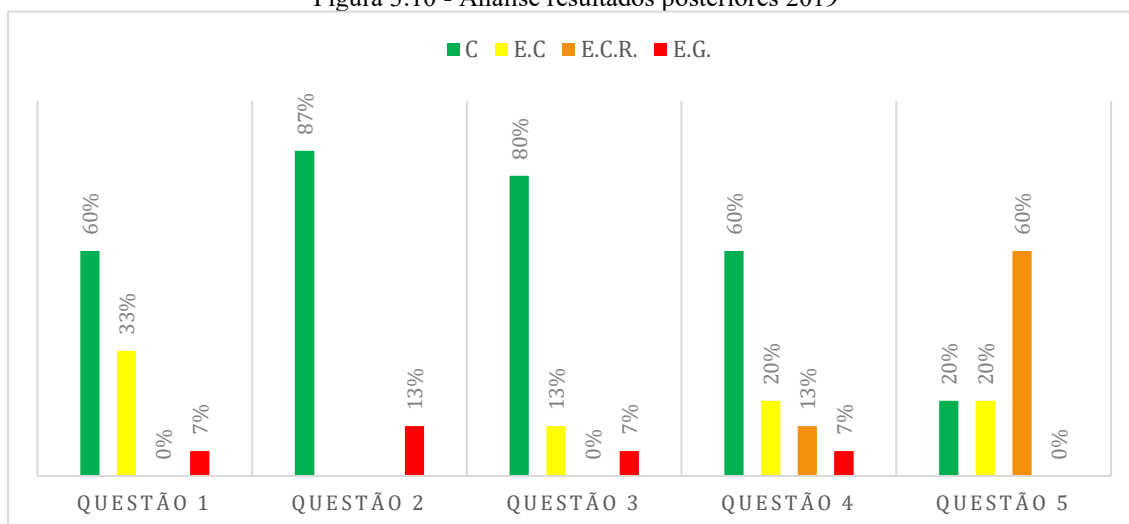
Figura 3.9 - Resultados Posteriores MHS 2019



Fonte: O autor

Devido a uma série de acontecimentos no fim do ano de 2019 como requisição de aulas para aplicação de provas de outras disciplinas, atividades de fim de ano da escola e liberação das turmas, o questionário posterior não pôde ser aplicado em 2019 vindo a ser aplicado no primeiro semestre de 2020.

Figura 3.10 - Análise resultados posteriores 2019



Fonte: O autor

Entre as figuras 3.7 e 3.9 é evidente que houve evolução nas respostas e fazendo uma análise mais minuciosa comparando entre as figuras 3.8 e 3.10 observamos que houve um grande aumento de acertos, além disso houve uma expressiva diminuição da barra vermelha que representa os erros conceituais graves, com exceção da questão 5 onde o número de acertos diminuiu. Essa questão avaliava o entendimento do aluno para quando aumentamos a massa do sistema massa-mola, 60% das respostas estão concentradas na barra laranja, que corresponde a responder que o período do sistema diminui, sendo que durante o experimento e pelos dados obtidos é possível notar o inverso. Portanto, em relação a essa questão o experimento não foi efetivo e acabou causando maior confusão. Mas esse questionário foi reaplicado após um período de férias de verão e esse distanciamento entre o experimento e a aplicação do questionário pode ter colaborado para essa confusão e acaba expondo que possivelmente não houve uma aprendizagem significativa.

Para quantificarmos o quanto a turma evoluiu como um todo após o experimento e não apenas por questão foi feita a média da evolução dos alunos por questão, ou seja, foi analisado se a turma teve aumento de acertos ou erros. Com essa abordagem, em cada questão, foi calculada a média, então chegamos a um crescimento global de 20,6% para essa turma. Esse mesmo método foi usado para determinar o crescimento global em todos os experimentos que vão ser discutidos a seguir. Podemos ver que mesmo com a confusão entre a relação de período com a massa numa oscilação, demonstrada na questão 5, o produto educacional colaborou para o aprendizado da turma. Os acontecimentos, já relatados, do final do ano de 2019, não possibilitaram completar a aplicação, faltando o conteúdo de ondas e tubos sonoros, então foi necessário reaplicar em 2020.

3.4.3 Aplicação na turma de 2020

O conteúdo de oscilações fica concentrado, pelo planejamento anual das aulas, no fim do segundo ano do Ensino Médio, mas para evitar que ocorresse o mesmo problema do ano anterior e o produto fosse aplicado por completo, foi iniciado o ano com as aulas sobre oscilações, mas infelizmente veio a pandemia do Covid-19 e as aulas presenciais foram canceladas. No início as aulas foram no modelo assíncrono, passando posteriormente para encontros síncronos. Como não havia previsão das aulas voltarem a ser presenciais, e não voltaram, foi decidido aplicar o produto nesse formato de aulas *online*, com encontros síncronos.

Para esse tipo de aula, foi necessário reinventar boa parte do experimento, pois a atividade foi desenvolvida para que os alunos interagissem entre si e com o experimento, sendo importante a relação que o aluno desenvolveria com a atividade. No formato *online* havia um distanciamento, não só físico, mas no relacionamento também. O que era pra ser uma experiência interativa, passou a ser uma mera exposição limitada à capacidade de transmissão e recepção das imagens e, assim, o potencial que o produto educacional poderia ter foi extremamente limitado. Basicamente os alunos puderam ver a realização do experimento, receberam toda a explicação necessária e interagiram com os dados obtidos encontrando os valores indicados nos roteiros. Além disso, retomamos as discussões em algumas aulas, enquanto havia demanda dos alunos com dúvidas.

Não há fotos sobre a aplicação de 2020, pois foram necessárias muitas adaptações, por conta da estrutura inadequada disponível que um dormitório em uma residência convencional oferece para realização de um experimento. Outro motivo foi que a atividade demanda o uso de um celular e só havia um disponível então faltou um segundo celular ou uma câmera para realizar os registros fotográficos.

A aplicação de 2020 também seguiu a organização apresentada na tabela 3.1. Novamente houve a apresentação dos conceitos sobre sistema massa-mola e pêndulo simples, foram usados os simuladores (figuras 3.1 e 3.2), foi disponibilizado o questionário sobre MHS na plataforma *Google Classroom*, além do tempo de uma aula para que os alunos respondessem e eles tiveram o prazo de uma semana para responder, antes da realização dos experimentos.

Foram realizados os dois experimentos sobre MHS, o primeiro foi o do sistema massa-mola, como o suporte usado na aplicação anterior não estava disponível, pois era do laboratório da escola e difícil de transportar, foi preciso usar uma estante de metal com um parafuso longo preso a essa estante. Nesse parafuso foi presa a mola e a massa pendurada na outra extremidade da mola, disposto de forma que fosse possível ser enquadrado pela câmera do computador para que os alunos pudessem observar a realização do experimento.

O experimento sobre o pêndulo simples usou a mesma estrutura, mas como já descrito na aplicação de 2019, o planejado era pra usar o magnetômetro do celular e a massa do pêndulo era o ímã, mas devido à falta de estrutura essa montagem não foi possível, pois precisava de uma superfície para posicionar o celular nas proximidades do ímã e como é necessário variar o comprimento do fio que suspende a massa, essa superfície também precisa variar a altura. Então foi usado o acelerômetro do celular, da mesma forma que no sistema massa-mola, com o celular sendo usado como a massa suspensa pelo fio, formando um pêndulo.

A experimentação é um potencializador no processo de ensino e aprendizagem da Física, no caso do produto esse potencial vem da capacidade dos experimentos em transformar temas extremamente abstratos em conceitos concretos através da possibilidade de os alunos interagirem com os experimentos, entre eles e com o professor. No modelo de aula em que foi possibilitada a aplicação, à distância, os alunos tiveram o contato limitado entre eles, não tiveram contato com o experimento e mesmo com o professor o contato não era tão eficiente quanto presencialmente. Então os alunos observaram o experimento e receberam a explicação de qual é a relação entre o experimento e a parte conceitual que já haviam estudado, e por fim ficaram com os dados coletados. A relação que houve entre os alunos e o experimento se resumiu a um exercício, talvez um pouco mais elaborado que o convencional, mas muito próximo dos exercícios que são entregues a eles nas listas de exercícios, minimizando o potencial de aprendizagem que o produto oferece.

Após a realização dos experimentos sobre MHS, voltamos às aulas expositivas, mas sobre ondas, preparando para a próxima atividade que seria sobre os tubos sonoros. Mas, ao fim das aulas expositivas sobre ondas, foi reaplicado o questionário sobre MHS para comparar com o mesmo questionário aplicado antes dos experimentos com a finalidade de avaliar o quanto os experimentos colaboram no entendimento sobre pêndulo simples e sistema massa-mola. Também foi aplicado o questionário sobre ondas e o processo foi o mesmo, ele foi disponibilizado no *Google Classroom*, foi solicitado aos alunos responderem durante o tempo de uma aula e ficou disponível durante uma semana para que os demais alunos pudessem responder.

Na sequência, foi realizado o experimento que visava calcular a velocidade do som usando tubos sonoros, sendo que os materiais usados estão apresentados na figura 3.11. O experimento foi desenvolvido para possibilitar o cálculo da velocidade do som, no ambiente da realização do experimento, usando duas configurações: tubos sonoros abertos e fechados. As diferenças entre os tipos de tubo sonoros foram discutidas no capítulo 1. Usando a figura 3.11, para explicar as montagens temos o tubo principal que será usado nas duas configurações. Quando inserimos no interior do tubo principal o tubo secundário, teremos a montagem para a configuração de tubo aberto, e se usarmos o êmbolo no interior do tubo principal a montagem resultante será a de tubo fechado. A peça laranja é um alto-falante usado para gerar um tom que percorre o tubo para possibilitar o estudo, mas nos testes finais antes da aplicação parou de funcionar e foi necessário adaptar as caixas de som preto com prata que aparecem na imagem (figura 3.11). Os celulares tem a função de gerar o tom e medir o nível de pressão sonora no ambiente, para fazer isso usamos o aplicativo *phyphox*, opção gerador de tom em um dos celulares e no segundo celular a opção amplitude do áudio. Se dispor apenas de um *smartphone* é possível usar algum programa ou site que faça a mesma função do gerador de tom no computador, ou ainda caso não for possível usar um segundo celular nem um computador é possível apenas usar o gerador de tom no *phyphox* e medir os picos através da percepção deles pelo ouvido. E por fim, há uma trena na imagem que serve para medir a diferença entre dois picos no tubo aberto, pois devido ao estilo de

montagem não foi possível colocar uma fita métrica, como é possível perceber no tubo secundário.

Figura 3.11 – Materiais do experimento de tubos sonoros



Fonte: O autor

Como o funcionamento desse experimento é um pouco mais complexo, foi feito um vídeo e disponibilizado para os alunos poderem ter um melhor entendimento dos procedimentos realizados. É possível ter acesso a uma versão ampliada do vídeo³ através do código abaixo.

Figura 3.12 – QR Code para acessar orientações para a montagem



Fonte: O autor

Além de ter sido usado o vídeo, o experimento foi demonstrado e realizado na aula síncrona, então eles presenciaram o processo de coleta de dados que posteriormente foram disponibilizados a eles. Mas, novamente, um potencial ainda maior que o experimento viria a ter foi prejudicada pela situação imposta pela pandemia da Covid-19.

³ <https://youtu.be/bFh4ZWwj61E>

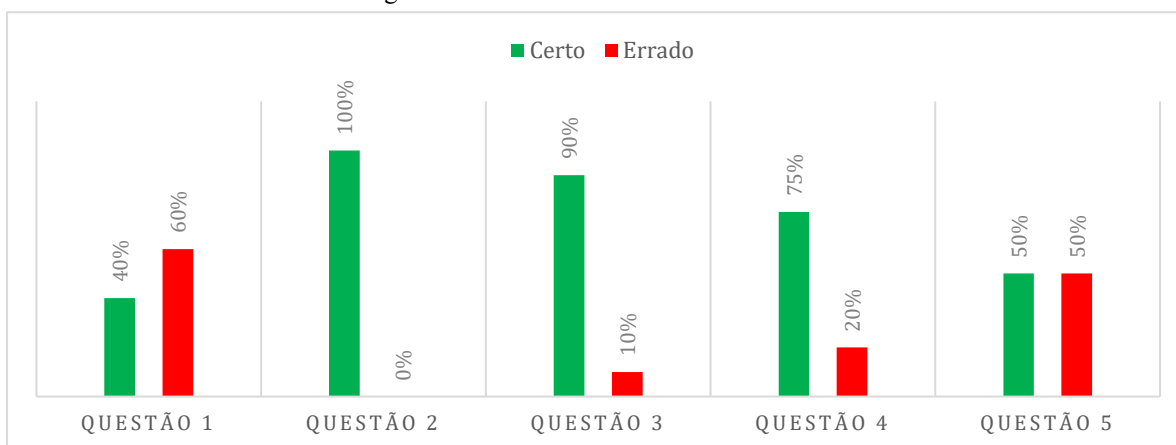
Matematicamente essa atividade era mais simples que as de MHS, usava a equação 18 do capítulo 1, então os alunos tiveram menos dificuldade para resolver a atividade. Porém, limitou o entendimento de como se dão as regiões de compressão e rarefação do ar no interior dos tubos, que era o grande potencial do experimento para demonstrar concretamente os conceitos vistos, de forma abstrata, na aula teórica, então o potencial de aprendizagem significativa que o experimento se dispôs ficou prejudicado.

Como já discutido, haviam dois questionários, um sobre MHS (apêndice B), que englobava questões para avaliar o conhecimento adquirido ao realizar os experimentos de sistema massa-mola e pêndulo simples, e outro sobre ondas (apêndice C) que avaliava os conhecimentos adquiridos no experimento sobre os tubos sonoros. Ambos os questionários foram aplicados duas vezes, antes e depois dos experimentos. A seguir vamos discutir os resultados de cada questão para a turma de 2020.

3.4.3.1 Avaliação dos Questionários sobre MHS

O questionário aplicado em 2020 é o mesmo de 2019, sendo dividido em questões de múltipla escolha e dissertativas. A figura 3.13 mostra como foi o resultado das questões de múltipla escolha para o questionário aplicado anterior ao experimento.

Figura 3.13 - Resultados Prévios MHS 2020



Fonte: O autor

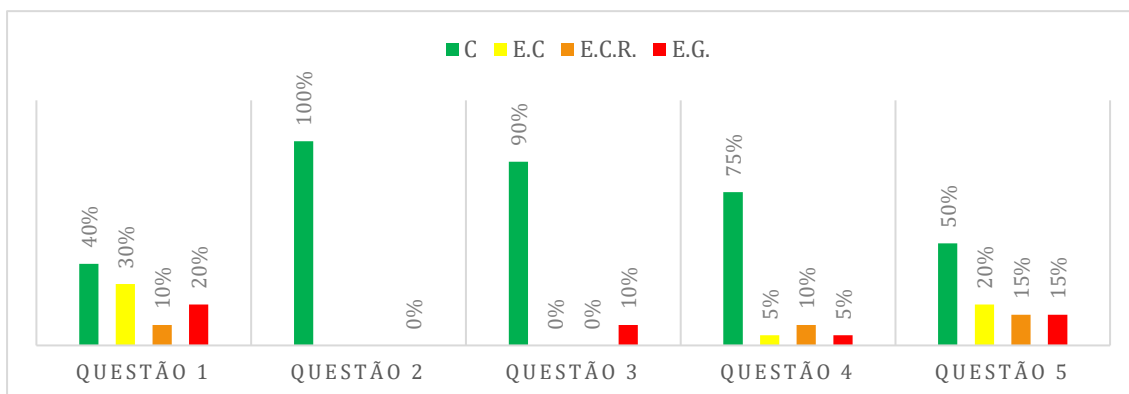
Os resultados obtidos pela turma de 2020 divergem em todas as questões em relação aos resultados da turma de 2019. Nas questões 2, 3 e 4 da figura 3.12 houve um expressivo resultado positivo enquanto na figura 3.7, turma de 2019, das 3 questões apenas a 2 teve maior número de acertos, sendo também a única, em 2019, a ter mais acertos do que erros. Isso demonstra que a turma de 2020 mesmo em meio a pandemia, com aulas de forma *online* obteve um melhor desempenho em relação a turma de 2019.

