

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**REINALDO DA SILVA**

**APLICAÇÃO DO *SMARTPHONE* INTERMEDIADO PELO APLICATIVO *ARDUINO*  
*SCIENCE JOURNAL* PARA DETERMINAR A VELOCIDADE DO SOM NO AR  
UTILIZANDO TUBOS SONOROS**

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

**REINALDO DA SILVA**

**APLICAÇÃO DO *SMARTPHONE* INTERMEDIADO PELO APLICATIVO *ARDUINO SCIENCE JOURNAL* PARA DETERMINAR A VELOCIDADE DO SOM NO AR UTILIZANDO TUBOS SONOROS**

**Application of a smartphone intermediated by the Arduino Science Journal application to determine the speed of sound in the air using sound tubes**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32 do MNPEF – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Ivan Marcelo Laczkowski

**CAMPO MOURÃO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Campo Mourão**



REINALDO DA SILVA

**APLICAÇÃO DO SMARTPHONE INTERMEDIADO PELO APLICATIVO ARDUINO SCIENCE JOURNAL  
PARA DETERMINAR A VELOCIDADE DO SOM NO AR UTILIZANDO TUBOS SONOROS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ensino De Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Astronomia/Física.

Data de aprovação: 22 de Dezembro de 2022

Dr. Ivan Marcelo Laczkowski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Aline Alves De Oliveira, Doutorado - Universidade Estadual do Centro Oeste (Unicentro)

Dr. Oscar Rodrigues Dos Santos, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 22/12/2022.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE A TEORIA ONDULATÓRIA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Ondas.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Ondas estacionárias.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3</b>	<b>Transformada rápida de Fourier.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>O aplicativo Arduino Science Journal.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>Validação da metodologia.....</b>	<b>17</b>
3.2.1	Materiais.....	17
3.2.2	Métodos.....	18
3.2.3	Processamento dos dados e discussões.....	20
<b>3.3</b>	<b>Atividade proposta com o aplicativo Arduino Science Journal.....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>PROPOSTA PARA O PROFESSOR.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Proposta didática.....</b>	<b>27</b>
4.1.1	Ciências da natureza e tecnologias no ensino médio: Competência 3.....	28
<b>4.2</b>	<b>Primeiro encontro.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3</b>	<b>Segundo encontro.....</b>	<b>31</b>
<b>4.4</b>	<b>Terceiro encontro.....</b>	<b>32</b>
<b>4.5</b>	<b>Quarto encontro.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>
	<b>APÊNDICE A — Tubos sonoros avaliados.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC'S), tem se tornado uma grande ferramenta de transformação na forma de interpretar a realidade, pois elas agem na modificação de hábitos e costumes e, assim, proporcionam novas maneiras de interação no meio social. Segundo Kenski (2013), as TDIC's exercem influência na vida diária das pessoas em diversas classes sociais, pois modifica o modo de informar, comunicar, interagir e aprender englobando sempre novos contextos.

Neste cenário, a inclusão das TDIC'S, como ferramenta de ensino e aprendizagem agregam valores aos métodos tradicionais de ensinar Física e Matemática, pois contribuem na melhoria, na qualidade das aulas e servem, também, como elemento motivador de novas descobertas (BARROQUEIRO; AMARAL, 2012). Além disso, incentiva a organização das práticas pedagógicas de maneira flexível e diversificadas, articulando dimensões como as ciências, trabalho, tecnologia, esporte e cultura, nos conteúdos eletivos e obrigatórios.

O tema envolvendo tubos sonoros no estudo de física, segundo nossa análise, não recebe atenção que nós acreditamos que deveria receber nem a ênfase necessária, e por isso acreditamos que o processo de ensino e aprendizagem envolvendo modos normais de vibração e velocidade do som no ar podem ser potencializados com o uso de experimentos e tecnologias digitais.

A partir de um olhar mais contextualizado, podemos afirmar que o presente trabalho, tem por objetivo fazer uma aproximação do educando ao conhecimento científico absorvido na escola, podendo assim aplicar esses conceitos em diferentes cenários da vida, abrindo espaço para uma verdadeira aprendizagem significativa (SANTOS DE JESUS; CARLOS; SILVA, 2004).

Neste contexto, a estratégia de trabalho, vem oferecer aos educandos, uma possibilidade diferenciada de visualização e prática dos temas relativos a modos normais de vibração de ondas estacionárias em tubos sonoros. Vale destacar a importância do aplicativo *Arduino Science Journal*, que com sua variedade funcional permite com mais eficácia, a realização das atividades experimentais que foram propostas no desenvolvimento do nosso produto educacional.

Portanto, uma metodologia seguida de uma sequência didática visando o ensino de ondas mecânicas com foco no estudo das ondas estacionárias em tubos sonoros com auxílio de um *smartphone* intermediado pelo aplicativo *Arduino Science Journal*. Nesta sequência didática, uma metodologia para o estudo das ondas mecânicas e um método para medir a velocidade do som no ar utilizando um *smartphone* e tubos sonoros semiabertos.

Com isso posto, o produto educacional da seguinte forma: Inicialmente, aspectos básicos sobre a teoria ondulatória, seguida de uma descrição geral do funcionamento do aplicativo *Arduino Science Journal*. Os materiais empregados acompanhado de uma explanação dos fundamentos teóricos da metodologia proposta. E, por fim, uma sugestão de sequência didática para o ensino de ondas mecânicas que pode ser implementada em qualquer local de ensino, adicionando mais um benefício para a educação brasileira.

## 2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A TEORIA ONDULATÓRIA

As ondas são um fenômeno físico que sempre despertou fascínio e curiosidade nos pesquisadores e, por isso, o estudo dos fenômenos ondulatórios sempre ocuparam um lugar de destaque dentro da Física. Ao longo da história, grandes cientistas participaram da construção dos conhecimentos necessários para criar a teoria ondulatória, dentre eles, podemos citar: Christian Huygens (1629-1695), Isaac Newton (1643-1727), Robert Hook (1635-1703), Hertz (1857-1894), Marconi (1874-1937), Doppler (1803-1853) (TIPLER; MOSCA, 2011).

### 2.1 Ondas

Existem vários tipos de ondas, cada uma com sua particularidade e aplicabilidade. As mais comuns são: As ondas eletromagnéticas e as ondas mecânicas, com cada tipo de onda provocando fenômenos físicos distintos nos meios onde há interação com elas. Os fenômenos provocados pela ação das ondas são responsáveis por grande parte das tecnologias que possibilitam o funcionamento do mundo atual, como as telecomunicações, o forno de micro-ondas, o radar, os *smartphones*, dentre outras “maravilhas” tecnológicas. No campo musical, por exemplo, o estudo das ondas é muito aplicado para obter qualidade sonora de alta definição. Sem a propagação das mesmas, seria impossível uma plateia ouvir uma música tocada em um *show* (HALLIDAY; RESNICK, 2008).

Podemos definir uma onda como sendo a propagação de energia no espaço sem o transporte de matéria. As ondas eletromagnéticas são ondas transversais compostas por campos elétricos e magnéticos mutuamente perpendiculares entre si e não dependem de um meio material para se propagar, as ondas mecânicas, por outro lado, são ondas longitudinais e dependem de um meio material para sua propagação. A luz visível é um exemplo de onda eletromagnética, enquanto o som é um exemplo de onda mecânica (REITZ; MILFORD; CHRISTY, 2008).

Uma característica muito importante que as ondas podem assumir, é existir confinada em um certo ambiente, assim, ganhando o nome especial de ondas estacionárias. Nesta situação, elas podem assumir o comportamento denominado de modos normais de vibração que ocorrem somente em determinadas frequências

conhecidas como frequência de ressonância (HALLIDAY; RESNICK, 2008; TIPLER; MOSCA, 2011).

No Sistema Internacional de unidade (SI), a frequência ( $f$ ) é medida em Hertz (Hz), que é a quantidade de oscilações que a onda realiza em um segundo. O tempo para que a onda realize uma única oscilação denomina-se período ( $T$ ), cuja unidade de medida é o segundo (s). Essas duas grandezas físicas, estão relacionadas pela Equação 1.

$$T f = 1 \quad (1)$$

Em que  $T$  representa o período e  $f$  representa a frequência.

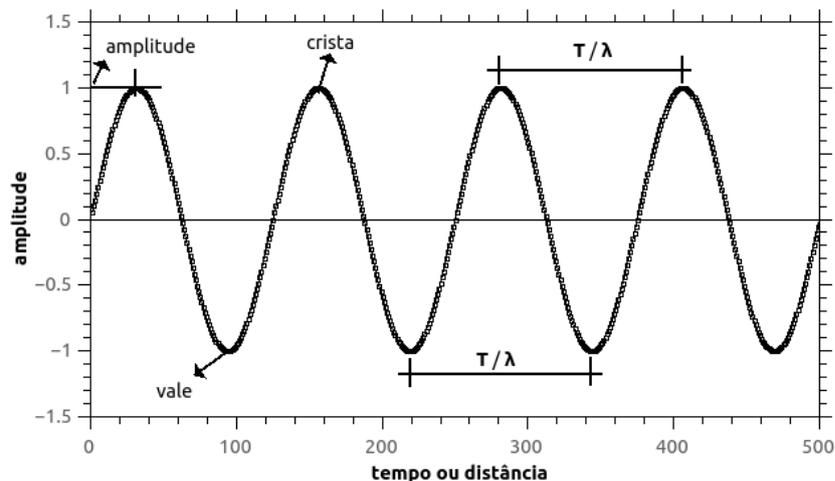
Além da Equação 1, temos a Equação 2 que relaciona a frequência e a velocidade de propagação da onda em um determinado meio material que, em alguns livros didáticos, ela recebe o nome de equação fundamental da ondulatória.

$$v = \lambda f \quad (2)$$

Em que  $v$  representa a velocidade da onda,  $\lambda$  representa o comprimento de onda e  $f$  a frequência.