Em relação aos resultados obtidos para os questionários é necessário levar em conta a diferença entre a forma com que foram aplicados. Em 2019, foi usado o tempo de parte de uma aula onde foi distribuído o questionário aos alunos e solicitado que respondessem e após respondido entregassem ao professor. Não havia a necessidade que se identificassem e foi informado que não seria usado para avaliação dos alunos, mas seria importante para avaliar o impacto do experimento na aprendizagem deles. Em 2020, o questionário foi aplicado através do *Google Classroom* e para realizar essa avaliação filtramos para termos somente os alunos que responderam ao questionário

após e antes a aplicação do experimento, então provavelmente, após essa filtragem, ficamos com as respostas dos alunos mais dedicados e por essa razão tem um rendimento melhor nas atividades, além de poderem ter pesquisado na internet ou ter algum auxílio, então uma comparação entre os dois anos pode não evidenciar algo relevante.

Assim como na análise para a turma de 2019, foi feita uma distribuição das alternativas de cada questão classificando em um degradê de cores, apresentado na figura 3.14. Sendo que o verde é correto (C) e o amarelo, laranja e vermelho são respostas erradas. Mas sendo o amarelo um erro conceitual (E.C) que se aproxima de estar correta, com alguma revisão, indo até o vermelho (E.G.), que seria um erro que representa uma falta completa no entendimento do aluno, e o laranja seria um erro intermediário (E.C.R.) entre o amarelo e o vermelho, que é o erro grave (E.G.).

Figura 3.14 - Análise resultados prévios 2020

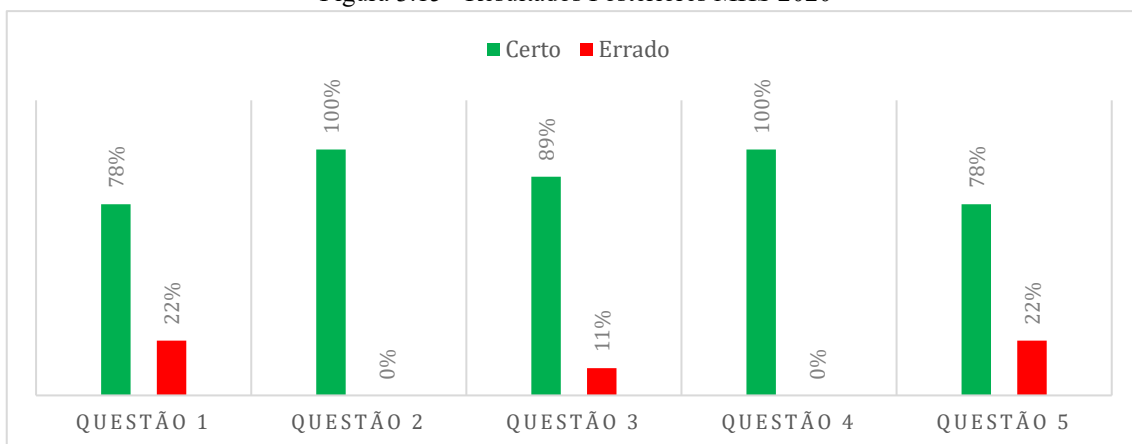


Fonte: O autor

Na figura 3.14 podemos observar que as respostas se concentraram muito pouco nas barras vermelhas, que representariam um erro mais grave. Baseado na nossa análise, isso além de representar uma parcela pequena da turma, dificulta a análise quantitativa da aprendizagem que a turma teve em decorrência da realização da atividade experimental.

Na figura 3.15 é apresentado o resultado das respostas obtidas pelos alunos ao questionário posterior ao experimento.

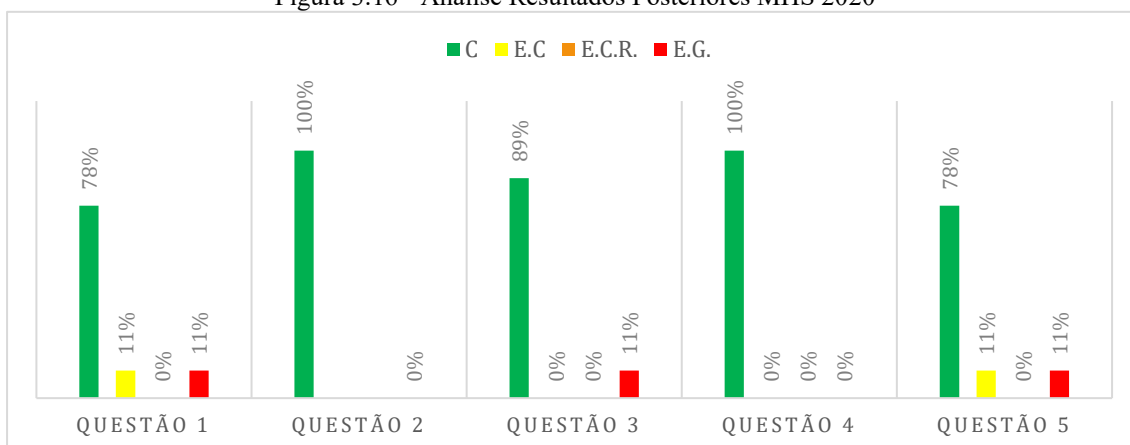
Figura 3.15 - Resultados Posteriores MHS 2020



Fonte: O autor

E a mesma análise das questões em função da distribuição de cores feita anteriormente, agora para o questionário posterior segue na figura 3.16.

Figura 3.16 - Análise Resultados Posteriores MHS 2020



Fonte: O autor

Comparando os resultados pré e pós experimentos de MHS para os questionários (figuras 3.13 e 3.15) é possível ver que a grande dificuldade encontrada nas questões 1 e 5 tiveram uma atenuação importante após a realização dos experimentos, podemos ver que mesmo com as dificuldades impostas pelo modelo de ensino a distância e todos os demais complicadores já apresentados, os experimentos sobre MHS desenvolvidos com a turma de 2020 resultaram em uma melhora no aprendizado dos alunos que responderam aos questionários. Observando a questão 1 que era necessário que eles soubessem classificar o que era um movimento periódico, antes do experimento apenas com o conhecimento adquirido na aula teórica eles obtiveram 40% de respostas certas, após o experimento esse percentual subiu para 78%, tendo ainda 11% na classificação de um erro conceitual leve e diminuindo de 20% para 11% o percentual de erros mais graves. Na questão 2 não houve alteração e na questão 3 não houve alteração significativa. Na questão 4 onde tínhamos 25% de erros passamos a ter 100% de acertos, a questão tratava sobre o período do pêndulo simples quando alteramos a sua massa, o resultado demonstra que o experimento teve importância para o entendimento dos alunos de que o período do pêndulo independe da massa. Na questão 5, que discutia o comportamento do período do sistema massa-mola quando alteramos sua massa, houve um acréscimo de 28% nas respostas corretas, saindo de 50% para 78%, demonstrando que o experimento impactou significativamente no conceito que foi abordado.

As atividades contribuíram para um crescimento global de 18% no número de acertos após a realização dos experimentos sobre MHS. As questões dissertativas sobre MHS tratavam sobre o comportamento do período do sistema massa mola e do pêndulo simples, as questões estão apresentadas abaixo.

“Existe alguma relação entre o período do Pêndulo Simples, a massa, a constante elástica da mola, o comprimento do fio e a aceleração da gravidade? Se sim, explique como é essa relação.”

“Existe alguma relação entre o período do Sistema Massa-Mola, a massa, o comprimento do fio, a constante elástica da mola e a aceleração da gravidade? Se sim, explique como é essa relação.”

Muitos alunos responderam o primeiro questionário e repetiram as respostas no questionário seguinte, alguns alunos mesmo alterando as respostas das alternativas de múltipla escolha mantiveram a resposta das dissertativas. E com a exceção de uma

aluna, que as respostas estavam corretas, os alunos responderam com conceitos errados e de forma confusa textualmente. Para demonstrar as respostas abaixo está a resposta de um aluno ao questionamento sobre o período do pêndulo simples.

“Que a partir da constante elástica, gravitacional e do comprimento do fio, conseguimos calcular o pêndulo simples.”

Como todas as questões desses alunos que repetiram as respostas apresentam os mesmos problemas, além de não se alterarem, só é possível concluir que não se dedicaram à atividade dissertativa. Houve uma aluna que não respondeu às questões dissertativas no questionário prévio, foi questionada, em particular, e respondeu que não conseguiu desenvolver nenhuma resposta. Essa mesma aluna no questionário após os experimentos desenvolveu boas respostas, como apresentado abaixo:

“O período do Pêndulo Simples não depende da massa e sim do fio e da gravidade, enquanto o período do sistema Massa-Mola não tem influência da gravidade e sim da massa e do K.”

“Comprimento do fio e a gravidade são influências do Pêndulo Simples e a massa e a constante elástica são influências do Sistema Massa-Mola, uma não interfere na outra, por tanto não existe relação a não ser que cada uma influência nos seus respectivos períodos.”

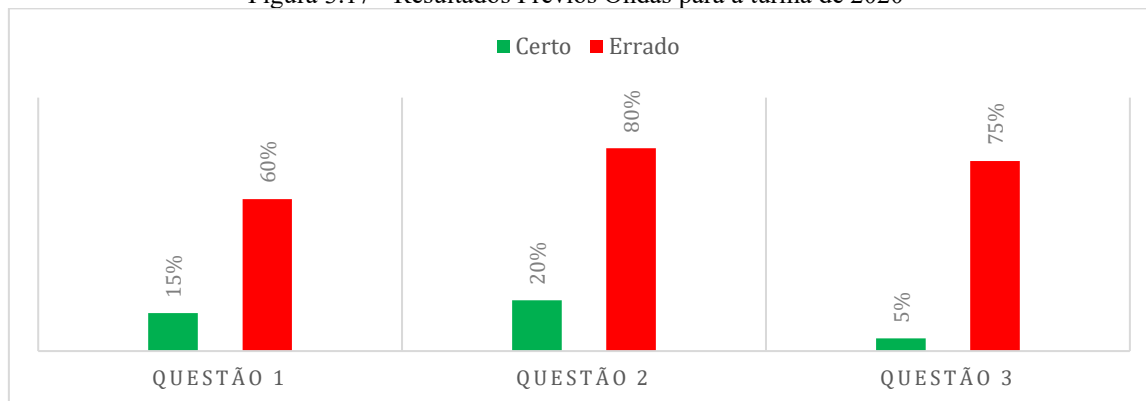
Podemos perceber que, para essa aluna, a atividade contribuiu significativamente para o aprendizado sobre o comportamento do período para os experimentos apresentados. Tiveram alguns alunos que responderam corretamente ao primeiro questionário e mantiveram respostas similares e alguns poucos conseguiram desenvolver melhor suas respostas, mas já haviam desenvolvido corretamente no questionário prévio.

3.4.3.2 Avaliação do Questionário sobre ondas

O questionário sobre ondas buscava a avaliar o nível de compreensão sobre os conceitos de ondas em propagação no interior de tubos sonoros. Como exposto anteriormente, o experimento sobre os tubos sonoros foi aplicado apenas no ano de 2020 e devido à pandemia não foi aplicado da forma como foi projetado, precisando ser aplicado no formato *online* como a maioria das aulas no ano de 2020.

A figura 3.17 apresenta os resultados obtidos para as questões de múltipla escolha, a partir das respostas dos alunos ao questionário antes de ser realizado o experimento.

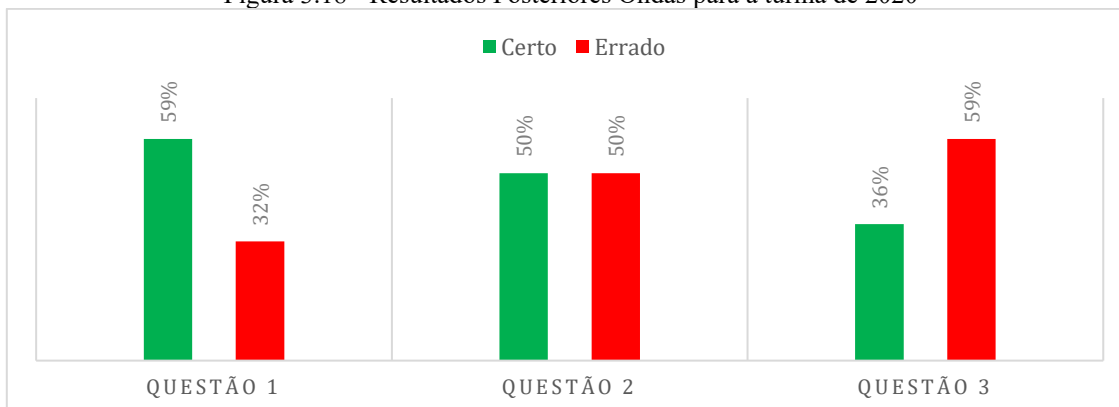
Figura 3.17 - Resultados Prévios Ondas para a turma de 2020



Fonte: O autor

Ao comparar os resultados antes do experimento (figura 3.17) com os resultados após o experimento (figura 3.18), percebemos que o experimento colaborou com a compreensão dos alunos sobre o assunto, pois em todas as questões o número de acerto aumentou.

Figura 3.18 - Resultados Posteriores Ondas para a turma de 2020



Fonte: O autor

A primeira questão discutia a caracterização de um número harmônico, tendo um salto de 44% nas respostas certas, mas ainda demonstrando ter a necessidade de adaptações visando potencializar a aprendizagem dos alunos, uma vez que o percentual de erros ficou em 41% após o experimento sobre esse assunto. Mas esse valor alto de erros possivelmente se deva ao fato de a aplicação não ter sido realizada da forma planejada, uma questão relevante a ser ponderada.

A segunda questão discutia a circunstância mais evidente do experimento: o que acontece quando alteramos o comprimento de um tubo exposto a uma fonte sonora de frequência constante? É possível verificar que o experimento causou um impacto na aprendizagem da turma elevando o número de acertos em 30%, mas fez com que a turma alcançasse apenas 50% dos acertos, portanto existe um potencial a ser desenvolvido, assim como a questão 1, visando diminuir o percentual de erros que também foi de 50%.

A terceira questão abordava o diferente comportamento da frequência em tubos: abertos e fechados. O experimento colaborou na aprendizagem dos alunos, fazendo o percentual de acertos crescer 31%, conseqüentemente diminuindo o percentual de erros, mas este ainda se manteve elevado, ficando em 59%. O experimento de tubos possivelmente foi o que sofreu maior impacto devido à pandemia da Covid-19, pois os experimentos de MHS visavam trazer uma melhor compreensão do conceito de onda colaborando nas discussões do comportamento da onda no interior dos tubos.

A mesma filtragem que fizemos ao analisar as questões do questionário sobre MHS foi feita para o questionário sobre ondas com a finalidade de verificar, dentro das respostas erradas, se houve um deslocamento da coluna vermelha, onde as questões foram avaliadas como um erro grave, para a amarela, que representa uma questão errada, mas que demonstra algum entendimento por parte do aluno. Para realizar essa análise também fizemos uma distribuição de cores às alternativas.

A primeira questão do questionário era “Qual das alternativas abaixo caracteriza um número harmônico”, tendo como a primeira alternativa “Comprimento de Onda” que foi classificada com a cor amarela, por mudar ao longo dos diferentes harmônicos, podendo o aluno confundir os conceitos, mas essa mudança ocorre devido a alteração da “Frequência de Ressonância” que é a segunda alternativa e a correta, portanto verde. Na terceira alternativa apresentava “Amplitude da Onda”, que também poderia causar uma

confusão, pois ao mover o tubo temos uma alteração no nível de pressão sonora, ou seja, o som fica mais intenso então poderia ser feita essa relação, portanto a alternativa recebeu a cor laranja e a quarta alternativa que era “Período da Onda” recebeu a cor vermelha, é possível discutir a proximidade entre período e frequência, mas ao tratar de tubos sonoros não se dá relevância ao período.

Na segunda questão era indagado se “Uma onda sonora, com frequência constante, se propagando em um tubo que seja possível alterar seu comprimento. Qual das alternativas está correta sobre o comportamento da onda sonora no interior do tubo?”. As três primeiras alternativas estão erradas e receberam a cor vermelha, pois não há relação que possa causar confusão conceitual, sendo a primeira alternativa “A intensidade do som diminuirá continuamente conforme se afasta da fonte sonora.”, a segunda “Conforme aumentamos o comprimento do tubo a intensidade do som sempre aumentará, se diminuirmos o comprimento do tubo a intensidade do som sempre diminuirá.” e a terceira “Conforme aumentamos o comprimento do tubo a intensidade do som sempre diminuirá, se diminuirmos o comprimento do tubo a intensidade do som sempre aumentará.”. Sendo a quarta alternativa, “Conforme variamos o comprimento do tubo, poderemos encontrar pontos que a intensidade vai variar entre dois pontos, de maior valor possível e menor valor possível.”, correta e, portanto, representada pela cor verde.

A terceira questão era “Em relação a tubos sonoros de mesmo comprimento, mas um com a abertura em ambas as extremidades e outro fechado em uma das extremidades é possível afirmar:”. A primeira alternativa que representa a cor laranja, por estar incorreta, mas relaciona as frequências melhor que a quarta questão onde é afirmado que apenas um dos tubos tem frequências ressonantes, é “A frequência de uma onda ressonante é igual para ambos os tubos.”. A segunda alternativa era “Sejam f_A e f_F as frequências fundamentais emitidas do primeiro harmônico, respectivamente, pelos tubos abertos em ambas extremidades e fechados em uma extremidade, $f_A=2 f_F$ ” e recebeu a cor verde por estar correto. A terceira alternativa, “Apenas os tubos abertos em ambas as extremidades terão frequências ressonantes.” representa a cor vermelha e a quarta alternativa era muito similar a segunda e representa a cor amarela, por causar confusão com uma análise errônea do aluno ao comparar as equações da frequência para os tubos abertos e fechados, sendo “Sejam f_A e f_F as frequências fundamentais emitidas do primeiro harmônico, respectivamente, pelos tubos abertos em ambas extremidades e fechados em uma extremidade, $f_A=1/2 f_F$ ”.

A tabela 3.3 a seguir representa como ficou a distribuição das cores por alternativa para cada questão, essa metodologia de associação para as cores foi usada para construir o gráfico mostrado nas figuras 3.19 e 3.20.

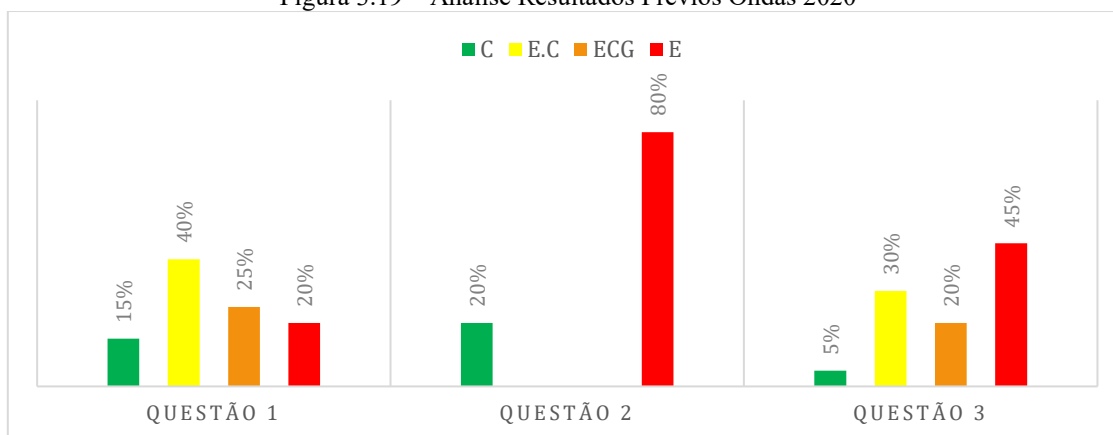
Tabela 3.3 – Análise Resultados Prévios Ondas

	Questão 1	Questão 2	Questão 3
Alternativa A	Amarelo	Vermelho	Laranja
Alternativa B	Verde	Vermelho	Verde
Alternativa C	Laranja	Vermelho	Vermelho
Alternativa D	Vermelho	Verde	Amarelo

Fonte: O autor

A seguir está a análise com essa distribuição de cores para as questões do questionário aplicado prévio ao experimento de tubos sonoros (figura 3.19) e posterior (figura 3.20).

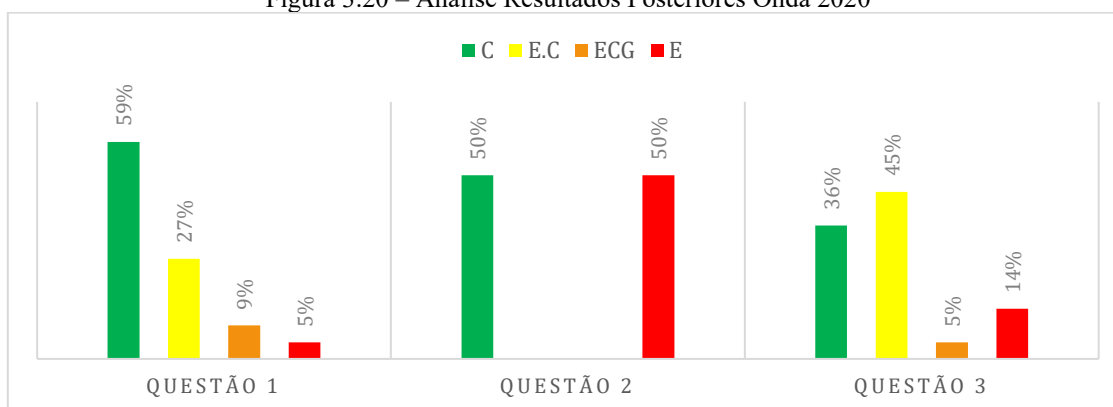
Figura 3.19 – Análise Resultados Prévios Ondas 2020



Fonte: O autor

Na comparação entre as figuras 3.19 e 3.20, para a questão 1 notamos um deslocamento para a barra verde e uma redução significativa na barra vermelha, indicando que a turma melhorou seu entendimento a respeito da caracterização do número harmônico. Para a questão 2, não houve mudança em relação a análise realizada nos gráficos das figuras 3.17 e 3.18, pois as questões foram classificadas apenas nas cores verdes e vermelha. Na terceira questão, o resultado após o experimento (figura 3.20) mostra que houve um crescimento de 36% no número de acertos, a barra amarela cresceu 15% esses resultados demonstram que o experimento impactou na aprendizagem da turma. Esse progresso também pode ser observado no decréscimo das questões representadas pelas barras laranja e vermelha, uma vez que a barra vermelha diminuiu 31% e a laranja diminuiu 15%. Na questão 3 também podemos observar um deslocamento para o lado verde, menos evidente que na primeira questão, mas também demonstra um impacto positivo na aprendizagem dos alunos.

Figura 3.20 – Análise Resultados Posteriores Onda 2020



Fonte: O autor

Após o experimento de ondas houve um crescimento global de 35% no número de respostas corretas. No questionário sobre ondas também havia uma questão dissertativa como demonstrado abaixo.

“Em muitas igrejas existem órgãos com tubos de diferentes tamanhos, como você acredita que essas diferenças sejam importantes?”

Mas através das respostas obtidas ao questionário acreditamos que a questão é muito genérica o que causou confusão nos alunos, além de o experimento tratar sobre tubos de tamanhos variáveis e o instrumento ter diversos tubos de tamanhos fixos. Além disso, no experimento tínhamos uma fonte de frequência definida e conhecida, mas nos órgãos (instrumentos musicais) o som é produzido de maneira semelhante a uma flauta, onde uma coluna de ar se desloca e encontra um orifício criando sons específicos, isso pode ter dificultado aos alunos relacionarem o experimento de tubos sonoros ao referido instrumento.

Um número ainda maior de alunos repetiu as respostas dadas no questionário prévio para a questão dissertativa. As respostas foram elaboradas de forma muito confusa, o que pode demonstrar falta de entendimento dos conceitos, mas também falta de entendimento sobre a relação que estava sendo solicitada a eles. Além do exposto, ainda temos que o experimento tinha a finalidade de medir a velocidade do som no ar e, devido a forma *online* que foi aplicado os alunos se relacionaram apenas com os dados obtidos do experimento e não puderam observar e interagir fisicamente com o experimento para desenvolverem outros questionamentos que poderiam colaborar para a aprendizagem.

Vale apresentar as respostas de uma aluna que demonstrou aprofundamento na compreensão do comportamento do som no interior de tubos sonoros. Ao questionário prévio, ela deu a seguinte resposta.

“Pois cada tubo produz um som diferente de acordo com seu tamanho.”

A partir da resposta concluímos que ela entendeu que a partir de tubos de diferentes tamanhos podemos ter sons diferentes, sem levar em consideração de como esse som foi criado. Já após o experimento ela respondeu:

“Essas diferenças são importantes para a propagação do som ser diferente em cada tubo, sendo mais alta, mais baixa, mais grave e mais aguda.”

Na resposta dada anteriormente ao experimento, ela ainda apresenta deficiências conceituais sendo que se refere a sons altos, baixos, graves e agudos, mas todos esses termos fazem referência a frequência da onda. Possivelmente quando ela coloca sons altos e baixos se refira à forma comum que nos referimos ao volume do som ou ainda a amplitude da onda, pois quanto maior a amplitude maior o volume do som. Então a partir das duas respostas é possível observar que, essa aluna obteve uma compreensão, ainda que incompleta, que o tubo altera as características do som.

3.5 Considerações Finais

A proposta de trabalho inicial foi criar uma gama de experimentos usando o celular para os três anos do Ensino Médio. Logo no início, foram discutidas as dificuldades de um trabalho envolvendo tantos conceitos, então nos restringimos a criar experimentos focados em ondulatória, um conceito bastante abstrato. Foi um trabalho desafiador criar um produto educacional que poderia potencializar a aprendizagem através de experimentos usando *smartphones*, principalmente por fatores externos e o principal foi a pandemia, que obrigou a termos aulas remotas além de adaptar a aplicação para essa modalidade.

Ao fim da construção do produto educacional chegamos a três experimentos, dois sobre MHS, que, além de tentar discutir as diferenças entre os períodos de cada um deles, visava criar uma compreensão de como uma onda senoidal representa um fenômeno que os alunos pudessem visualizar, ou seja, tentando tornar concreto esse

conceito tão abstrato de onda, para em seguida poder discutir o comportamento das ondas sonoras no interior de tubos abertos e fechados.

Os experimentos foram construídos baseados no conceito de aprendizagem significativa, observando a importância do uso de experimentos no Ensino de Física e usando como ferramenta para aquisição de dados, suporte e monitoramento o *smartphone*.

Teve uma aplicação do produto educacional inacabada no ano de 2019, onde foi usado a sala de aula e o laboratório de informática, tendo muito envolvimento da turma. Os alunos participaram ativamente da proposta, auxiliaram na montagem dos experimentos, mas foi possível apenas realizar os dois experimentos de MHS. Nesse ano, o produto foi aplicado da maneira como foi planejado e além de despertar o interesse da turma teve um impacto positivo no aprendizado como já demonstrado. Foi necessário reaplicar em 2020, de maneira completa com os três experimentos, mas a metodologia foi modificada pois as aulas foram de maneira remota e isso impossibilitou o envolvimento da turma com a parte física do experimento. Mas, mesmo com essa limitação, que restringe muito o potencial do produto, a proposta impactou significativamente na aprendizagem dos alunos.

Foram aplicados questionários antes e após a realização das atividades experimentais como ferramenta para medir se realmente os experimentos impactaram significativamente na aprendizagem dos alunos. Confrontados os resultados obtidos para analisar a evolução da aprendizagem em função dos mesmos, observamos que na turma de 2019 houve um crescimento de 20,6% e na turma de 2020 o crescimento foi de 26,5%, na média entre os experimentos de MHS e Ondas. Esses números podem não ser tão expressivos quanto esperávamos, mas vários fatores devem ser levados em conta. Dentre eles, destacam-se aulas diferenciadas, tirando os alunos da sua zona de conforto; o grau de interação dos alunos com os experimentos e também entre si e com o professor, prejudicado pelas aulas remotas e pela própria pandemia; o tempo e a forma com que responderam aos questionários; dentre outros.

Enfim, mesmo diante das dificuldades encontradas, e tivemos uma totalmente atípica, pode-se concluir que o produto educacional tem um grande potencial para impactar positivamente na aprendizagem dos alunos sobre oscilações e ondas. Além disso, há possibilidades para usar tubos sonoros no estudo de acústica através da construção de uma espécie de flauta ou ainda expandir as potencialidades do uso do celular em sala de aula.