Uma onda pode ser descrita por uma função senoidal, denominada função de onda (TIPLER; MOSCA, 2011). Devido à complexidade desta equação, ela será omitida, porém, o gráfico que representa uma onda se propagando em um meio material está ilustrado na Figura 1.

**Figura 1 - Curva de uma função de onda e suas principais características.**



Fonte: Autoria própria (2022).

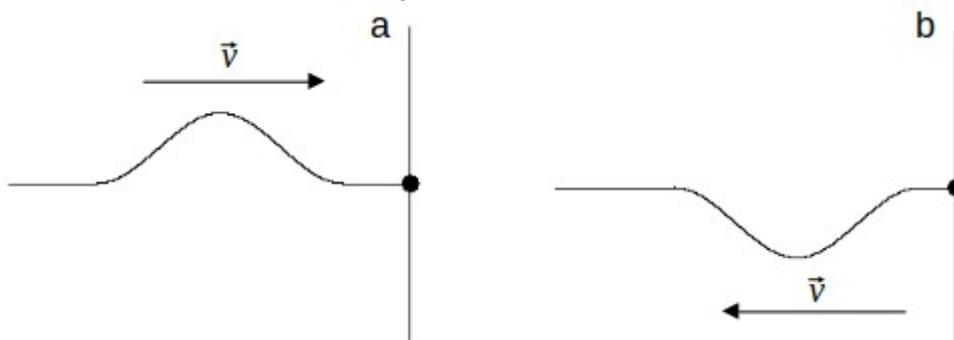
Por meio da curva, podemos localizar os principais parâmetros que podem ser utilizados para caracterizar uma onda, tais como a amplitude, que é sempre o valor máximo da intensidade da onda, a indicação de um vale, que é o ponto de mínimo da curva, uma crista, que é o ponto de valor máximo e o período ( $T$ ), que é a distância temporal entre dois vales ou duas cristas. Para ondas estacionárias, a distância entre dois vales ou duas cristas representa o comprimento de onda ( $\lambda$ ).

Maiores detalhes sobre o estudo das ondas podem ser consultados nas referências (HALLIDAY; RESNICK, 2008; REITZ; MILFORD; CHRISTY, 2008), uma vez que, para o desenvolvimento do nosso produto educacional, focaremos em ondas mecânicas estacionárias, modos normais de vibração, frequência de ressonância e tubos sonoros.

## 2.2 Ondas estacionárias

Para facilitar a compreensão, vamos tomar como exemplo uma onda produzida em uma corda. Na Figura 2a, expomos um pulso que compõe uma onda se propagando em uma corda com uma extremidade fixa em uma parede rígida e, a seta, indica o sentido da velocidade.

**Figura 2 - Pulso em uma corda com extremidade fixa. (a) pulso incidente, (b) pulso refletido.**

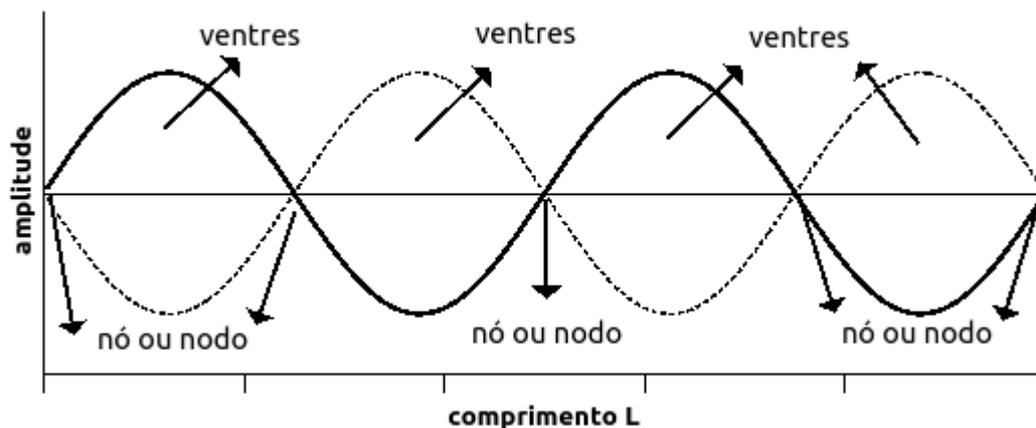


Fonte: Autoria própria (2022).

Neste caso, quando o pulso atinge a parede, ele sofre uma reflexão e retorna invertido, conforme indicado na Figura 2b. Como a onda é formada por uma sequência de pulsos, tanto os pulsos incidentes quanto os pulsos refletidos se encontrarão em um determinado ponto da corda. No ponto de encontro entre eles haverá o fenômeno de interferência, que pode ser construtivo ou destrutivo

(HALLIDAY; RESNICK, 2008). Com isso, a corda apresentará uma configuração onde pode ser observado visualmente os locais onde há interferência construtiva e destrutiva, como pode ser observado na Figura 3. Onde há máximos de amplitude, denominamos ventres (ou antinó) e onde a amplitude da onda se anula, dizemos que naquele local é um nó ou nodo.

Figura 3 - Onda estacionária em uma corda com extremidades fixas.



Fonte: Autoria própria (2022).

Quando a corda assume uma configuração similar àquela apresentada na Figura 3, significa que a onda originou o fenômeno de onda estacionária, e esse fenômeno ocorre sempre em uma frequência bem específica, denominada de frequência de ressonância.

Neste contexto, uma onda estacionária pode ser criada em uma corda de comprimento  $L$  que pode ser descrita pela Equação 3.

$$\lambda = 2 \frac{L}{n} \quad (3)$$

Em que  $n$  é um número inteiro positivo que surge da série harmônica e,  $n$ , também é conhecido como número harmônico. Se  $n$  for igual a 1 dizemos que a corda está vibrando no modo fundamental ou primeiro harmônico, se  $n$  for igual a 2, a corda vibrará no segundo harmônico e assim por diante. No exemplo da Figura 3, a corda está vibrando no quarto harmônico e temos  $\lambda = L / 2$ .

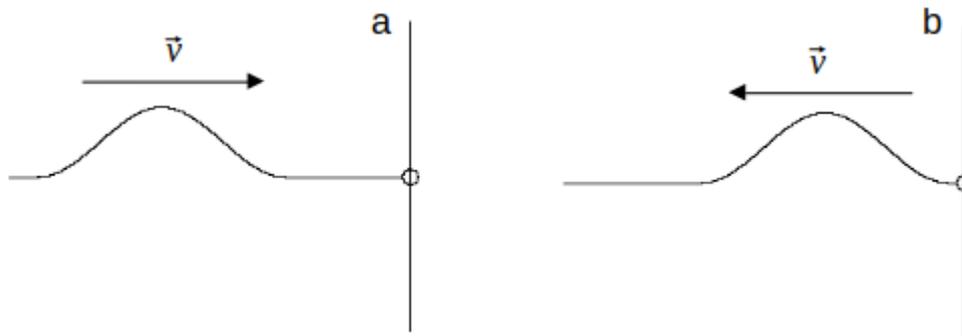
Podemos utilizar a Equação 2 e escrever a Equação 3 em termos da frequência e da velocidade de propagação da onda para obter a Equação 4.

$$f = n \left( \frac{v}{2L} \right) \quad (4)$$

A partir da Equação 4, pode-se obter as diferentes frequências de ressonância da corda e, para cada frequência de ressonância, é dito que a corda assumiu um modo normal de vibração.

Por outro lado, se uma extremidade da corda estiver livre para se movimentar conforme indicado na Figura 4a, observa-se que o pulso incidente representado reflete sem sofrer inversão como pode ser visto na Figura 4b.

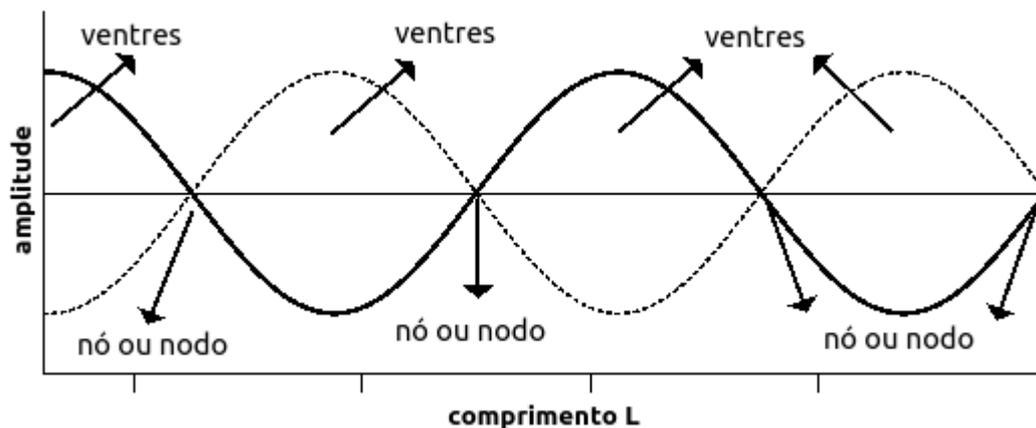
**Figura 4 - Pulso em uma corda com extremidade livre. (a) pulso incidente, (b) pulso refletido.**



Fonte: Autoria própria (2022).

Nesta condição, sempre teremos na extremidade livre da corda um ventre, como está exposto à esquerda da Figura 5, enquanto que na extremidade fixa sempre teremos um nó.

**Figura 5 - Onda estacionária em uma corda com uma extremidade livre .**



Fonte: Autoria própria (2022).