Referências Bibliográficas

- Agra, G., Formiga, N. S., Oliveira, P. S., Costa, M. M. L., Fernandes, M. das G. M., & Nóbrega, M. M. L. da. (2017). **Análise do conceito de Aprendizagem Significativa à luz da Teoria de Ausubel**. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 72(1), 258–265. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71672019000100248&lang=pt
- Alves, F., & Ribeiro, A. (2009). **Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física : um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área**. *Revista Brasileira de Pesquisa*, 9(1), 13.
- Andrade, G. L., Pessoa, J. B., Silva, F. M. da, & Belinato, W. (2020). **Ensino De Física: O Uso De Experimentos De Baixo Custo Como Estratégia De Ensino**. *Brazilian Journal of Development*, 6(10), 81676–81685. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-554>
- Barroso, R. R., Oliveira, A. L. de, & Jesus, V. L. de. (2020). **Simulação da detecção de exoplanetas pelo método do trânsito utilizando o pêndulo cônico e o smartphone**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0161>
- Batista, M. C., Fusinato, P. A., & Blini, R. B. (2009). **Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de física**. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, 31(1), 43–49. <https://doi.org/10.4025/actascihumansoc.v31i1.380>
- BRASIL. (1998). **Parâmetros Curriculares Nacionais**. In MEC. <https://doi.org/10.1139/p96-813>
- Colorado Boulder. PhET **Interactive Simulations**. Página inicial. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>. Acesso em: 13 de janeiro de 2021.
- Curso do Blog – Termologia, Óptica e Ondas, **Os Fundamentos da Física**, 2017. Disponível em: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2017/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_14.html>. Acesso em: 06/01/2021
- da Costa, J. F., Rengel, E., Camargo, S., & Gioppo, C. (2012). **O Celular E O Ensino De Ondas Na Escola : Uma Proposta**. *II Congresso Internacional TIC e Educação*, 3420–3437.
- de Oliveira, C. M., & da Silva, S. M. V. (2016). **A experimentação como estratégia de aprendizagem da Física**. 1–13.
- Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 2.

João, L.P. **Acústica**, Slideshare. Disponível em:<
<https://www.slideshare.net/jlp1973/fenmenos-ondulatrios-ondas-estacionrias>>.
Acesso em: 06/01/2021

Krummenauer, W. L., Pasqualetto, T. I., & da Costa, S. S. C. (2009). **O uso de instrumentos musicais como ferramenta motivadora para o ensino de acústica no Enino Médio**. *Física Na Escola*, 10(2), 22–24.

Lage, Eduardo. **Pêndulo Simples**, Revista Ciência Elementar, 2018. Disponível em:<<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2018/054/>>. Acesso em: 06/01/2021

Lopes, P. A., & Pimenta, C. C. C. (2020). **O uso do celular em sala de aula como ferramenta pedagógica: Benefícios e desafios**. *Revista Cadernos de Estudos e Pesquisa Na Educação Básica*, 11(01), 06–19.
<https://doi.org/10.46761/unibalsas.v11i01.121>

Magalhães, D. A. de, & Alves Filho, J. de P. (2018). **A discreta dança do ar ao som das equações da física acústica**. *Física Na Escola*, 16(2), 44–50.

Medeiros, J. S. R. de, Filho, H. D. da F., & Matos, R. S. (2019). **Uso de celular no ensino de ciências exatas: um estudo de caso**. *Science and Knowledge in Focus*, 1(2), 37–47. <https://doi.org/10.18468/sc.knowl.focus.2018v1n2.p37-47>

Moreira, M. A. (2012). **O que é afinal Aprendizagem Significativa**. In *Quirriculum* (Vol. 25, Issue marzo, pp. 29–56).
<http://hdl.handle.net/10183/96956>
<http://hdl.handle.net/10183/96956>

Moreira, M. A. (2016). **A Teoria da Aprendizagem Significativa** (p. 69).

Moura, D. de A., & Neto, P. B. (2011). **O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo**. *Física Na Escola*, 12(1), 12–15.

Novicki, A., Latosinski, E. da S., & Poglia, R. (2011). **Determinação da velocidade de uma fonte sonora através da aquisição automática de dados, baseado no efeito Doppler-Fizeau**. *Física Na Escola*, 12(1), 4–7.

Nussenzveig, H. Moysés. **Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 4ª edição. São Paulo, SP: Edgar Blücher, 2002.

O. Helene e V. R. Vanin, **Tratamento estatístico de dados em Física Experimental**, Ed. Edgard Blücher, 2ª Edição (1991)

Ondas transversais e longitudinais, mpeac::sabrina. Disponível em:<<http://boltz.ccne.ufsm.br/st12/?q=node/70>>. Acesso em: 06/01/2021

Pelizzari, A., Kriegl, M. de L., Baron, M. P., Finck, N. resinha L., & Dorocinski, S. I. (2002). **Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel**. *Revista Psicologia, Educação e Cultura*, 2(1), 37–42.
<https://doi.org/10.22196/rp.v3i3.3499>

PhET. **Laboratório do Pêndulo**. Disponível em:
<https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html>. Acesso em: 11 de janeiro de 2021.

PhET. **Massas e Molas**. Disponível em:
<https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_pt_BR.html>. Acesso em: 11 de janeiro de 2021.

Rezende, F., Ostermann, F., & Ferraz, G. (2009). **Ensino-aprendizagem de Física no nível médio: o estado da arte da produção acadêmica no século XXI**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(1).
<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n1/v31n1a08.pdf>

Ribas, A. S., da Silva, S. de C. R., & Galvão, J. R. (2017). **Telefone Celular como Recurso Didático no Ensino de Física**. In *Editora UTFPR* (Vol. 5, Issue 1).
<https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/siklus/article/view/298%0Ahttp://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jana.2015.10.005%0Ahttp://www.biomedcentral.com/1471-2458/12/58%0Ahttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&P>

Ribas, A. S., & Grossa, P. (2012). **Telefone celular como um recurso didático: possibilidades para mediar práticas do ensino de física**.

Rocha, M. D. da, Evangelista, E. G., Machado, N. G., & Mello, G. J. (2015). **(Des) Liga esse celular, moleque! Smartphone como minilaboratório no ensino de Ciências**. *Revista Monografias Ambientais*, 14, 41–52.
<https://doi.org/10.5902/2236130820435>

Santos, G., Reis, J., Santos, B., & Peralta, M. A. (2019). **Sequência de ensino investigativa para o ensino da lei de Hooke e movimento harmônico simples: uso do aplicativo Phyphox, o simulador Phet e GIF's**. *Revista de Enseñanza de La Física*, 31(2), 91–108.

Ser protagonista box: **física, ensino médio: volume único** /organizadora Edições SM; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM. - 1. ed. – São Paulo: Edições SM, 2014. – (Coleção ser protagonista box

Tipler, Paul. **Física, Vol 1** - Guanabara Dois, 4a. ed. – 2000

Vieira, L. P., & Aguiar, C. E. (2016). **Mecânica com o acelerômetro de smartphones e tablets**. *Física Na Escola*, 14(1), 8–14.

Apêndice A

Produto Educacional

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física


Universidade Federal
do Rio Grande


SOCIIDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

USANDO SMARTPHONES NO SENSORIAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA O ENSINO DE ONDAS



Alexsandro Neves Silveira
Everaldo Arashiro
Agueda Maria Turatti

Abril de 2021

Alexsandro Neves Silveira

Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Licenciado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Técnico em Automação Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)
Ex-professor substituto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Sul (IFRS) no curso de Eletrotécnica.
Atualmente é professor de Física na rede privada de Ensino Médio
<http://lattes.cnpq.br/3521751601767876>

Everaldo Arashiro

Doutor em Física Aplicada à Medicina e Biologia pela Universidade de São
Paulo (USP)
Mestre em Física Aplicada à Medicina e Biologia pela Universidade de São
Paulo (USP)
Licenciado em Química pela Universidade de São Paulo (USP)
Bacharel em Química pela Universidade de São Paulo (USP)
Atualmente é professor na Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
<http://lattes.cnpq.br/1305055548542115>

Águeda Maria Turatti

Doutora em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do
Sul (UFRGS)
Mestre em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do
Sul (UFRGS)
Bacharel em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Licenciada em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Atualmente é professora na Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
<http://lattes.cnpq.br/3614433966006997>

Diagramação

Pâmela Taís Dutra Mena
<http://lattes.cnpq.br/5914902297474252>

Sumário

Apresentação	57
Oscilações, ondas e acústica.....	59
Movimento Harmônico Simples.....	60
Sistema Massa – Mola.....	60
Período do Sistema Massa – Mola	62
Roteiro para o Experimento do Sistema Massa-Mola.....	63
Pêndulo Simples	65
Período do Pêndulo Simples.....	65
Roteiro para o Experimento do Pêndulo Simples.....	68
Ondas.....	70
Características das Ondas	70
Velocidade de Onda.....	72
Acústica	72
Velocidade do som no ar	73
Altura do Som.....	73
Intensidade do Som	73
Tubos Sonoros.....	74
Tubo Sonoros Abertos.....	75
Tubos Sonoros Fechados.....	76
Roteiro para o Experimento do Tubo Sonoro.....	77
Bibliografia.....	81
Apêndice 1 – Guia do professor	82
Apêndice 2 – Material de apoio.....	84

Apresentação

No presente trabalho, usando as potencialidades presentes nos celulares, vamos trazer três experimentos utilizando o aplicativo *Phyphox*, além de trazer todo amparo conceitual para poder desenvolver as aulas. O primeiro experimento será composto de uma massa oscilante presa a uma mola, detectaremos o período de oscilação do sistema massa-mola usando o acelerômetro do celular, a partir dos dados obtidos iremos determinar a constante elástica de uma mola qualquer. O segundo será montado um pêndulo simples, onde teremos um ímã preso à massa para que possa ser medida a variação do campo magnético, usando o magnetômetro presente no celular. Ou prendemos o celular a um barbante e usamos o acelerômetro, com isso teremos o período do pêndulo sendo possível determinar a aceleração gravitacional no local do experimento. E por último iremos determinar a velocidade do som usando tubos sonoros, variando o comprimento do tubo usando de montagens que deixam ele com configuração de tubo aberto ou tubo fechado, como apresentado no vídeo com o endereço disponível no apêndice 2, e também no código QR apresentado na capa.

Os experimentos de forma simples, mas bastante inovadoras, tratam de um tema pouco abordado no estudo da Física e caracteristicamente muito abstrato. O ensino de oscilações normalmente é feito de maneira estritamente teórica e isso dificulta muito o entendimento, pois o tema é extremamente abstrato sendo então pouco visual, ou “palpável”, para os alunos. Então, além da Física ser vista como uma disciplina difícil, a parte de ondulatória possivelmente seja a mais difícil.

As aulas foram planejadas de forma a criar uma aprendizagem significativa, visando eliminar possíveis falhas nos conhecimentos prévios dos alunos e com a finalidade de nivelar estes conhecimentos na turma, as primeiras atividades do produto são aulas onde são expostos os conteúdos dos temas de interesse e para auxiliar o entendimento nas aulas de sistema massa-mola e pêndulo simples foram usados simuladores desses temas. As figuras 1 e 2 mostram as telas iniciais dos simuladores utilizados nas aulas.

Figura 1 – Simulador de Pêndulo Simples

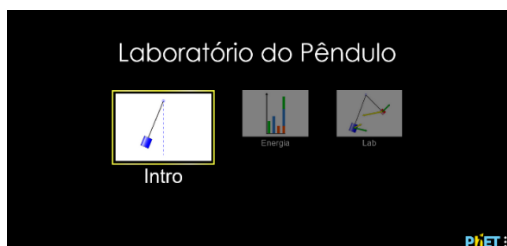
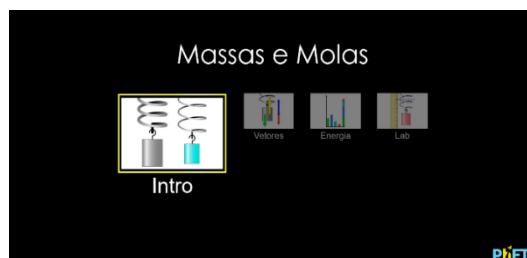


Figura 2- Simulador sistema massa-mola



Fonte: PhET. (Laboratório do Pêndulo e Massas e Molas)

Os experimentos de sistema massa-mola e pêndulo simples seguem os roteiros expostos a seguir quando tratarmos do tema. A tabela 1 demonstra como foram organizadas as aulas para a aplicação do produto educacional.

Tabela 1 – Organização das aulas

Aula	Objetivo	Conteúdos Trabalhados	Recursos	Tempo
Sistema massa-mola	Compreender o movimento harmônico simples e o período do sistema massa-mola.	Movimento harmônico simples, período, massa, constante elástica da mola.	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro • Simulador 	2 aulas
Pêndulo simples	Compreender o período do pêndulo simples	Período, comprimento, aceleração da gravidade	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro • Simulador 	2 aulas
Experimento sistema massa-mola	Determinar a constante elástica de uma mola qualquer	Período, massa, constante elástica da mola, onda senoidal, comprimento de onda.	<ul style="list-style-type: none"> • Celular • Suporte • Mola • Massas • Computador • Projetor 	2 aulas
Experimento pêndulo simples	Determinar a aceleração da gravidade o local do experimento	Período, comprimento, aceleração da gravidade, onda senoidal, comprimento de onda	<ul style="list-style-type: none"> • Celular • Suporte • Fio • Massas • Computador • Projetor 	2 aulas
Tubos sonoros	Estudar as ondas estacionárias em tubos abertos e fechados.	Onda, frequência, comprimento de onda, comprimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro 	3 aulas
Experimento tubos sonoros	Determinar experimentalmente o comprimento de onda para diferentes frequências em tubos abertos e fechados.	Onda, frequência, comprimento de onda, comprimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo • Fonte sonora • Celular • Trena 	2 aulas

Fonte: O autor

A seguir introduzimos os conceitos necessários para desenvolver os experimentos possibilitando seguir a tabela 1.

Oscilações, ondas e acústica

Se observarmos a nossa volta notamos diversas situações que se repetem ciclicamente, sendo periódicas ou semi periódicas, como os dias, meses e os anos.

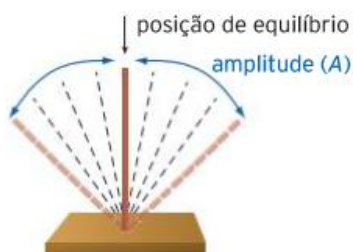
Algumas grandezas, como período, frequência e amplitude são importantes para o estudo.

- **Período** (T) é o intervalo de tempo para realizar uma oscilação completa, medida em segundos.
- **Frequência** (f) é o número de oscilações completas realizadas em um intervalo de tempo, a unidade de medida mais comum é o Hertz (Hz), que mede quantas oscilações há em um segundo.
- A **amplitude** de uma oscilação é a maior distância que o corpo alcança a partir da posição de equilíbrio, esta sendo a posição onde o corpo fica estático naturalmente.
- **Oscilação** é um movimento periódico em torno da posição de equilíbrio.

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

Relação entre período e frequência

Figura 3 – Representação de um movimento oscilatório



Fonte: Ser protagonista box: física

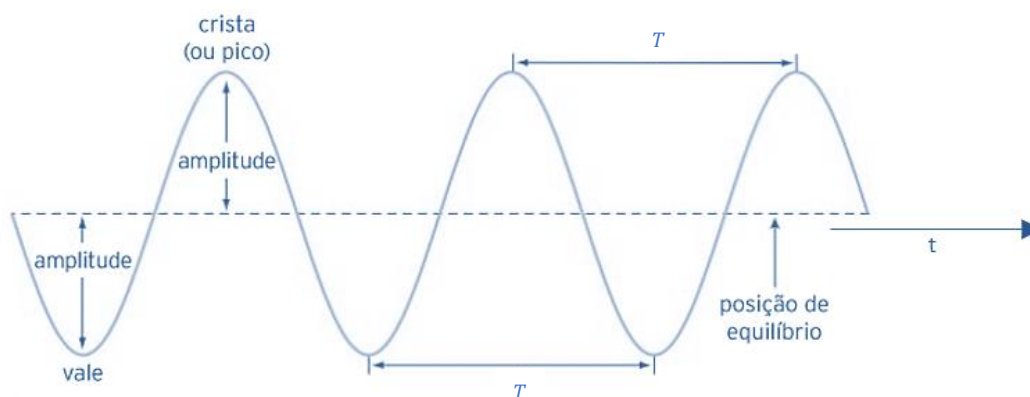
➔ Fenômenos periódicos são os que se repetem em intervalos de tempo iguais, por exemplo, a corrente alternada que no Brasil oscila 60 vezes por segundo, ou seja, 60 Hz.

➔ Fenômenos Semi Periódicos se repetem em intervalos de tempo quase iguais, ou seja, a cada repetição temos um tempo diferente para conclusão de um ciclo, por exemplo, as batidas do coração se repetem com um tempo muito próximo, mas oscilam devido a situações as quais nos expomos.

Movimento Harmônico Simples

Um movimento que se repete em intervalos de tempo similares pode ser denominado movimento harmônico simples (MHS), e pode ser representado graficamente por um gráfico senoidal, como a figura abaixo.

Figura 4 – Gráfico senoidal do MHS



Fonte: Ser protagonista box: física

Para determinar o período é necessário determinar o tempo entre dois picos. Existem dois modelos físicos que são mais convencionais para estudar esse tipo de movimento, o Sistema Massa-Mola e o Pêndulo Simples.



Sistema Massa – Mola

O sistema massa-mola é basicamente um corpo preso a uma mola oscilando em torno de uma posição de equilíbrio. A seguir vamos discutir o comportamento desse sistema do ponto de vista do deslocamento e das energias associadas aos movimentos.

Temos presente a Energia Cinética que é associada a velocidade que o corpo apresenta e a Energia Potencial Elástica que é associada à mola.

Definimos a Energia Cinética por:

$$E_{cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Em que

- E_{cin} : energia cinética [J]
- m : massa [kg]
- v : velocidade [m/s]

E a Energia Potencial Elástica por:

$$E_{pol.el} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Em que

- $E_{pol.el}$: energia potencial elástica [J]
- k : constante elástica da mola [N/m]
- x : distância que a mola se afasta da posição de equilíbrio [m]

Ainda podemos definir a energia total do sistema, ou Energia Mecânica:

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot.el.}$$

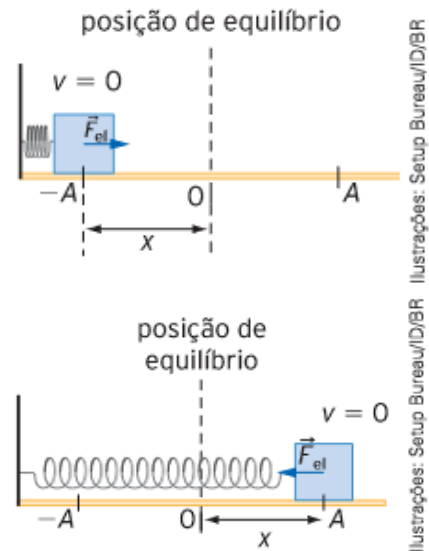
Nas imagens que usaremos existem alguns pontos fixos que são as amplitudes representadas por $-A$ e A , que são as posições mais afastadas da posição de equilíbrio que o corpo irá, e a posição de equilíbrio é representada por uma linha pontilhada e a letra O . Na análise vamos assumir que o corpo já está em movimento e que a Energia Mecânica se conserva, pois não há atrito.

Nas figuras vemos a massa nas amplitudes, ou seja, o ponto mais afastado da posição de equilíbrio e também onde existe uma inversão do movimento, portanto temos $v = 0$. Aqui teremos a Energia Potencial Elástica máxima e Energia Cinética nula. Logo $E_{mec} = E_{pot.el.}$

Agora se tivermos em qualquer posição intermediária entre as amplitudes e a posição de equilíbrio ($-A > x > 0$ ou $0 > x > A$) a velocidade assume valores variáveis para cada distância da posição de equilíbrio, isso resulta que conforme a Energia Cinética diminui a Energia Potencial Elástica aumenta então $E_{mec} = E_{cin} + E_{pot.el.}$

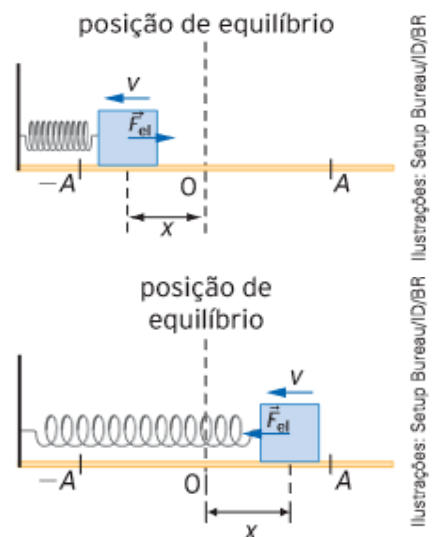
E por último vamos analisar quando a massa está exatamente na posição de equilíbrio, ou seja, $x = 0$ e por consequência a Energia Potencial Elástica é nula e a Energia Cinética é máxima, pois o corpo tem a velocidade com o maior valor durante o movimento oscilatório.

Figura 5 – Exemplo de um sistema massa-mola em suas amplitudes máximas



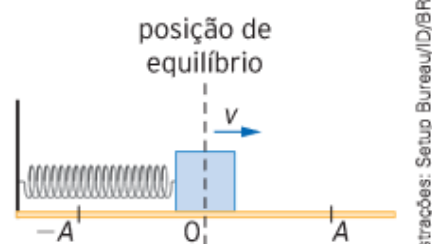
Fonte: Ser protagonista box: física

Figura 6 – Exemplo de um sistema massa-mola em suas amplitudes intermediárias



Fonte: Ser protagonista box: física

Figura 7 – Sistema massa-mola na posição de equilíbrio



Fonte: Ser protagonista box: física

Período do Sistema Massa – Mola

Agora que definimos como é o comportamento de um movimento oscilatório periódico através do sistema massa-mola precisamos definir quanto tempo a massa leva para sair de um determinado ponto e voltar para esse mesmo ponto, ou seja, por exemplo sair da amplitude A , passar pela posição de equilíbrio 0 , chegar na amplitude $-A$, voltar passando por 0 e voltar a posição A . Para esse tempo se dá o nome de Período e ele se relaciona com a frequência da seguinte forma:

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

Relação entre período e frequência

Podemos relacionar a frequência (f) com a frequência angular (ω)

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

Relação entre frequência e frequência angular

A frequência angular do sistema massa-mola é definida por:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Em que

- ω : frequência angular [rad/s]
- k : constante elástica da mola [N/m]
- m : massa [kg]

Então o período é calculado por:

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

Relação entre período e frequência angular

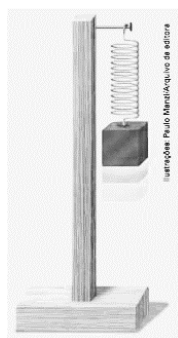
➡ Medidas realizadas diversas vezes nas mesmas condições tendem a ter valores diferentes, mesmo que com pequenas diferenças, para corrigir essas diferenças na coleta de dados, pegamos vários valores e realizamos a média aritmética deles. Nos roteiros diversas vezes é indicado que se calcule a média de alguns valores. Para realizar esse cálculo teremos N valores de uma grandeza, x_1, x_2, \dots, x_N , que podem ser o período, constante elástica, aceleração da gravidade, velocidade entre outras, para determinarmos a média aritmética usamos a equação abaixo.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i$$

➤ ROTEIRO PARA O EXPERIMENTO DO SISTEMA MASSA-MOLA

Dispondo de uma massa presa a um suporte através de uma mola como representado na figura 8. Afastando essa massa de sua posição de equilíbrio a mola exerce uma força contrária, logo quando soltamos essa massa o sistema oscila, realizando um movimento harmônico simples, e a essa montagem damos o nome de sistema massa-mola.

Figura 8 – Sistema massa-mola



Fonte: Gaspar Alberto

$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	➔	<p>Em que</p> <ul style="list-style-type: none">• T: período [s]• k: constante elástica da mola [N/m]• m: massa [kg]
-------------------------------	---	---

O período de oscilação do sistema massa-mola é definido por:

MATERIAIS: - Suporte
- Mola
- Massas de valor conhecido
- *Smartphone* com o aplicativo *Phyphox*

OBJETIVO: Determinar a constante elástica de uma mola via oscilação.

PROCEDIMENTO

1ª ETAPA: Realizar a montagem do sistema massa-mola como demonstrado na figura 8.

2ª ETAPA: A primeira massa que iremos usar é o próprio *Smartphone*.

- ✓ O aplicativo *phyphox* deve estar aberto com a opção “Aceleração sem g” selecionada;
- ✓ Clicar no *play*;
- ✓ Iniciar a oscilação.

➡ Tome cuidado na hora de afastar a massa da posição de equilíbrio, pois pode causar uma deformação permanente na mola, então o ideal é causar um leve deslocamento na massa.

3ª ETAPA: Coletar 10 valores de período de oscilação para cada uma das massas, sendo que iremos usar 5 massas.

- ✓ Coletar os valores do gráfico senoidal criado pelo aplicativo;
- ✓ Para determinar os períodos deve-se coletar a diferença de tempo entre dois picos consecutivos ou dois vales consecutivos;
- ✓ Para ter 10 valores é necessário repetir esse procedimento 10

➡ O aplicativo possibilita exportar os dados para uma análise mais precisa.

4ª ETAPA: Determinar a constante elástica da mola.

- ✓ A partir da equação que define o período do sistema massa-mola, encontre uma equação para determinar a constante elástica em função do período e da massa.

5ª ETAPA: Preencha a tabela a seguir com os dados obtidos do experimento.

Tabela 2 – Dados do experimento sistema massa-mola

	$m_1=$	$m_2=$	$m_3=$	$m_4=$	$m_5=$
T_1					
T_2					
T_3					
T_4					
T_5					
T_6					
T_7					
T_8					
T_9					
T_{10}					
\bar{T}					
k					

Fonte: O autor

6ª ETAPA: Apresente os cálculos para o período médio, \bar{T} , e para a constante elástica, k .

7ª ETAPA: Calcule a constante elástica média usando a constante elástica determinada para cada massa.

8ª ETAPA: Descreva suas conclusões a partir dos dados obtidos

- ✓ Qual a relação entre o período e a massa?
- ✓ Qual foi o valor determinado da constante elástica da mola?

Pêndulo Simples

Se dispormos de uma massa qualquer suspensa por um fio teremos um Pêndulo Simples. É possível fazer o mesmo tipo de análise que fizemos para o sistema massa-mola, considerando ainda um sistema conservativo, mas a Energia Mecânica fica definida como Energia Cinética somada com a Energia Potencial Gravitacional.

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot.grav.}$$

A Energia Potencial Gravitacional é definida por:

$$E_{pot.grav.} = m \cdot g \cdot h$$

Em que:

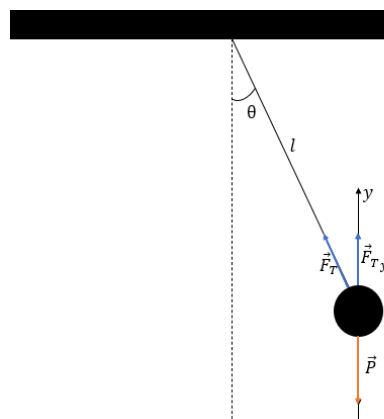
- $E_{pot.grav.}$: Energia potencial gravitacional [J]
- m : massa [kg]
- g : aceleração da gravidade [m/s^2]
- h : altura (medida em relação à posição de equilíbrio) [m]

Fora essas mudanças a metodologia de analisar os conceitos é da mesma forma que foi feita anteriormente.

Período do Pêndulo Simples

Para definirmos o período precisamos analisar algumas características presentes na figura 9.

Figura 9 – Exemplo de um Pêndulo Simples



Fonte: O autor

A partir da figura acima é possível observar que a massa suspensa pelo fio está sujeita à força peso e à tração do fio, a força de tração pode ser decomposta em suas componentes no eixo x e no eixo y. Para construir a equação que define o período do pêndulo simples serão observadas as forças que atuam na direção y, então:

$$\vec{F}_{ry} = \vec{F}_{Ty} + \vec{P}$$

Sendo F_{Ty} a componente da tração no eixo y, P a força peso e F_{ry} a força resultante na direção y. Como a aceleração se altera apenas no referencial x, a força resultante em y é nula, portanto:

$$F_{Ty} + P = 0$$

Sabendo que $F_{Ty} = F_T \cos(\theta)$ e $P = mg$, podemos reescrever da seguinte forma:

$$F_T \cos(\theta) + mg = 0$$

Como $F_T = ma$ e nesse caso a aceleração é a aceleração centrípeta $a = \omega^2 R$, reescrevendo a velocidade angular para $\omega = \frac{2\pi}{T}$, pois 2π será o deslocamento máximo de uma volta do movimento circular e T o período desse deslocamento e ainda escrevendo $R = l$, ou seja, o raio de curvatura igual ao comprimento do fio que suspende a massa, teremos:

$$a = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 l$$

$$F_T = -m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 l$$

Portanto teremos:

$$-m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 l \cos(\theta) + mg = 0$$

Reescrevendo a equação para isolar o período de oscilação do pêndulo simples:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos(\theta)}{g}}$$

Ao realizar pequenas oscilações com pêndulo simples é possível considerar o $\cos(\theta)$ aproximadamente igual a 1, portanto:

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



Esta equação que define o período em função do comprimento (l) e da aceleração da gravidade (g) determina o período do Pêndulo Simples.

A equação é válida apenas para pequenos ângulos, preferivelmente abaixo de 10° , e que independe da massa a ser utilizada.

➤ ROTEIRO PARA O EXPERIMENTO DO PÊNDBULO SIMPLES

Embora seja uma atividade experimental muito simples, ela facilita muito o entendimento sobre oscilações.

Deslocando uma massa pendurada por um fio de comprimento l de sua posição de equilíbrio, essa massa passa a oscilar. Para pequenos ângulos de oscilação, menores que 10° , o movimento pode ser considerado harmônico simples. O período do pêndulo simples é definido por:

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

Em que:

- T : período [s]
- l : comprimento [m]
- g : aceleração da gravidade [m/s^2]

MATERIAIS: - Suporte
- Barbante
- Ímã
- *Smartphone* com o aplicativo *Phyphox*
- Massas
- Trena

OBJETIVOS: Demonstrar que o período do pêndulo simples independe da massa;
Determinar a aceleração da gravidade.

PROCEDIMENTO

1ª ETAPA: Realizar uma montagem como a da figura acima, prenda um ímã ao barbante e meça o comprimento l .

- ✓ No aplicativo *phyphox* abra a opção magnetômetro;
- ✓ Aperte o play;
- ✓ O celular deve estar fixo sobre a mesa para medir as oscilações do pêndulo através da oscilação do campo magnético.

➔ Cuidado para não deixar o ímã muito próximo ao celular, pois pode causar danos ao aparelho.

2ª ETAPA: Afaste o pêndulo da posição de equilíbrio, lembrando que deve ser pequenos ângulos, e solte.

3ª ETAPA: Coletar 10 valores de período de oscilação para cada um dos comprimentos, sendo que iremos usar 5 comprimentos l diferentes, varie de 10 e 15 cm entre os comprimentos.