Neste contexto, quando a corda assume uma configuração similar àquela apresentada na Figura 5, uma onda estacionária é criada na corda de comprimento  $L$  que pode ser descrita pela Equação 5.

$$\lambda = \frac{4L}{n} \quad (5)$$

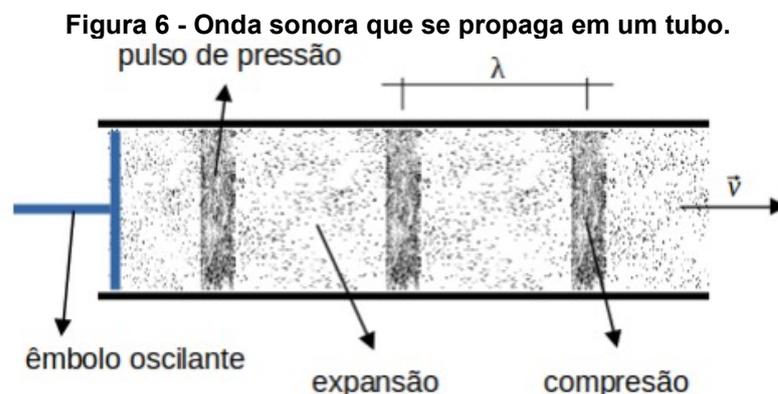
Combinando a Equação 5 com a Equação 2 obtém-se a Equação 6 em termos da frequência e da velocidade de propagação da onda na corda.

$$f = \frac{nv}{4L} \quad (6)$$

Na Equação 6  $n$  deve ser um número ímpar ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), pois harmônicos correspondentes aos números pares não são possíveis quando há uma extremidade livre da corda e outra fixa (TIPLER; MOSCA, 2011).

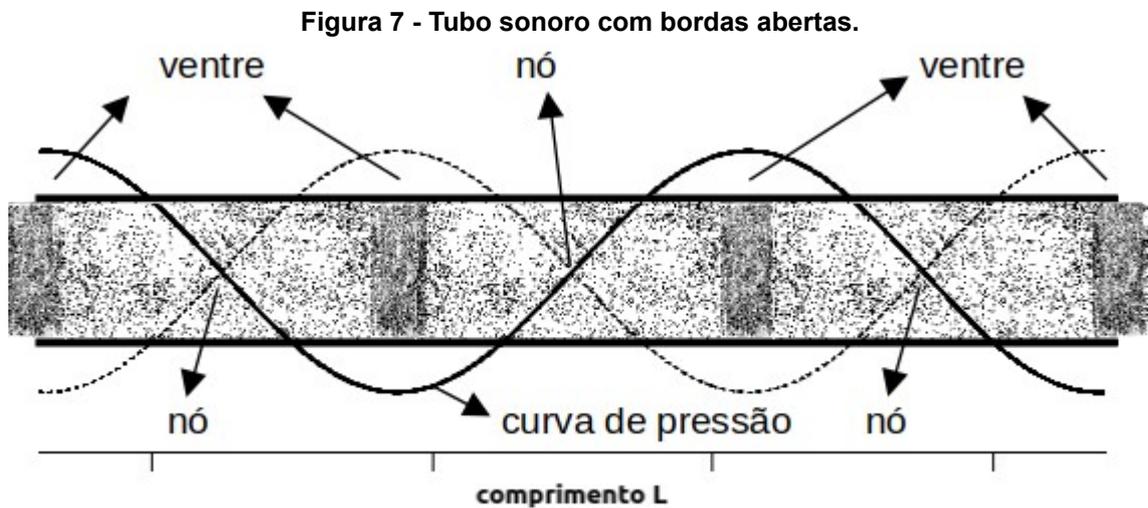
Os modos normais de vibração também podem ser observados em ondas sonoras por meio de tubos sonoros. Um tubo sonoro é qualquer tubo de comprimento  $L$  que possibilite a passagem de uma onda sonora pelo seu interior e, por meio de um tubo sonoro, percebe-se que a onda está vibrando em uma frequência de ressonância quando ouve-se um aumento na intensidade do som produzido pela fonte que insere a onda no interior do tubo.

Na Figura 6, expomos a representação de uma sequência de pulsos de pressão produzidos no interior de um tubo sonoro por um êmbolo oscilante. Esses pulsos percorrem o tubo com velocidade  $\vec{v}$  e formam uma onda longitudinal de comprimento de onda ( $\lambda$ ). Observa-se, também, as regiões de expansão e compressão do ar que são características de uma onda sonora.

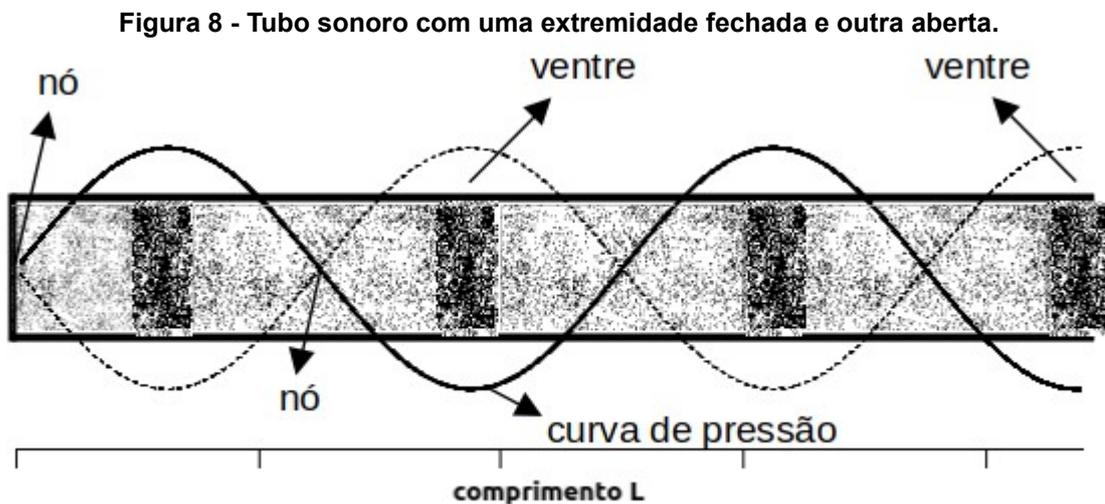


Fonte: Autoria própria (2022).

De forma similar à corda vibrante com extremidade livre, se as bordas do tubo estiverem abertas, teremos nesses locais a formação de ventres conforme representado na Figura 7.



Por outro lado, se um lado do tubo estiver fechado, teremos nesta extremidade sempre nodos, enquanto que na extremidade aberta sempre teremos ventres conforme é mostrado na Figura 8 (HALLIDAY; RESNICK, 2008).



Analisando as curvas de pressão, indicadas na Figura 7 e Figura 8, podemos estudar os modos normais de vibração em tubos abertos utilizando a Equação 3. Enquanto, a Equação 5, pode ser empregado na previsão dos modos normais de vibração de um tubo sonoro semiaberto (TIPLER; MOSCA, 2011).

### 2.3 Transformada rápida de Fourier

A Transformada Rápida de Fourier, conhecida como FFT (*Fast Fourier Transform*), é um método matemático amplamente utilizado na análise de sinais digitais e na resolução de integrais e equações diferenciais. Este método é uma variação da Transformada Discreta de Fourier (DFT - *Discrete Fourier transform*) que foi criado pelo estatístico norte-americano John Tukey e possibilita converter sinais que estão no domínio do tempo para o domínio da frequência. Existe, também, a Transformada Inversa de Fourier que permite a conversão de um sinal que está no domínio das frequências para o domínio do tempo (ARFKEN; WEBER; HARRIS, 2013).

A FFT pode ser descrita como uma sequência discreta  $X(m)$  definida pela Equação 7 e representa um sinal no domínio das frequências, enquanto  $x(n)$  é uma sequência discreta que representa um sinal no domínio do tempo.

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi n \frac{m}{N}} \quad (7)$$

Pode-se utilizar a identidade de Euler (Equação 8) e escrever a Equação 7 na forma de uma somatória de senos e cossenos como indicado na Equação 9.

$$e^{-j\phi} = \cos(\phi) - j \sin(\phi) \quad (8)$$

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos(2\pi n \frac{m}{N}) - j x(n) \sin(2\pi n \frac{m}{N}) \quad (9)$$

A Equação 9 é o resultado da separação da exponencial complexa, expressa na Equação 7, em suas partes real e imaginária. Na Equação 9, temos  $n$  que é um índice no domínio do tempo das amostras discretas ( $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ),  $m$  é um índice no domínio das frequências da FFT ( $m = 1, 2, \dots, N-1$ ),  $j = \sqrt{-1}$  e,  $N$  é o número de amostras coletadas no sinal temporal. Além disso,  $N$  determina a resolução dos resultados no domínio das frequências e o tempo computacional necessário para realização dos cálculos da FFT.

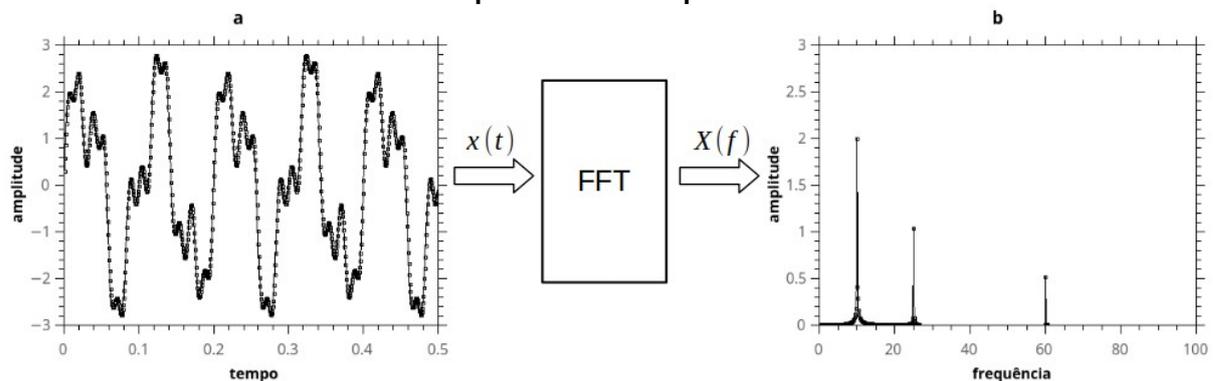
Para determinar as frequências do sinal após obtenção dos valores de  $X(m)$  devemos utilizar a Equação 10.

$$f(m) = m \frac{f_s}{N} \quad (10)$$

Em que  $f_s$  é a taxa, ou frequência, na qual as amostras do sinal temporal são coletadas.