- ✓ Coletar os valores do gráfico senoidal criado pelo aplicativo;
- ✓ Para determinar os períodos deve-se coletar a diferença de tempo entre dois picos consecutivos ou dois vales consecutivos;
- ✓ Para ter 10 valores é necessário repetir esse procedimento 10

➔ O aplicativo possibilita exportar os dados para uma análise mais precisa.

Experimente colocar uma massa junto ao ímã e observe o que acontece com o período de oscilação do pêndulo simples.

4ª ETAPA: Determinação da aceleração da gravidade.

- ✓ Usando a equação que define o período do pêndulo simples, encontre a equação para determinar a aceleração da gravidade em função do comprimento do fio e do período de oscilação.

5ª ETAPA: Preencha a tabela a seguir com os dados obtidos do experimento.

Tabela 3 – Dados do experimento pêndulo simples

	$l_1=$	$l_2=$	$l_3=$	$l_4=$	$l_5=$
T_1					
T_2					
T_3					
T_4					
T_5					
T_6					
T_7					
T_8					
T_9					
T_{10}					
\bar{T}					
g					

Fonte: O Autor

6ª ETAPA: Apresente os cálculos para o período médio, \bar{T} , e para a aceleração da gravidade, g .

7ª ETAPA: Calcule a aceleração da gravidade média usando a aceleração da gravidade determinada para cada comprimento do fio do pêndulo.

8ª ETAPA: Descreva suas conclusões a partir dos dados obtidos.

- ✓ Qual a relação entre o período e a massa do pêndulo?
- ✓ Qual a relação entre o período e o comprimento da linha?
- ✓ Qual foi o valor determinado da aceleração da gravidade?

Ondas

Se tivermos uma corda esticada e a balançarmos para cima e para baixo teremos um pulso, quando existe uma sequência periódica de pulsos definimos isso como onda. Uma onda tem algumas características, além de ser pulsos periódicos ela transporta energia, mas não transporta matéria.

Características das Ondas

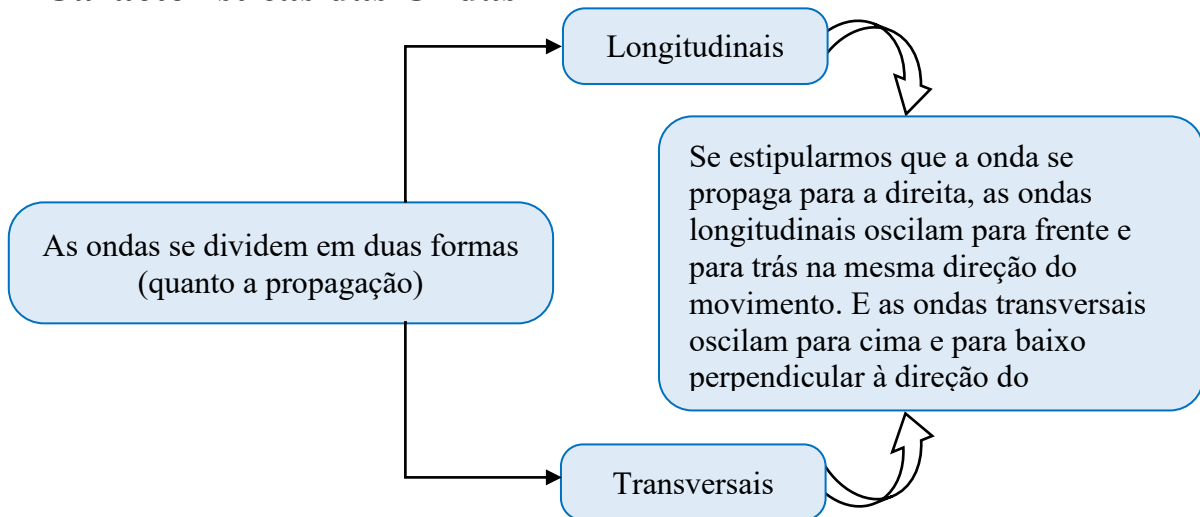
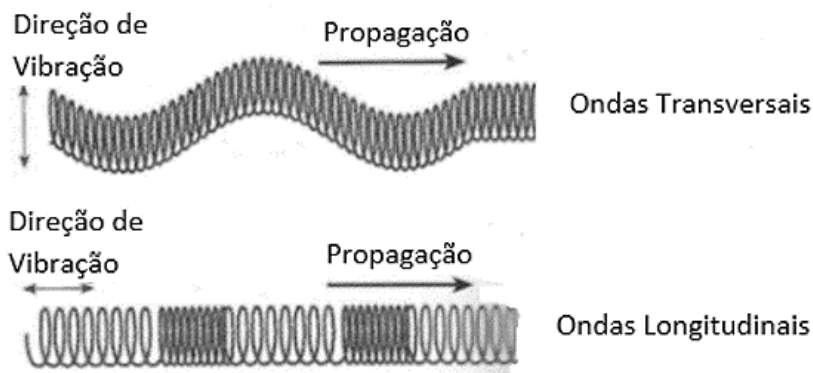
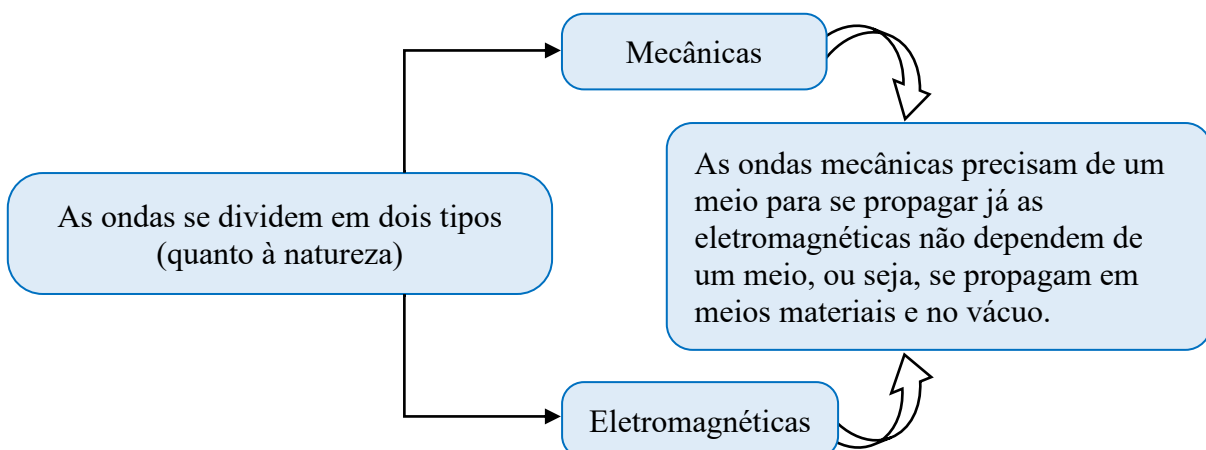


Figura 11 – Ondas transversais e longitudinais

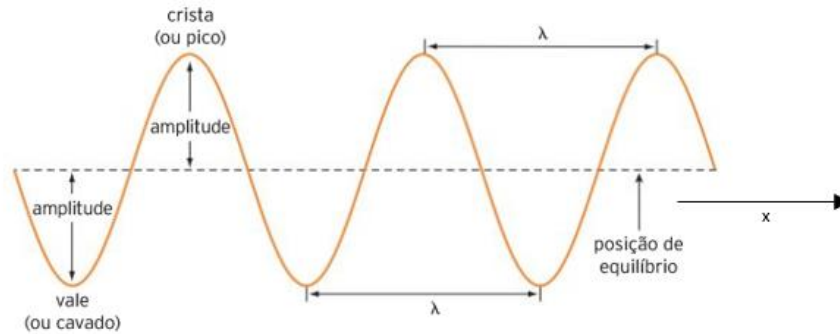


Fonte: Curso do Blog – Termologia, Óptica e Ondas, Os Fundamentos da Física



Ainda caracterizamos as ondas por algumas propriedades, como o ponto mais alto da onda, que denominamos de pico, e o ponto mais baixo da onda, chamado de vale.

Figura 12 – Propriedades das Ondas



Fonte: Ser protagonista box: física

Amplitude

É a distância de um pico ou de um vale até a posição de equilíbrio, ela representa o quanto de energia a onda está transmitindo, ou seja, quanto maior a amplitude maior a energia que a onda está transportando.

Comprimento de onda (λ)

Representa um ciclo completo realizado, a maneira mais fácil de determinar é medindo a distância de um pico até o imediatamente posterior, o mesmo vale se fizermos com dois vales, como é possível ver na figura.

Frequência

É o número de ciclos que são realizados em determinado intervalo de tempo, quando medimos em Hertz (Hz) é o número de ciclos que ocorrem em um segundo.

Período

É o tempo necessário para realizar um ciclo completo.

Velocidade de Onda

A onda percorre uma distância que chamamos de comprimento de onda em um tempo que chamamos de período. Em cinemática definimos:

$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$	Em que:	<ul style="list-style-type: none">• v: velocidade da onda [m/s]• ΔS: distância [m]• Δt: tempo [s]
---------------------------------	---------	--

Podemos afirmar que $\Delta S = \lambda$ e $\Delta t = T$, então a velocidade pode ser reescrita:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Ou ainda com a forma mais conhecida:

$v = \lambda \cdot f$	Em que:	<ul style="list-style-type: none">• v: velocidade da onda [m/s]• λ: comprimento de onda [m]• f: frequência [s]
-----------------------	---------	---

A velocidade da onda varia para cada meio, pois o comprimento de onda varia dependendo do meio em que a onda se propaga, a frequência depende exclusivamente da fonte geradora.

Acústica

A acústica estuda os sons e suas propriedades, os sons são ondas mecânicas portanto trataremos de fenômenos que ocorrem em meios materiais. Podemos dividir o som em três tipos: o intervalo audível compreendido entre as frequências de 20 Hz a 20 kHz, sons abaixo de 20 Hz são chamados de infrassons e acima de 20 kHz ultrassons. Diversos animais tem a capacidade de ouvir os infrassons ou ultrassons, mas o intervalo audível é definido pelo intervalo de som ouvido pelos seres humanos.

Velocidade do som no ar

Como a velocidade de uma onda depende do meio em que ela se propaga e o ar varia a densidade dependendo da altitude e da temperatura, a velocidade do som no ar varia conforme a temperatura e altitude local. A tabela a seguir mostra a velocidade do som a nível do mar em algumas temperaturas.

Tabela 4 – Velocidade das ondas sonoras

Velocidade das ondas sonoras a 1atm

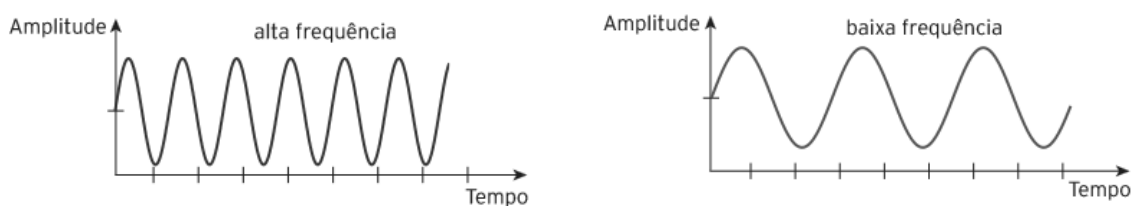
0°C	331,1 m/s
10°C	337,4 m/s
20°C	343,4 m/s
30°C	349,2 m/s

Fonte: Nussenzveig, H. Moysés

Altura do Som

A altura do som faz referência a frequência da onda sonora. Sons de alta frequência são denominados de sons agudos e musicalmente de altos, já as frequências mais baixas são chamadas de sons graves e musicalmente de baixos. Ao analisarmos a equação que caracteriza a velocidade do som vemos que o comprimento de onda e a frequência são inversamente proporcionais portanto, sons agudos têm um comprimento de onda pequeno e os sons graves têm comprimentos de onda grandes.

Figura 13 – Gráficos que representam ondas de alta e baixa frequência



Fonte: Ser protagonista box: física

Intensidade do Som

A intensidade do som depende da quantidade de energia que a onda transporta, na representação gráfica da onda a intensidade é associada a amplitude. A partir da fonte sonora as frentes de onda se dissipam em todas as direções, considerando que não há nenhum obstáculo e a que fonte esteja no solo, ou seja, em campo aberto, o som se propaga como uma cúpula. Podemos calcular a intensidade como a razão entre a potência da fonte sonora e a área em que o som se dissipa.

$$I = \frac{P}{A}$$

A intensidade basicamente define o que costuma ser chamado de volume, com a equação acima temos a medida em W/m^2 , mas é mais comum vermos a medida em decibel (dB) que é um submúltiplo de bel, unidade de medida do nível de intensidade da sensação sonora (β), representado matematicamente por:

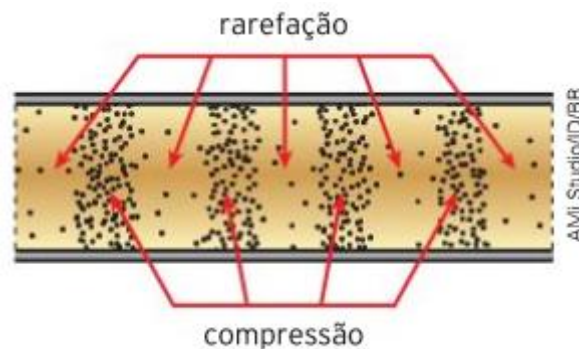
$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

O valor de I_0 é definido como o limiar da audição ou o silêncio e vale $10^{-12} W/m^2$.

Tubos Sonoros

Muitos instrumentos musicais produzem som através de tubos, o que produz esses sons é a capacidade dos tubos sonoros vibrarem a coluna de ar dentro deles, criando uma onda longitudinal capaz de criar áreas de compressão e rarefação.

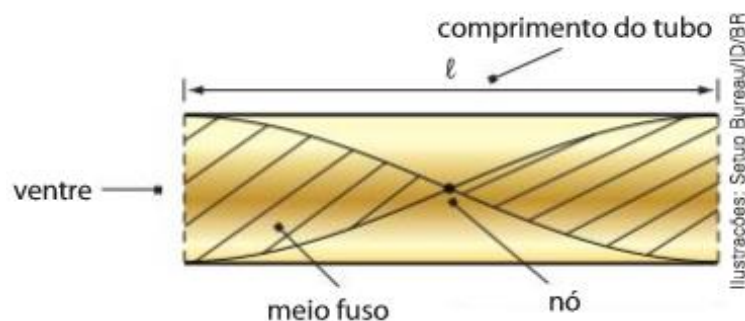
Figura 14 – Representação de uma onda no interior de um tubo



Fonte: Ser protagonista box: física

Nas regiões de compressão é onde ficam os nós e a pressão é máxima, nas regiões de compressão se localizam os ventres e a pressão é mínima.