Na Figura 9, expomos, de forma esquemática, o que a aplicação da FFT faz em um sinal temporal. Observando a Figura 9a, notamos um sinal periódico  $x(t)$  dependente do tempo que é composto pela soma de três sinais primários, definidos por senos ou cossenos. Após sua passagem pelo conversor FFT, obtemos um sinal  $X(f)$  dependente da frequência, Figura 9b, onde podemos identificar as frequências e as amplitudes dos sinais primários que compõem o sinal original (LYNN; FUERST, 1998).

**Figura 9 - Atuação da Transformada Rápida de Fourier, (a) sinal dependente do tempo, (b) sinal dependente da frequência.**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

Além do que foi mencionado, destacamos que o primeiro pico está associado à frequência fundamental do sinal original ou primeiro harmônico como, também, é conhecido. E, os cálculos apresentados foram amplamente utilizados para validação dos nossos resultados.

Outra informação importante a ser destacada, é que apesar da aparente complexidade dos cálculos relacionados à Transformada Rápida de Fourier, o algoritmo computacional que realiza os cálculos da FFT já vem implementado por padrão na maioria dos *softwares* de análise de dados, tais como QtiPlot, SciDavis, Origin, Matlab, Mathematica, Maple dentre outros.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os *smartphones* são parte de uma das grandes revoluções da humanidade que é a computação. Com o surgimento desses aparelhos, as pessoas passaram a utilizá-los tanto para o trabalho quanto para o entretenimento devido à facilidade que eles proporcionam nas comunicações. Nos últimos anos, é notório que esses dispositivos se tornaram acessíveis e populares. Porém, devido a falta de alfabetização digital, essas ferramentas de informação e comunicação não são utilizadas em toda sua plenitude. Neste sentido, visando reduzir esse problema e contribuir no aumento da alfabetização digital, descrevemos nesta seção, uma metodologia experimental para medir a velocidade do som no ar utilizando um *smartphone*, um aplicativo, tubos sonoros e uma sugestão de aplicação da metodologia em sala de aula.

#### 3.1 O aplicativo *Arduino Science Journal*

Uma das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) mais utilizada atualmente é o *smartphone*. O termo *smartphone* significa telefone inteligente e é um aparelho que pode ser comparado a um computador. Ele possui uma grande capacidade de armazenamento de dados e um sistema operacional que possibilita a instalação de diversos aplicativos.

Devido a sua grande versatilidade, esses dispositivos vem ganhando mais e mais popularidade porque eles reúnem em um só aparelho diversas funcionalidades, tais como telefone, acesso à *internet*, foto, vídeos e entretenimento. Além das funcionalidade citadas, o *smartphone* é dotado de vários sensores ambientais que possibilitam o seu emprego como ferramenta de ensino e aprendizagem, porém, para ter acesso aos dados monitorados pelo aparelho, um aplicativo desenvolvido para este fim se torna necessário (GOOGLE LLC, 2020).

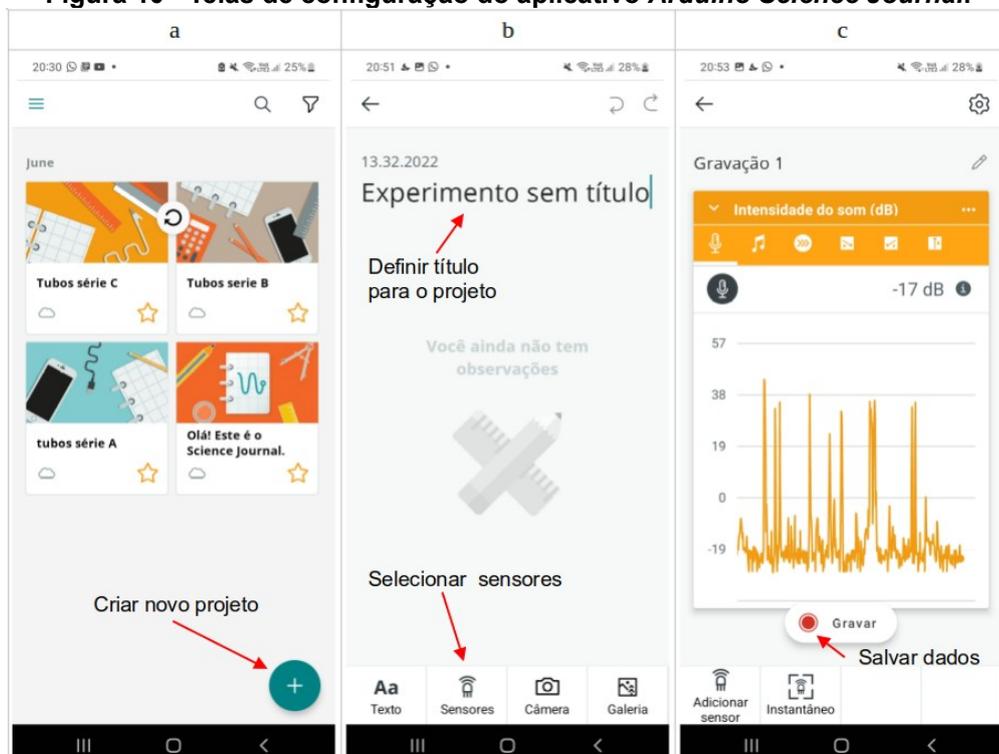
Para resolver este problema, a Google desenvolveu, em 2016, um aplicativo chamado *Science Journal* e, a partir de 2020, o aplicativo recebeu o nome de *Arduino Science Journal*. O aplicativo é gratuito e monitora, em tempo real, os diversos sensores do aparelho. No mesmo aplicativo temos um luxímetro, um decibelímetro, um frequencímetro, um acelerômetro, um magnetômetro e, além

disso, possibilita o armazenamento dos dados em arquivos de texto para análises posteriores, podendo inclusive, serem compartilhados por meio da *internet*.

Após instalação do aplicativo *Arduino Science Journal* por meio da *Play Store*, o usuário deverá inicializá-lo e abrir a janela de configurações iniciais que solicitará acesso aos diversos sensores do *smartphone*. Quando as configurações terminarem, uma janela similar à Figura 10a aparecerá, onde haverá um pequeno projeto de apresentação do aplicativo com o nome de “Olá! Este é o *Science Journal*”.

O aplicativo funciona baseado em projetos, isto significa que o usuário deverá clicar no botão com sinal de mais (+) para criar um projeto e ter acesso aos sensores, cujas medidas deseja realizar. O projeto pode receber um nome definido pelo usuário e, em seguida, deverá clicar no botão sensores, indicado na Figura 10b, para escolher um sensor de medida desejado na parte inferior da tela. Após esses procedimentos, o usuário poderá acionar o botão gravar, mostrado na Figura 10c, para salvar os dados medidos na memória interna do aparelho e consultá-los futuramente, ou mesmo compartilhá-los por meio da *internet*.

**Figura 10 - Telas de configuração do aplicativo *Arduino Science Journal*.**



Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.2 Validação da metodologia

Os materiais e os métodos empregados para viabilizar o uso do *smartphone* e do aplicativo *Arduino Science Journal* como ferramenta para medir a velocidade do som no ar e, assim, torná-lo um instrumento de ensino e aprendizagem que pode ser utilizado por qualquer professor em seu ambiente escolar.

#### 3.2.1 Materiais

Para validar nossa metodologia de medida da velocidade do som no ar utilizando o *smartphone* e o aplicativo *Arduino Science Journal*, foram utilizados um computador, um microfone de eletreto, um *smartphone* e onze tubos de PVC (*Poly inyl chloride*) para água fria, cujas dimensões foram determinadas por meio de uma trena milimetrada e um paquímetro. Os tubos de PVC foram organizados em três grupos denominados A, B e C. O grupo A é composto por quatro tubos de diâmetro nominal (DN) 20 mm, no grupo B, temos quatro tubos com diâmetro nominal 25 mm e, no grupo C, estão três tubos com DN igual a 32 mm, 40 mm e 50 mm. Em todos os grupos, o comprimento  $L$  dos tubos são diferentes. Na Tabela 1, apresentamos as dimensões de cada tubo, bem como, seus diâmetros internos  $D$ . No APÊNDICE A, expomos as fotos dos respectivos tubos (Fotografias 3, 4 e 5).

**Tabela 1 - Classificação dos tubos sonoros em grupos A, B, C e suas dimensões.**

<b>Tubos</b>	<b>DN (mm)</b>	<b><math>L \pm \delta L</math> (cm)</b>	<b><math>D \pm \delta D</math> (mm)</b>
1A	20	$21,5 \pm 0,1$	$17,2 \pm 0,1$
2A	20	$29,5 \pm 0,1$	$17,2 \pm 0,1$
3A	20	$35,2 \pm 0,1$	$17,2 \pm 0,1$
4A	20	$40,3 \pm 0,1$	$17,2 \pm 0,1$
1B	25	$17,3 \pm 0,1$	$21,6 \pm 0,1$
2B	25	$20,1 \pm 0,1$	$21,6 \pm 0,1$
3B	25	$24,3 \pm 0,1$	$21,6 \pm 0,1$
4B	25	$28,3 \pm 0,1$	$21,6 \pm 0,1$
1C	32	$34,3 \pm 0,1$	$28,0 \pm 0,1$
2C	40	$40,6 \pm 0,1$	$37,6 \pm 0,1$
3C	50	$47,1 \pm 0,1$	$47,5 \pm 0,1$

Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.2.2 Métodos

Os experimentos de validação foram realizados em duas etapas em temperatura ambiente. Na primeira etapa utilizamos os tubos de PVC e o microfone acoplado ao computador com o *software* de gravação de áudio Audacity. O Audacity é um programa com uma interface gráfica amigável e de fácil utilização, é muito utilizado na edição de áudio e disponibilizado gratuitamente sob a licença *GNU General Public License* (GNU GPL) (AUDACITY, 2022).

A metodologia experimental consiste na captura de 100 pulsos de ondas sonoras provenientes dos tubos de PVC. Os pulsos sonoros, foram produzidos batendo com a mão em uma das extremidades dos tubos, enquanto o microfone, situado a uma distância aproximada de 3 cm, captava o som produzido pela outra extremidade em intervalos, de aproximadamente, 2 segundos. Neste contexto, os tubos assumem o comportamento de tubos sonoros semiabertos, conforme a ilustração da Figura 8. Na Fotografia 1 ilustramos o procedimento experimental adotado, onde observamos o computador com o *software* Audacity empregados na captura de dados, o microfone e um dos tubos de PVC utilizado no experimento.

**Fotografia 1 - Coleta de dados durante a etapa 1 da pesquisa.**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

É importante destacar que o programa de gravação foi ajustado para coletar o áudio emitido pelos tubos sonoros numa taxa de 44,1 KHz. Esta taxa foi escolhida para manter a compatibilidade com a taxa de captura de áudio do *smartphone*, além

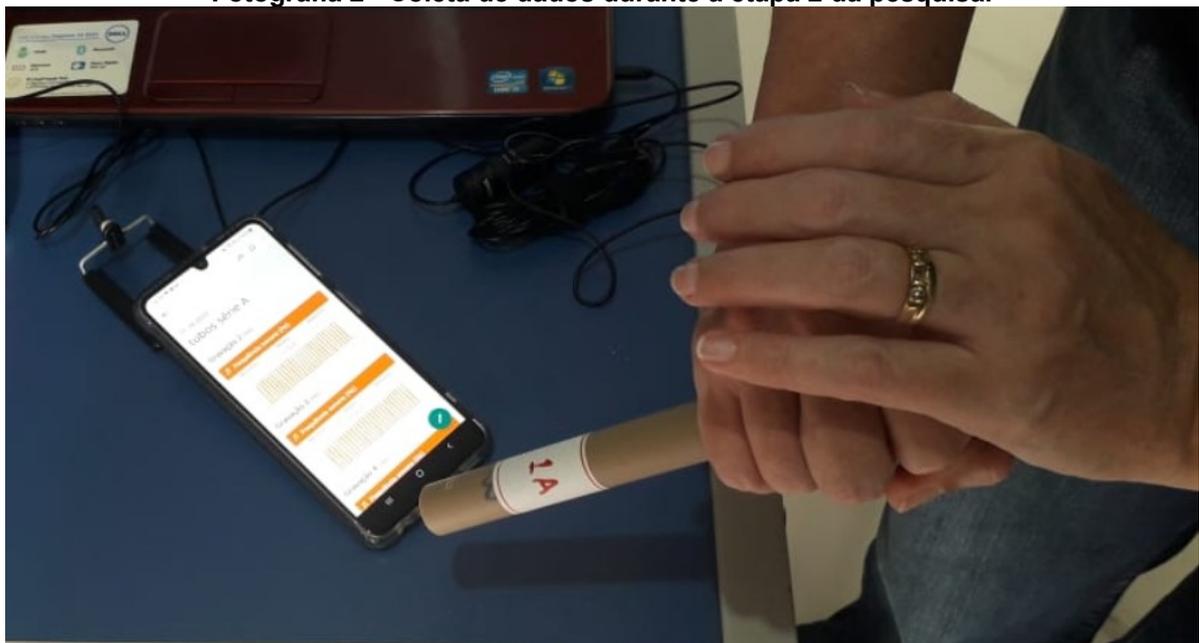
de ser um valor padrão para gravação de áudio, ela é cerca de 110 vezes maior que as frequências de ressonância que são objetos de investigação neste trabalho, em que a maior delas, é próximo de 400 Hz e, assim, evitando o efeito *aliasing* (LYNN; FUERST, 1998).

Na segunda etapa, o sistema experimental empregado para obter os dados foram um *smartphone*, o microfone do próprio aparelho e os tubos de PVC utilizados na etapa anterior. No desenvolvimento do experimento, foi utilizado um *smartphone* Samsung Galaxy A22 com sistema operacional Android na versão 12 (Snow Cone), sendo a mais nova atualização do sistema para o modelo de aparelho adotado. A captura dos sinais de áudio provindos dos tubos sonoros foram feitas por meio do aplicativo *Arduino Science Journal*, versão 6.0.2 (94).

Para nossos estudos, utilizamos o frequencímetro e o microfone interno do aparelho para medir diretamente os valores das frequências associadas aos pulsos sonoros gerados pelos tubos de PVC e armazená-los em arquivo. Visto que a entrada do microfone do *smartphone* é projetada para gravação de voz, é importante mencionar que sua taxa de aquisição de dados é de 44,1 KHz.

Nesta etapa, o procedimento experimental é similar aos procedimentos da primeira. E, na Fotografia 2, mostramos a configuração do experimento em que o coletor de informações é o *Arduino Science Journal* intermediado pelo *smartphone*.

**Fotografia 2 - Coleta de dados durante a etapa 2 da pesquisa.**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

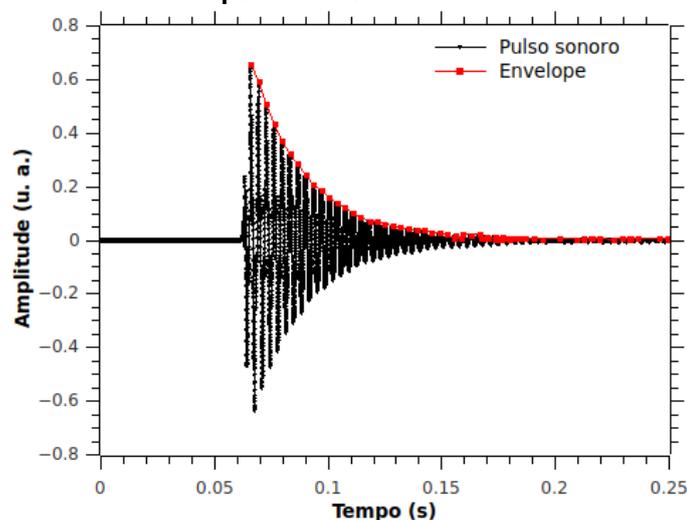
### 3.2.3 Processamento dos dados e discussões

Após a finalização dos experimentos, cujos métodos foram descritos na primeira e segunda etapas, realizou-se a análise dos dados utilizando-se o *software* QtiPlot, versão 0.9.8.9 (CANONICAL LTD, 2021). Desta forma, os seguintes procedimentos foram estabelecidos: Inicialmente, convertamos os pulsos sonoros obtidos na primeira etapa para o domínio de frequência utilizando a função FFT do programa. Em seguida, a partir dos espectros de frequência obtidos, foram extraídas as frequências harmônicas para serem comparadas com as frequências medidas pelo *smartphone*. E, por fim, foram construídos os demais gráficos apresentados neste trabalho.

Grande parte das discussões feitas nesta seção referem-se ao tubo sonoro 1A, porém, elas podem ser estendidas para os demais tubos. Com relação aos resultados obtidos, eles serão apresentados de forma resumida em tabelas para todos os tubos sonoros mencionados na Tabela 1.

Neste cenário, visando atingir os objetivos mencionados na introdução deste trabalho, mostramos no Gráfico 1 o perfil representativo de um pulso sonoro produzido pelo tubo 1A que foi capturado para extrair as frequências harmônicas e, assim, compará-las com os valores médios das frequências medidas por meio do frequencímetro *smartphone*.

**Gráfico 1 - Perfil de um dos pulsos sonoros emitido pelo tubo sonoro 1A.**

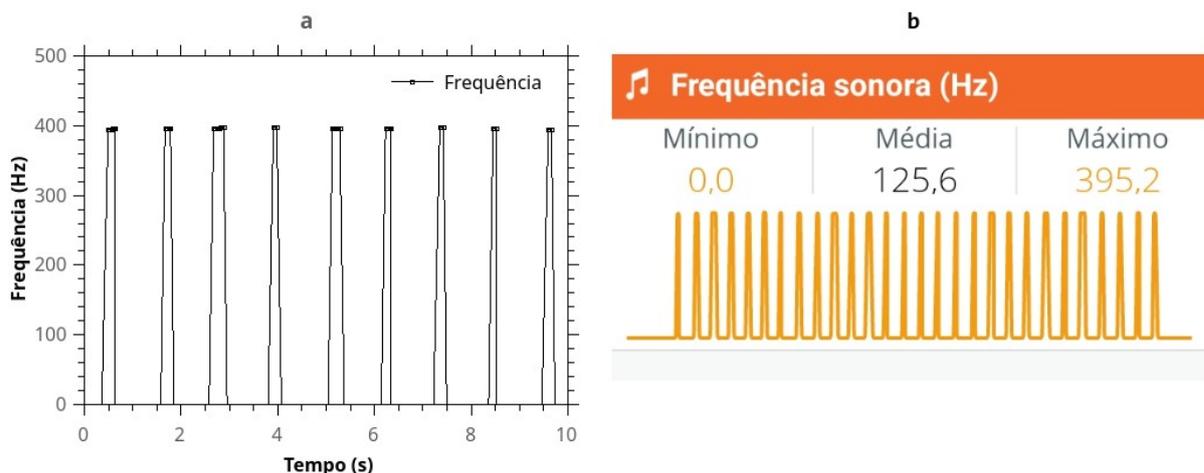


Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com os procedimentos experimentais descritos anteriormente (Seção 3.2.2), podemos afirmar que os tubos utilizados se comportam como tubos sonoros semiabertos, ou seja, com uma extremidade fechada e outra aberta (Figura 8). No Gráfico 1, nota-se pelo perfil positivo do envelope, que a intensidade do pulso diminui ao longo do tempo. Isso ocorre porque o pulso sonoro gerado pela batida da mão percorre o interior do tubo e, ao chegar na extremidade aberta, ele sofre um processo de refração e, devido a isso, parte dele é parcialmente transmitido para fora e parcialmente refletido para o interior do tubo. O pulso refletido na extremidade aberta do tubo retorna até a parte fechada e é refletido para a extremidade aberta novamente. Esta dinâmica permanece até que toda energia sonora existente seja dissipada pela extremidade aberta do tubo (HALLIDAY; RESNICK, 2008).