Figura 15 – Propriedades de uma onda no interior de um tubo



Fonte: Ser protagonista box: física

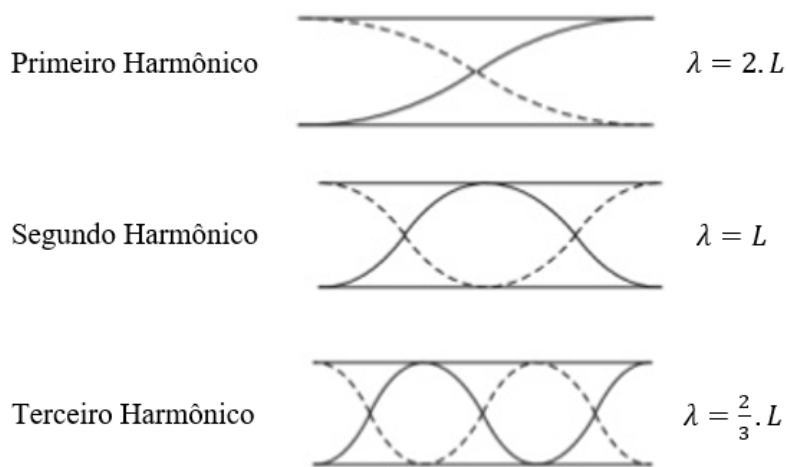
Os tubos se classificam de acordo com a configuração de suas extremidades, elas podem ser abertas ou fechadas, assim temos os tubos sonoros aberto onde as duas

extremidades são abertas representados nas figuras acima e os tubos sonoros fechados, onde uma extremidade é aberta e a outra é fechada.

Tubo Sonoros Abertos

Como já discutido os tubos abertos são com as duas extremidades abertas e para determinarmos o comprimento de uma onda podemos medir o comprimento de um pico até o seguinte, então se medirmos de um vale até um pico teremos metade do comprimento de onda, então para a figura abaixo que representa o primeiro harmônico podemos escrever que o comprimento de onda é igual duas vezes o comprimento do tubo.

Figura 16 – Harmônicos nos tubos abertos



Fonte: Adaptado de João L.P.

Pelas representações acima vemos que o comprimento de onda varia dependendo do harmônico que estamos falando e representamos os harmônicos pelo número dele e representamos pela letra n , então temos $n = 1$, $n = 2$ e assim por diante. Observando o comportamento do comprimento de onda para cada harmônico podemos escrever a seguinte equação para qualquer harmônico.

$$\lambda = \frac{4.L}{2.n}$$

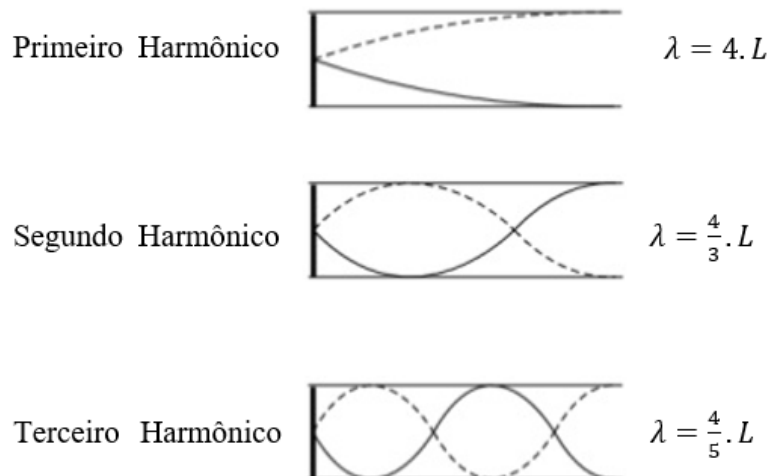
Ainda podemos reescreve a equação $v = \lambda.f$ em função do comprimento do tubo e do harmônico ao qual se está tratando.

$f_n = \frac{n.v}{4.L}$		<p>Em que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • f_n: frequência • n: número harmônico • v: velocidade do som • L: comprimento do tubo
-------------------------	--	---

Tubos Sonoros Fechados

Os tubos sonoros fechados têm uma configuração dos harmônicos diferente dos abertos, pois agora temos uma das extremidades aberta e a outra fechada. Ao analisarmos o primeiro harmônico vamos constatar que há a representação da quarta parte de um comprimento de onda, ou seja, o comprimento de onda vale quatro vezes o comprimento do tubo.

Figura 17 – Harmônicos nos tubos fechados



Fonte: Adaptado de João L.P.

Notamos que só existem números ímpares dividindo o 4, isso significa que só existem harmônicos ímpares quando estamos tratando dos tubos sonoros fechados. Genericamente o comprimento de onda pode ser escrito como $\frac{4}{n} \cdot L$, mas para podermos usar a ordem dos harmônicos iguais aos tubos sonoros abertos ($n = 1, 2, 3, \dots$) escrevemos:

$$\lambda = \frac{4 \cdot L}{(2n - 1)}$$

E reescrevendo a equação que descreve a velocidade da onda para sabermos a frequência em termos do comprimento do tubo e do número do harmônico.

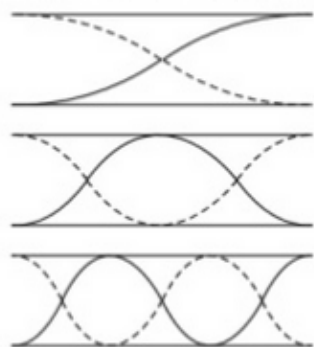
$$f_{(2n-1)} = \frac{(2n - 1) \cdot v}{4 \cdot L}$$

Identificando com qual tipo de tubos sonoros estamos trabalhando é possível determinarmos o número harmônico (n) através da quantidade de nós que se apresenta na representação da onda dentro do tubo. Isso vale tanto para tubos sonoros abertos quanto fechados.

➤ ROTEIRO PARA O EXPERIMENTO DO TUBO SONORO

Dependendo de como estão configuradas as extremidades dos tubos, podemos ter tubos abertos ou tubos fechados. Sendo que os tubos sonoros abertos têm as duas extremidades livres, como representado na figura. Nesse caso, a frequência pode ser encontrada pela equação (1).

Figura 18 – Tubos Abertos

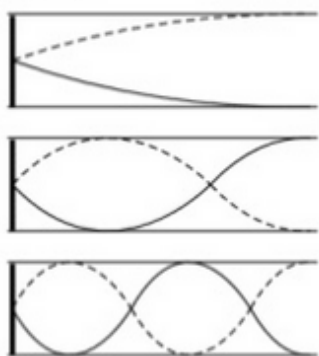


$$f_n = \frac{nv}{4L} \quad n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots \quad (1)$$

Fonte: Adaptado de João L.P.

Os tubos sonoros fechados têm uma extremidade aberta e outra fechada, nessa configuração temos apenas os harmônicos ímpares e a frequência pode ser obtida pela equação (2).

Figura 19 – Tubos Fechados



$$f_{(2n-1)} = \frac{(2n-1) \cdot v}{4 \cdot L} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Fonte: Adaptado de João L.P.

Para as duas equações f é a frequência da onda, n é número do harmônico, v é a velocidade do som e L o comprimento do tubo. As duas equações acima derivam da equação fundamental das ondas que relaciona a velocidade v , o comprimento de onda λ e a frequência da onda f , descrita pela seguinte relação.

$$v = \lambda f \quad (3)$$

- MATERIAIS:** -Amplificador
- Alto-falante
- Suporte para o alto-falante
- Tubo sonoro principal
- Êmbolo
- Tubo sonoro secundário
- 2 *Smartphones* com o aplicativo *phyphox*

OBJETIVO: Determinar a velocidade do som.

PROCEDIMENTO

Para auxiliar a montagem do experimento foi criado um vídeo demonstrando os componentes do tubo e como usá-los. Para acessar o vídeo⁴ faça uso do código abaixo.

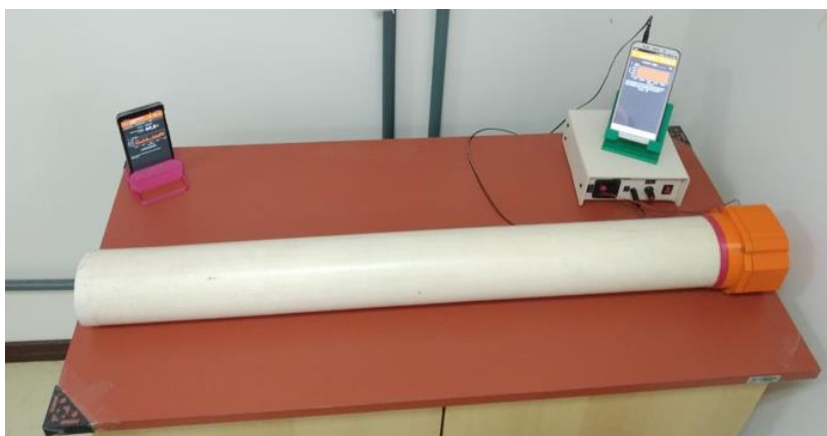
Figura 20 – *QR Code* para acessar orientações para a montagem



Fonte: O autor

1ª ETAPA: Usando o conjunto disponibilizado, monte a configuração de tubo aberto usando o tubo primário e secundário, como demonstrado na figura 20.

Figura 21 – Harmônicos nos tubos fechados



Fonte: O autor

⁴ <https://youtu.be/bFh4ZWwj61E>

2ª ETAPA: Conecte um *smartphone* ao conjunto do alto-falante.

- ✓ Abra o aplicativo *phyphox*;
- ✓ Selecione a opção gerador de tom;
- ✓ Nessa opção será definida a frequência da onda sonora.

3ª ETAPA: Posicione um segundo *smartphone* de acordo com a montagem da figura 20.

- ✓ Abra a opção amplitude de áudio e aperte o *play*;
- ✓ Vá na aba calibração e aperte calibrar;
- ✓ Volte para a aba amplitude, deixe o *smartphone*, com o microfone, nas proximidades do alto-falante e do tubo.

4ª ETAPA: Movimentando o tubo secundário, que é a parte móvel da montagem, encontre dois picos ou vales consecutivos.).

- ✓ Para identificar os vales é preciso encontrar a posição em que a opção amplitude do áudio mostre o menor valor no nível da pressão sonora;
- ✓ Para identificar os picos, encontrar a posição onde tenha o maior valor no nível da pressão sonora.

5ª ETAPA: Após coletar os dados do tubo aberto, preencha a tabela 5 abaixo.

6ª ETAPA: Monte a configuração de tubo fechado usando o tubo primário e o êmbolo, como demonstrado na figura 21.

- ✓ Mantenha as etapas “2” e “3”;
- ✓ Para realizar a coleta de dados fazer o mesmo da etapa “4”, mas movimentando o êmbolo ao invés do tubo secundário.

Figura 22 – Harmônicos nos tubos fechados



Fonte: O autor

7ª ETAPA: Determinação da velocidade do som.

- ✓ Meça a distância entre dois picos ou vales para diferentes valores de frequência e preencha a tabela abaixo;
- ✓ Usando a equação (3), determine a velocidade do som nos tubos abertos. Faça o mesmo para os tubos fechados.

Tabela 5 – Dados do experimento tubos sonoros

Tubo Aberto			Tubos Fechados		
f (Hz)	λ (m)	v (m/s)	f (Hz)	λ (m)	v (m/s)

Fonte: O autor

8ª ETAPA: Apresente os cálculos para a velocidade do som, v e determine a velocidade média, \bar{v} .

- ✓ Compare o valor obtido \bar{v} com o valor esperado no ar ao nível do mar; não esqueça de levar em conta a temperatura do ambiente para considerar o valor teórico, se possível através dessa comparação determine a temperatura no dia da realização do experimento.

Bibliografia

Curso do Blog – Termologia, Óptica e Ondas, **Os Fundamentos da Física**, 2017. Disponível

em:<http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2017/11/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_14.html>. Acesso em: 06/01/2021

Gaspar, Alberto. **Compreendendo a física: ensino médio. Volume 2** – Editora Ática, 2010.

Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 2.

João, L.P. **Acústica**, Slideshare. Disponível em:<<https://www.slideshare.net/jlp1973/fenmenos-ondulatrios-ondas-estacionrias>>. Acesso em: 06/01/2021

Lage, Eduardo. **Pêndulo Simples**, Revista Ciência Elementar, 2018. Disponível em:<<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2018/054/>>. Acesso em: 06/01/2021

Nussenzveig, H. Moysés. **Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 4ª edição. São Paulo, SP: Edgar Blücher, 2002.

O. Helene e V. R. Vanin, **Tratamento estatístico de dados em Física Experimental**, Ed. Edgard Blücher, 2ª Edição (1991)

Ondas transversais e longitudinais, mpeac::sabrina. Disponível em:<<http://boltz.ccne.ufsm.br/st12/?q=node/70>>. Acesso em: 06/01/2021

PhET. **Laboratório do Pêndulo**. Disponível em:<https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html>. Acesso em: 11 de janeiro de 2021.

PhET. **Massas e Molas**. Disponível em:<https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_pt_BR.html>. Acesso em: 11 de janeiro de 2021.

Ser protagonista box: **Física, ensino médio: volume único** /organizadora Edições SM; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM. - 1. ed. – São Paulo: Edições SM, 2014. – (Coleção ser protagonista box

Tipler, Paul. **Física, Vol 1** - Guanabara Dois, 4a. ed. – 2000

Apêndice 1 – Guia do professor

Este guia traz algumas dicas para facilitar o uso dos experimentos desenvolvidos neste produto educacional.

I. Roteiro para o Experimento do Sistema Massa-Mola

- Desenvolver os conhecimentos prévios necessários para a realização do experimento como massa, constante elástica da mola e período.
- O objetivo do experimento é determinar a constante elástica da mola, então é necessário discutir como obtê-lo a partir da equação do período.
- Obtêm-se os valores dos períodos para preencher a tabela a partir do gráfico senoidal produzido pelo aplicativo *phyphox*, existem dois métodos: exportando os dados em uma tabela Excel ou através do gráfico pegando os valores de dois picos consecutivos.
- É válido debater que o período depende apenas da massa e da constante elástica e independe da aceleração da gravidade, isso visando diferenciar o comportamento do sistema massa-mola e do pêndulo simples.

II. Roteiro para o Experimento do Pêndulo Simples

- Para o pêndulo simples valem os mesmos pontos do sistema massa-mola, mas os conhecimentos prévios necessários são comprimento e a aceleração da gravidade.
- O objetivo é determinar a aceleração da gravidade. O método para obter a partir da equação do período é a mesma do sistema massa-mola, para obter o período também segue o mesmo procedimento.
- O debate agora é para demonstrar que o período do pêndulo simples independe da massa, dependendo apenas do comprimento do fio que sustenta a massa e da aceleração da gravidade.

III. Roteiro para o Experimento do Tubo Sonoro

- Os conhecimentos prévios necessários para realizar o experimento são o comportamento das ondas sonoras nos tubos abertos e fechados, o conceito de nós e ventres das ondas dentro dos tubos, comprimento de onda, frequência e velocidade escalar, além do conhecimento de comprimento linear.
- O objetivo do experimento é determinar a velocidade do som usando a configuração aberta e fechada do tubo.
- Para determinarmos a velocidade do som é necessário saber a frequência da onda sonora que sai da caixa de som, podemos definir a frequência através do aplicativo *phyphox* na opção gerador de tom, mas também é possível usar outro meio de preferência e também, através do aplicativo, na opção espectro de áudio aferir o valor da frequência
- Também é preciso saber o comprimento de onda para calcular a velocidade do som. Para a configuração do tubo fechado temos um êmbolo que se move no

interior do tubo e no tubo aberto há um tubo secundário que também se move no interior do tubo, conforme movemos o êmbolo e o tubo secundário alteramos o comprimento do tubo sonoro e fica perceptível que o nível de intensidade sonora varia, para medirmos essa variação usamos a opção amplitude de áudio no aplicativo *phyphox*. Determinando a frequência escolhida e variando o comprimento do tubo encontraremos valores de máximos consecutivos, a distância entre esses dois picos corresponde a meio comprimento de onda, normalmente esse valor é obtido em centímetros e precisamos trabalhar com ele em metros

- Recomenda-se usar frequências entre 300 Hz e 1800 Hz, pois as frequências nesse intervalo são as que melhor funcionaram para o experimento, principalmente começando por 330 Hz e ir variando a cada 110 Hz.
- Se for necessário realizar o experimento em mais de um dia é possível discutir a influência da temperatura e da pressão atmosférica na velocidade do som no ar.

Apêndice 2 – Material de apoio

Atualmente existem diversos materiais de apoio disponíveis para usarmos em nossas aulas, um recurso que é muito abundante atualmente são vídeos que ensinam diversos assuntos. Portanto segue uma lista de sugestões disponíveis no *YouTube*.

A lista abaixo é do canal Chama o Físico de responsabilidade do Thales Rodrigues

- Sistema massa-mola
<https://youtu.be/dUb4QTNjU7I>
- Pêndulo Simples
<https://youtu.be/VDaFXRQNC3E>
- Harmônico Fundamental
https://youtu.be/vJNYHb7_fp8
- Tubos sonoros
https://youtu.be/odg_v408zK0

Os vídeos a seguir são produções do canal Ciência Todo Dia do Pedro Loos

- Onda
<https://youtu.be/M2D5-zXID6A>
- Som
<https://youtu.be/WLM6-By0qBg>

O seguinte vídeo é uma produção realizada para ser usado com os alunos, devido as aulas terem sido remotas, e serve de apoio para demonstrar como realizar a montagem e o funcionamento do experimento

<https://youtu.be/bFh4ZWwj61E>

Apêndice B

Questionário Movimento Harmônico Simples

- 1 O que é um movimento periódico?
 - a) Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos iguais, sendo o intervalo de tempo mínimo para a repetição do movimento denominado frequência.
 - b) Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos diferentes, sendo o intervalo de tempo mínimo para a repetição do movimento denominado período.
 - c) Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos iguais, sendo o intervalo de tempo mínimo para a repetição do movimento denominado período.
 - d) Podemos definir movimentos periódicos como aqueles que se repetem a intervalos de tempos diferentes, sendo o intervalo de tempo mínimo para a repetição do movimento denominado frequência.

- 2 Qual das opções abaixo não é um movimento periódico?
 - a) Translação da Terra em torno do Sol.
 - b) Tempestades.
 - c) Fases da Lua.
 - d) O dia.

- 3 Qual a condição para que exista equilíbrio em um ponto material?
 - a) A resultante de forças sobre o corpo ser nula.
 - b) A força resultante equilibrar o movimento.
 - c) O movimento permitir aceleração constante.
 - d) Que o somatório de forças seja maior que zero.

- 4 Como se comporta o período do pêndulo simples, quando aumentamos a massa?
 - a) Aumenta.
 - b) Diminui.
 - c) Acelera.
 - d) Permanece constante.

- 5 Como se comporta o período do sistema massa-mola, quando aumentamos a massa?
 - a) Aumenta.
 - b) Diminui.
 - c) Acelera.
 - d) Permanece constante.

- 6 Existe alguma relação entre o período do Pêndulo Simples, a massa, a constante elástica da mola, o comprimento do fio e a gravidade? Se sim, explique como é essa relação.

- 7 Existe alguma relação entre o período do Sistema Massa-Mola, a massa, o comprimento do fio, a constante elástica da mola e a gravidade? Se sim, explique como é essa relação.

Apêndice C

Questionário Ondas

1. Qual das alternativas abaixo caracteriza um número harmônico
 - a) Comprimento de Onda
 - b) Frequência de Ressonância
 - c) Amplitude da Onda
 - d) Período da Onda

2. Uma onda sonora, com frequência constante, se propagando em um tubo que seja possível alterar seu comprimento. Qual das alternativas está correta sobre o comportamento da onda sonora no interior da onda?
 - a) A intensidade do som diminuirá continuamente conforme se afasta da fonte sonora.
 - b) Conforme aumentamos o comprimento do tubo a intensidade do som sempre aumentará, se diminuirmos o comprimento do tubo a intensidade do som sempre diminuirá.
 - c) Conforme aumentamos o comprimento do tubo a intensidade do som sempre diminuirá, se diminuirmos o comprimento do tubo a intensidade do som sempre aumentará.
 - d) Conforme variamos o comprimento do tubo, poderemos encontrar pontos que a intensidade vai variar entre dois pontos, de maior valor possível e menor valor possível.

3. Em relação a tubos sonoros de mesmo comprimento, mas um com a abertura em ambas as extremidades e outro fechado em uma das extremidades é possível afirmar:
 - a) A frequência para uma onda ressonante é igual para ambos os tubos.
 - b) Sejam f_A e f_F as frequências fundamentais emitidas do primeiro harmônico, respectivamente, pelos tubos abertos em ambas extremidades e fechados em uma extremidade, $f_A=2 f_F$
 - c) Apenas os tubos abertos em ambas as extremidades terão frequências ressonantes.
 - d) Sejam f_A e f_F as frequências fundamentais emitidas do primeiro harmônico, respectivamente, pelos tubos abertos em ambas extremidades e fechados em uma extremidade, $f_A=1/2 f_F$

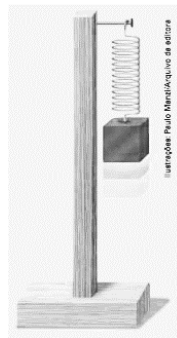
4. Em muitas igrejas existem órgãos com tubos de diferentes tamanhos, como você acredita que essas diferenças sejam importantes? Influenciam na emissão do som? O som emitido por órgãos de instrumentos de tamanhos se diferencia? Em que?

Apêndice D

Roteiro para o Experimento do Sistema Massa-Mola

Dispondo de uma massa presa a um suporte através de uma mola como na figura abaixo. Afastando essa massa de sua posição de equilíbrio a mola exerce uma força contrária, logo quando soltamos essa massa o sistema oscila, realizando um movimento harmônico simples, e a essa montagem damos o nome de sistema massa-mola.

Figura 8 – Sistema massa-mola



Fonte: Gaspar Alberto

O período de oscilação do sistema massa-mola é definido por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

Sendo m a massa e k a constante elástica da mola.

Materiais

Suporte

Mola

Massas de valor conhecido

Smartphone com o aplicativo *phyphox*

Objetivo

Determinar a constante elástica de uma mola via oscilação.

Procedimento

Realizar a montagem do sistema massa-mola como descrito na figura anteriormente.

A primeira massa que iremos usar é o próprio *Smartphone*, e posteriormente aumentaremos essa massa. O aplicativo *phyphox* deve estar aberto com a opção “Aceleração sem g” selecionada. Clicar no *play* antes e iniciar a oscilação.

Tome cuidado na hora de afastar a massa da posição de equilíbrio, pois pode causar uma deformação permanente na mola, então o ideal é causar um leve deslocamento na massa.

Com o gráfico senoidal criado pelo aplicativo coletar 10 valores de período de oscilação para cada uma das massas, sendo que iremos usar 5 massas. Para determinar os períodos deve-se coletar a diferença de tempo entre dois picos consecutivos ou dois vales consecutivos, para ter 10 valores é necessário repetir esse procedimento 10 vezes. O aplicativo possibilita exportar os dados para uma análise mais precisa.

Determinando a constante elástica da mola

A partir da equação (1) que define o período do sistema massa-mola encontre uma equação para determinar a constante elástica em função do período e da massa.

Preencha a tabela a seguir com os dados obtidos do experimento

Tabela 2 – Dados do experimento sistema massa-mola

	$m_1=$	$m_2=$	$m_3=$	$m_4=$	$m_5=$
T_1					
T_2					
T_3					
T_4					
T_5					
T_6					
T_7					
T_8					
T_9					
T_{10}					
\bar{T}					
k					

Fonte: O autor

Apresente os cálculos para o período médio, \bar{T} , e para a constante elástica, k .

Calcule a constante elástica média usando a constante elástica determinada para cada massa.

Conclusão

Descreva suas conclusões a partir dos dados obtidos, qual a relação entre o período e a massa? Qual foi o valor determinado da constante elástica da mola?

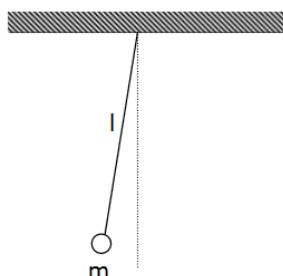
Apêndice E

Roteiro para o Experimento do Pêndulo Simples

Embora seja uma atividade experimental muito simples, ela facilita muito o entendimento sobre oscilações.

Deslocando uma massa pendurada por um fio de comprimento l , de sua posição de equilíbrio essa massa passa a oscilar. Para pequenos ângulos de oscilação, menores que 5° , o movimento pode ser considerado harmônico simples, a montagem deve ser como a representada pela figura abaixo.

Figura 10 – Pêndulo Simples



Fonte:

O período do pêndulo simples é definido por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

Sendo l o comprimento do fio e g a aceleração da gravidade.

Materiais

Suporte
Barbante
Imã
Smartphone com o aplicativo *phyphox*
Massas
Trena

Objetivo

Demonstrar que o período do pêndulo simples independe da massa
Determinar a aceleração da gravidade.

Procedimento

- Realizar uma montagem como a da figura acima, prenda um imã ao barbante e meça o comprimento l .

- b) No aplicativo *phyphox* abra a opção magnetômetro e aperte o play. O celular deve estar fixo sobre a mesa para medir as oscilações do pêndulo através da oscilação do campo magnético.
Cuidado para não deixar o ímã muito próximo ao celular, pois pode causar danos ao aparelho.
- c) Afaste o pêndulo da posição de equilíbrio, lembrando que deve ser pequenos ângulos, e solte.
- d) Com o gráfico senoidal criado pelo aplicativo coletar 10 valores de período de oscilação para cada um dos comprimentos, sendo que iremos usar 5 comprimentos l diferentes, varie de 10 e 15 cm entre os comprimentos. Para determinar os períodos deve-se coletar a diferença de tempo entre dois picos consecutivos ou dois vales consecutivos, para ter 10 valores é necessário repetir esse procedimento 10 vezes. O aplicativo possibilita exportar os dados para uma análise mais precisa.

Experimente colocar uma massa junto ao ímã e observe o que acontece com o período de oscilação do pêndulo simples.

Determinação da aceleração da gravidade

Usando a equação (1) que define o período do pêndulo simples encontre a equação para determinar a aceleração da gravidade em função do comprimento do fio e do período de oscilação.

Preencha a tabela a seguir com os dados obtidos do experimento.

Tabela 3 – Dados do experimento pêndulo simples

	$l_1=$	$l_2=$	$l_3=$	$l_4=$	$l_5=$
T_1					
T_2					
T_3					
T_4					
T_5					
T_6					
T_7					
T_8					
T_9					
T_{10}					
\bar{T}					
g					

Fonte: O Autor

Apresente os cálculos para o período médio, \bar{T} , e para a gravidade, g .
Calcule a aceleração da gravidade média usando a aceleração da gravidade determinada para cada comprimento do fio do pêndulo.

Conclusão

Descreva suas conclusões a partir dos dados obtidos. Qual a relação entre o período e a massa do pêndulo? Qual a relação entre o período e o comprimento da linha? Qual foi o valor determinado da aceleração da gravidade?

Apêndice F

Roteiro para o Experimento do Tubo Sonoro

Dependendo de como estão configuradas as extremidades dos tubos, podemos ter tubos abertos ou tubos fechados. Sendo que os tubos sonoros abertos têm as duas extremidades livres, como representado na figura. Nesse caso, a frequência pode ser encontrada pela equação (1)

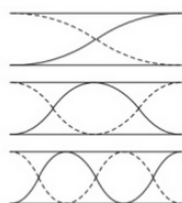


Figura 18 – Tubos Abertos

$$f_n = \frac{nv}{2L} \quad n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots \quad (1)$$

Fonte: Adaptado de João L.P.

Os tubos sonoros fechados têm uma extremidade aberta e outra fechada, nessa configuração temos apenas os harmônicos ímpares e a frequência pode ser obtida pela equação (2)

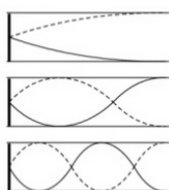


Figura 19 – Tubos Fechados

$$f_{(2n-1)} = \frac{(2n-1)v}{4L} \quad n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots \quad (2)$$

Fonte: Adaptado de João L.P.

Para as duas equações f é a frequência da onda, n é número do harmônico, v é a velocidade do som e L o comprimento do tubo. As duas equações acima derivam da equação fundamental das ondas que relaciona a velocidade v , o comprimento de onda λ e a frequência da onda f , descrita pela seguinte relação.

$$v = \lambda f \quad (3)$$

Materiais

- Alto-falante.
- Suporte para o alto-falante.
- Tubo sonoro principal.
- Êmbolo.
- Tubo sonoro secundário.
- 2 Smartphones com o aplicativo *phyphox*.

Objetivo

Determinar a velocidade do som.

Procedimento

- a) Usando o conjunto disponibilizado, monte a configuração de tubo aberto usando o tubo primário e secundário, como demonstrado na figura 18.

Figura 20 – Harmônicos nos tubos fechados



Fonte: O autor

- b) Conecte um *smartphone* ao conjunto do alto-falante. Abra o aplicativo *phyphox* e selecione a opção gerador de tom. Nessa opção será definida a frequência da onda sonora.
- c) Usando um segundo *smartphone*, abra a opção amplitude de áudio e aperte o *play*, vá na aba calibração e aperte calibrar e então volte para a aba amplitude, deixe o *smartphone*, com o microfone, nas proximidades do alto-falante e do tubo.
- d) Movimentando o tubo de secundário, que é a parte móvel da montagem, encontre dois picos ou vales consecutivos. (Para identificar os vales é preciso encontrar a posição em que a opção amplitude áudio mostre o menor valor no nível da pressão sonora. Para identificar os picos, encontrar a posição onde tenha o maior valor no nível da pressão sonora).
- e) Após coletar os dados do tubo aberto, preenchendo a tabela abaixo, monte a configuração de tubo fechado usando o tubo primário e o êmbolo, como demonstrado na figura 19. Mantendo os passos “b” e “c”. Para realizar a coleta de dados fazer o mesmo do passo “d”, mas movimentando o êmbolo ao invés do tubo secundário.

Figura 21 – Harmônicos nos tubos fechados



Fonte: O autor

Determinando a velocidade do som

Meça a distância entre dois picos ou vales para diferentes valores de frequência e preencha a tabela abaixo.

Usando a equação (3), determine a velocidade do som nos tubos abertos. Faça o mesmo para os tubos fechados.

Preencha a tabela a seguir com os dados obtidos do experimento.

Tabela 5 – Dados do experimento tubos sonoros

Tubo Aberto			Tubos Fechados		
f (Hz)	λ (m)	v (m/s)	f (Hz)	λ (m)	v (m/s)

Fonte: O autor

Apresente os cálculos para a velocidade do som, v . Determine a velocidade média, \bar{v} . Compare o valor obtido com o valor esperado no ar ao nível do mar, não esqueça de levar em conta a temperatura do ambiente para considerar o valor teórico, se possível através dessa comparação determine a temperatura no dia da realização do experimento.