No Gráfico 2a expomos uma parte da curva de frequência que foi obtida pelo freqüencímetro do *smartphone*. A medida corresponde ao pulso sonoro ilustrado no Gráfico 1 e, essa medida, pode tanto ser armazenada em arquivo, como lida diretamente na tela do aparelho em tempo real como é possível observar no Gráfico 2b, cujo valor é de 395,2 Hz. É importante destacar que, a frequência de interesse é a frequência média dos valores de pico, se a medida apresentar boa qualidade a frequência máxima indicada na tela será equivalente à frequência média dentro da margem de erro.

**Gráfico 2 - Gráficos a e b com os dados capturados pelo *smartphone*.**



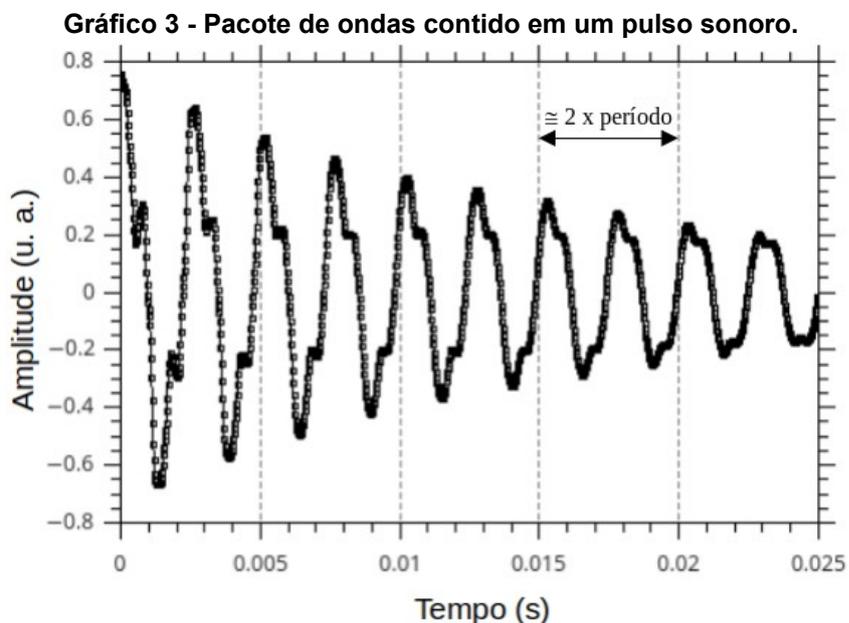
Fonte: Autoria própria (2022).

No Gráfico 2a, há poucos pontos coletados nos picos de frequência. A razão dessa baixa quantidade de pontos pode ser explicada por dois motivos, o primeiro, é

a rapidez que a energia do pulso decai no decorrer do tempo, o segundo, está relacionado com o tempo de resposta do aparelho para converter as informações contidas no pulso em um valor de frequência.

Por meio de um ajuste exponencial de primeira ordem do perfil positivo do envelope apresentado no Gráfico 1, observa-se que em tubos de comprimento inferior a 15 cm, a energia dos pulsos sonoros decaem cerca de 1,84 vezes mais rápido que nos tubos mais longos e, conseqüentemente, o frequencímetro do *smartphone* apresenta dificuldades para realizar leituras de frequência de forma precisa.

Visando relacionar as frequências lidas pelo frequencímetro do *smartphone* com a frequência dos pulsos sonoros emitidos pelos tubos, realizamos uma ampliação do pulso exposto no Gráfico 1 para investigá-lo de forma mais detalhada e, a curva resultante da ampliação está no Gráfico 3. Tomando as linhas pontilhadas da figura como referência, nota-se que, apesar dos picos da curva decrescerem no decorrer do tempo, eles se repetem em intervalos regulares, caracterizando um pacote de ondas (ou trem de ondas).

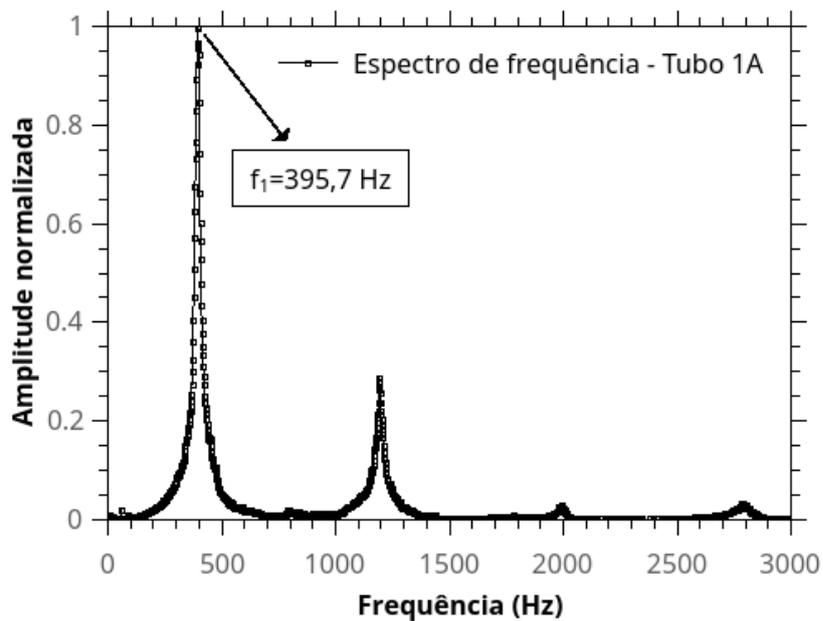


Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com a fundamentação teórica descrita na Seção 2.3, sabemos que um determinado sinal periódico pode ser composto por uma somatória de funções seno ou cosseno. Neste contexto, por meio da Transformada Rápida de Fourier,

podemos calcular o espectro de frequência do pulso sonoro, cuja finalidade é obter as frequências das funções de onda pura que geram a curva original. Neste cenário, utilizamos a função FFT disponível no programa QtiPlot para obtenção do espectro de frequência do pacote de ondas do Gráfico 1 e, assim, descobrir qual é a frequência de ressonância que é medida pelo *smartphone*. O resultado obtido é mostrado no Gráfico 4.

**Gráfico 4 - Espectro de frequência: Tubo 1A.**



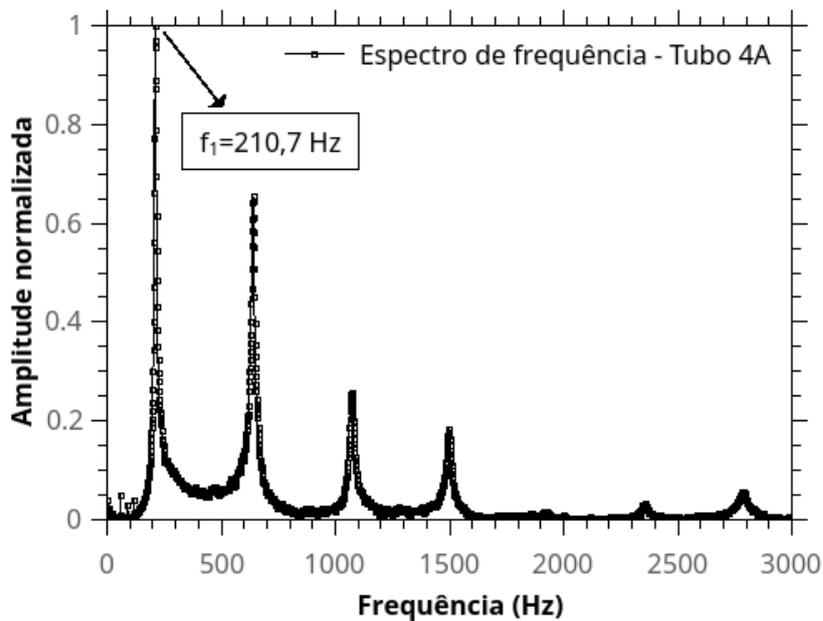
Fonte: Autoria própria (2022).

No Gráfico 4 há quatro picos, sendo que os dois primeiros apresentam uma intensidade maior, enquanto o terceiro e o quarto picos, se mostram pouco expressivos devido as perdas de energia para o ambiente. Assim, podemos perceber que o tubo sonoro está funcionando como um filtro acústico ou guia de ondas, em que ele possibilita a passagem de ondas em determinadas frequências e atenua a amplitude delas em outras. Dependendo das propriedades geométricas dos tubos, as ondas formadas assumem diferentes combinações de frequências e, dessa forma, geram diferentes sons (HALLIDAY; RESNICK, 2008).

Isso pode ser observado no espectro de frequência referente ao Tubo 4A exposto no Gráfico 5, que possui um comprimento maior que o Tubo 1A. Na curva, observa-se a presença de quatro picos expressivos que compõe o pulso sonoro, ao passo que, no espectro de frequência do Tubo 1A, apenas dois. Além disso, nota-se

um deslocamento dos picos para a esquerda, cuja frequência fundamental é de aproximadamente 210,7 Hz, enquanto que a frequência fundamental do Tubo 1A é de aproximadamente 395,7 Hz. Essa diferença na composição dos pulsos é responsável pela diferença de som emitido por um tubo e outro, o que é sensivelmente perceptível.

**Gráfico 5 - Espectro de frequência: Tubo 4A.**



Fonte: Autoria própria (2022).

Outro detalhe importante, é quanto ao período do pacote de ondas visualizado no Gráfico 3. Por meio dele, o valor encontrado foi de aproximadamente 2,53 ms e, a frequência associada ao primeiro pico do espectro ilustrado no Gráfico 4 é de 395,7 Hz, em seu ponto máximo. Utilizando a Equação 1, observa-se que a frequência do primeiro pico determina o período do pulso sonoro, sendo portanto, a frequência fundamental, ou primeiro harmônico, conforme descrito nas Seções 2.2 e 2.3. Quanto aos demais picos, eles correspondem aos outros modos normais de vibração, porém, restringimos nossas análises somente ao primeiro pico do espectro de frequência.

Finalmente, numa comparação entre todas as frequências do primeiro harmônico dos tubos que foram objetos de nossos estudos, pudemos perceber que o primeiro é sempre o mais intenso e, pode-se afirmar que, de acordo com os

experimentos realizados, a frequência medida pelo *smartphone* estará sempre associada ao primeiro harmônico.

Na Tabela 2, apresentamos os resultados quantitativos, com valores médios, obtidos dos experimentos realizados. Observando a tabela, nota-se que as frequências fundamentais (primeiro harmônico) extraídas dos espectros de frequência ( $f_i$ ) assumem valores aproximadamente iguais às frequências medidas pelo *smartphone* ( $f_{sp}$ ). Neste contexto, destacamos que o erro experimental nas medidas de frequência foram estimados estatisticamente com a realização de 100 medidas para construção dos espectros de frequência e, para comparação, 100 medidas realizadas por meio do frequencímetro do *smartphone*, em cada tubo sonoro.

Além disso, observa-se que, em todos os grupos, a frequência fundamental diminui a medida que o comprimento dos tubos aumentam, algo que está de acordo com a sensação auditiva, em que os sons emitidos pelos tubos de comprimento maior são mais graves quando comparados com os tubos de comprimento menor.

**Tabela 2 - Frequências fundamentais ( $f_i$ ) obtidas do primeiro pico dos espectros de frequência e as frequências ( $f_{sp}$ ) medidas por meio do *smartphone*.**

<b>Tubos</b>	<b><math>L \pm \delta L</math> (cm)</b>	<b><math>D \pm \delta D</math> (mm)</b>	<b><math>f_i \pm \delta f_i</math> (Hz)</b>	<b><math>f_{sp} \pm \delta f_{sp}</math> (Hz)</b>
1A	21,5 ± 0,1	17,2 ± 0,1	395,7 ± 0,8	396,1 ± 1,3
2A	29,5 ± 0,1	17,2 ± 0,1	289,1 ± 0,6	288,4 ± 0,9
3A	35,2 ± 0,1	17,2 ± 0,1	242,5 ± 0,5	242,5 ± 0,5
4A	40,3 ± 0,1	17,2 ± 0,1	210,7 ± 0,5	210,9 ± 0,6
1B	17,3 ± 0,1	21,6 ± 0,1	490,9 ± 0,9	491,1 ± 1,8
2B	20,1 ± 0,1	21,6 ± 0,1	424,3 ± 0,7	422,5 ± 1,2
3B	24,3 ± 0,1	21,6 ± 0,1	350,1 ± 0,3	350,8 ± 0,7
4B	28,3 ± 0,1	21,6 ± 0,1	301,8 ± 0,3	303,1 ± 0,8
1C	34,3 ± 0,1	28,0 ± 0,1	249,1 ± 0,3	248,9 ± 0,6
2C	40,6 ± 0,1	37,6 ± 0,1	209,5 ± 0,3	210,3 ± 0,8
3C	47,1 ± 0,1	47,5 ± 0,1	182,0 ± 0,3	181,0 ± 0,3

**Fonte: Autoria própria (2022).**

Diante de diversas evidências experimentais e dos dados expostos na Tabela 2, percebe-se que o frequencímetro do aplicativo *Arduino Science Journal* funciona como um metrônomo digital em que ele é capaz de indicar a frequência fundamental de uma nota musical específica. Neste sentido, quando o experimento é realizado conforme é mostrado na Fotografia 2, podemos afirmar que a leitura de frequência

realizada pelo *smartphone* sempre corresponderá à frequência fundamental dos modos normais de vibração dos tubos sonoros semiabertos (Figura 8), uma vez que estes assumem o comportamento de uma caixa ressonante utilizada em instrumentos musicais.

### 3.3 Atividade proposta com o aplicativo *Arduino Science Journal*

O experimento a ser explorado em sala de aula é a determinação da velocidade do som no ar ( $v_s$ ). Utilizando as frequências lidas pelo *smartphone* e, sabendo que o valor de  $n$  deve ser sempre igual a 1, pode-se calcular o valor de  $v_s$  por meio da Equação 11, que pode ser obtida explicitando  $v$  na Equação 6.

$$v_s = \frac{4L f_{sp}}{1} \quad (11)$$

Na Tabela 3, apresenta-se os valores das velocidades do som ( $v_s$ ) obtidos a partir dos tubos sonoros pertencentes aos diferentes grupos de tubos. Em que  $L$  representa o comprimento dos tubos e  $f_{sp}$  são as frequências medidas por meio do *smartphone*. Nota-se que os valores de  $v_s$  equivalem aos reportados na literatura.

**Tabela 3 - Velocidade do som obtidas com auxílio do *smartphone*.**

<b>Tubos</b>	<b><math>L \pm \delta L</math> (cm)</b>	<b><math>f_{sp} \pm \delta f_{sp}</math> (Hz)</b>	<b><math>v_s \pm \delta v_s</math> (m/s)</b>
1A	21,5 ± 0,1	396,1 ± 1,3	340,6 ± 2,7
2A	29,5 ± 0,1	288,4 ± 0,9	340,3 ± 2,2
3A	35,2 ± 0,1	242,5 ± 0,5	341,4 ± 1,7
4A	40,3 ± 0,1	210,9 ± 0,6	340,0 ± 1,8
1B	17,3 ± 0,1	491,1 ± 1,8	339,8 ± 3,2
2B	20,1 ± 0,1	422,5 ± 1,2	339,7 ± 2,7
3B	24,3 ± 0,1	350,8 ± 0,7	341,0 ± 2,1
4B	28,3 ± 0,1	303,1 ± 0,8	343,1 ± 2,1
1C	34,3 ± 0,1	248,9 ± 0,6	341,5 ± 1,8
2C	40,6 ± 0,1	210,3 ± 0,8	341,5 ± 2,1
3C	47,1 ± 0,1	181,0 ± 0,3	341,0 ± 1,3

**Fonte: Autoria própria (2022).**

## 4 PROPOSTA PARA O PROFESSOR

Nesta seção, o educador encontrará as instruções necessárias para auxiliar professores e estudantes na abordagem de ondas mecânicas, em especial a determinação da velocidade do som no ar intermediado pelo *smartphone* como ferramenta de ensino e aprendizagem.

### 4.1 Proposta didática

Esta proposta didática está pautada na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, segundo a qual, entende a aprendizagem como a organização e integração do material aprendido na estrutura cognitiva do estudante (MOREIRA, 1999).

A seguinte proposta está dividida em quatro encontros, onde cada encontro corresponde a duas aulas geminadas e foi planejada para ser trabalhada na 2ª série do Ensino Médio.

A ficha técnica está apresentada no Quadro 1, em que as competências e habilidades estão de acordo com a nova proposta do Ensino Médio e dentro das normas da BNCC (BRASIL, 2018).

**Quadro 1 - Ficha técnica da proposta didática.**

<b>APLICAÇÃO DO SMARTPHONE INTERMEDIADO PELO APLICATIVO ARDUINO SCIENCE JOURNAL PARA DETERMINAR A VELOCIDADE DO SOM NO AR UTILIZANDO TUBOS SONOROS.</b>		
Forma de atividade	Presencial.	
Público alvo	Alunos do segundo ano do ensino médio.	
Objetivos gerais	Demonstrar os modos normais de vibração em cordas vibrantes e estender esses conceitos para calcular a velocidade de propagação do som no ar utilizando tubos sonoros e um <i>smartphone</i> .	
Conteúdos prévios	Noções de matemática básica e ondas mecânicas.	
Utilização da BNCC (BRASIL, 2018)		
<b>Ciências da natureza e suas tecnologias no ensino médio</b>	<b>Competência 3</b>	<b>HABILIDADES</b> (EM13CNT301) (EM13CNT307) (EM13CNT308)
Avaliação	Calcular a velocidade de propagação de uma onda.	

**Fonte: Autoria própria (2022).**

#### 4.1.1 Ciências da natureza e tecnologias no ensino médio: Competência 3

Durante aplicação do produto educacional foram observadas as habilidades descritas na competência 3. Nessa competência específica, espera-se que os estudantes possam se apropriar de procedimentos de coleta e análise de dados mais aprimorados, como também se tornar mais autônomos no uso da linguagem científica. Para tanto, é fundamental que possam experienciar diálogos com diversos públicos, em contextos variados e utilizando diferentes mídias de tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC's) conforme itens listados abaixo:

- a) (EM13CNT301) construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica;
- b) (EM13CNT307) analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano;
- c) (EM13CNT308) investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

De acordo com o Plano Nacional de Educação (PNE), aprovado para o período 2014/2024, (BRASIL, 2014), em sua meta 2, pretende-se “desenvolver tecnologias pedagógicas que combinem, de maneira articulada, a organização do tempo e das atividades didáticas entre a escola e o ambiente comunitário”. O que reforça a importância do uso de TDIC'S nas atividades didáticas e de planejamento das aulas pelo professor. Na Meta Três do PNE, que trata do ensino médio, incentiva a organização das práticas pedagógicas de maneira flexível e diversificadas, articulando dimensões como as ciências, trabalho, tecnologia, esporte e cultura, nos conteúdos eletivos e obrigatórios.

Neste sentido, no Quadro 2, apresentamos como ocorreu o planejamento para conduzir os 4 encontros, previamente, definidos com a participação dos alunos.

Quadro 2 - Estrutura da Proposta Didática.

<p><b>Primeiro encontro: 2 aulas.</b></p>	<p><b>Conhecimentos prévios dos alunos</b></p> <p>Para este primeiro encontro, o professor pode elaborar um breve questionário, para ter um parâmetro inicial sobre os conhecimentos básicos dos alunos sobre o referido tema, no caso, ondas mecânicas. Sugere-se, a não obrigatoriedade de identificação nesses questionários, até para que não gere algum tipo de constrangimento pelas respostas apresentadas. Em seguida, em forma de debate, o professor pode comparar as respostas colhidas e apresentar as respostas corretas das perguntas propostas para que assim todas as dúvidas sejam sanadas.</p>
<p><b>Segundo encontro: 2 aulas.</b></p>	<p><b>O experimento sobre cordas vibrantes</b></p> <p>Nesse encontro, o professor deve explicar como o experimento de cordas vibrantes funciona e como é possível calcular a velocidade de propagação da onda na corda. Os alunos poderão ter acesso ao experimento e entender como os nodos e ventres se formam a partir de uma frequência estabelecida de ressonância. Uma vez em posse dessas informações, o professor proporá aos alunos que ajustem a frequência e determine o número de ventres que poderão encontrar, e em seguida calcular sua velocidade de propagação.</p>
<p><b>Terceiro encontro: 2 aulas.</b></p>	<p><b>O experimento com tubos sonoros</b></p> <p>Nesse experimento, os alunos aprenderão como obter a frequência média por meio do aplicativo <i>Arduino Science Journal</i>, que medirá essa frequência batendo em uma das extremidades de um tubo sonoro, e a outra extremidade colocando próximo ao microfone do seu <i>smartphone</i>. Dessa forma, mede-se a frequência que será utilizada para se calcular a velocidade do som no ar.</p>
<p><b>Quarto encontro: 2 aulas.</b></p>	<p><b>Análise final dos experimentos</b></p> <p>Neste encontro, o professor poderá fazer um grande debate sobre os dois experimentos, e fazer uma análise da evolução dos conhecimentos dos alunos através dos experimentos realizados. Essa análise poderá ser feita a partir de perguntas pontuais, ou até mesmo com questionários com poucas perguntas, mas com relevância para mapear o grau de evolução atingido pelos alunos.</p>

Fonte: Autoria própria (2022).

## 4.2 Primeiro encontro

Neste primeiro momento, torna-se interessante analisar o que o aluno sabe sobre ondas, desde exemplos mais básicos, como onda no mar, ondas de rádio ou até mesmo definições mais complexas como ondas mecânicas e suas aplicabilidades. Exemplificar aos alunos esses tipos de ondas, como elas se formam e suas funcionalidades, deixa mais atrativo o conteúdo a ser tratado. Portanto neste encontro mapeie todas as informações que os alunos puderem trazer, para que a partir dessas supostas dúvidas e predefinições se construa uma maneira simples e atraente para que o próximo encontro atinja seus objetivos propostos. No Quadro 3 expomos uma sugestão de perguntas que poderão ser feitas para levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos. Após isso, o professor apresenta o vídeo cujo link está no Quadro 4 e usar as perguntas contidas nele para enriquecer a explanação sobre ondas mecânicas e realizar problematizações sobre o assunto.

**Quadro 3 - Questionário para levantamento de conhecimentos prévios.**

<b>QUESTIONÁRIO SOBRE CONHECIMENTOS PRÉVIOS DE ONDULATÓRIA TURMA: 2ºs ANOS A/B.</b>
1. Você já ouviu falar em ondas mecânicas?
2. Tomando como base seus conhecimentos naturais, dê um exemplo de onda.
3. Você já viu uma onda? Se sim, em que situação?
4. Se você fosse exemplificar uma onda para alguém, que exemplo você usaria?
5. Onde você pode encontrar a aplicação de ondas em sua casa?
6. Você sabe o que é um tubo sonoro?
7. Com base na pergunta anterior, se conhece, dê um exemplo.
8. Onde podemos encontrar tubos sonoros em nosso cotidiano?
9. Você sabe o que é um tubo sonoro aberto ou semiaberto?
10. Você sabe como representar graficamente uma onda sonora?

**Fonte: Autoria própria (2022).**

**Quadro 4 - Questionário de problematização do primeiro encontro.**

<b>Assista ao vídeo a seguir e responda as questões.</b> <a href="#">Conceito de onda.</a>
1. O que é uma onda?
2. As ondas necessitam de meio material para sua propagação?
3. Quais são os tipos de ondas?
4. Quais são as características de uma onda?

**Fonte: Autoria própria (2022).**

### 4.3 Segundo encontro

No segundo encontro, já com as definições de ondas bem esclarecidas e contextualizadas, o professor usará o vídeo sugerido no Quadro 5 para introduzir aos alunos os formalismos matemáticos usados para descrever uma onda e suas principais características e, dessa forma, chamar a atenção dos estudantes para compreender os conceitos fundamentais sobre o assunto para que possam responder as perguntas problematizadoras descritas e, assim, realizar cálculos simples para obter a velocidade de propagação de uma onda por meio da equação fundamental da ondulatória que está na Seção 2.

**Quadro 5 - Questionário de problematização do segundo encontro.**

Assista ao vídeo a seguir e responda as questões. <a href="#">Velocidade de propagação de uma onda.</a>	
1. Como se define o período de uma onda?	
2. O que é a frequência de uma onda?	
3. O que é o comprimento de onda $\lambda$ de uma onda?	
4. O que são vales e cristas de uma onda?	
5. Como se determina a amplitude de uma onda?	
6. Como se calcula a velocidade de propagação de uma onda?	
7. Determine a velocidade de uma onda com $\lambda = 0,22$ m e $f = 140$ Hz.	

Fonte: Autoria própria (2022).

#### 4.4 Terceiro encontro

O objetivo deste encontro é utilizar o vídeo sugerido no Quadro 6 para auxiliar os estudantes na compreensão de ondas estacionárias, modos normais de vibração e ressonância, bem como determinar o comprimento de onda de acordo com os modos normais apresentados. Além disso, o professor deverá estender o assunto para ondas sonoras em tubos sonoros, fazendo uso de exemplares de tubos similares àqueles apresentados nas Fotografias 3, 4 e 5 e comprimentos equivalentes aos tubos descritos na Tabela 1 e, por fim, calcular e a velocidade da onda utilizando o formalismo matemático apresentado na Seção 2.

**Quadro 6 - Questionário de problematização do terceiro encontro.**

Assista ao vídeo a seguir e responda as questões.  
[Ondas estacionárias em cordas.](#)

1. O que é uma onda estacionária?


2. O que é ressonância?


3. O que são modos normais de vibração?


4. O que são harmônicos?


5. Utilizando a equação  $v = \lambda \cdot f$  e  $\lambda = 2L/n$  determine a velocidade de propagação de uma onda com os dados extraídos do experimento 1.


Fonte: Autoria própria (2022).

#### 4.5 Quarto encontro

O objetivo deste encontro é calcular a velocidade do som no ar. Para isso, usaremos o *smartphone* com o aplicativo *Arduino Science Journal* e alguns tubos sonoros. O professor deverá enfatizar que a leitura de frequência feita pelo aplicativo sempre corresponde ao primeiro modo normal de vibração de uma onda sonora

estacionária. No Quadro 7 expomos os principais parâmetros que devem ser observados para que o objetivo do encontro seja alcançado.

Neste encontro fica como proposta, fazer um grande debate e apresentar as opiniões dos alunos através de discussões sobre os experimentos realizados. Verificar se os objetivos foram alcançados e se as dúvidas foram sanadas, pois este é o momento onde os alunos poderão expor suas opiniões acerca do que foi trabalhado.

Aqui o professor será o mediador das discussões que acontecerão, e os pontos de vistas dos alunos serão o termômetro do debate. É interessante que toda observação feita pelo aluno tenha um *feedback* por parte do professor, para que este se sinta assistido, e que possa servir de respaldo para outras indagações que poderão surgir.

Tornar uma aula atrativa e menos desgastante, creio que seja o desejo de todo professor quando entra em uma sala de aula. Aqui deixamos uma proposta, que pode servir de auxílio para que os colegas professores aceitem esse desafio, fazer com que o ensino de física fique menos pedagógico e mais contextualizado.

**Quadro 7 - Sugestão para cálculo da velocidade do som.**

<b>Cálculo da velocidade do som utilizando o <i>smartphone</i> e o aplicativo <i>Arduino Science Journal</i> e os tubos sonoros utilizados em sala de aula.</b>
Dados: $v = \lambda \cdot f$ e $\lambda = 4 \cdot L$
$L_1 =$
$\lambda_1 =$
$v_1 =$
$L_2 =$
$\lambda_2 =$
$v_2 =$

Fonte: Autoria própria (2022).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, apresentou-se uma metodologia experimental e um produto educacional simples e bastante interessante que permite tanto aos professores quanto aos alunos realizar medidas de grandezas físicas para determinar a velocidade do som no ar utilizando tubos sonoros semiabertos e um *smartphone*, propiciando, assim, uma articulação que adiciona à tradicional abordagem expositiva em sala de aula a experimentação.

No processo de investigação por meio da metodologia proposta, notou-se que em tubos de comprimento inferior a 15 cm, o frequencímetro do *smartphone* apresenta dificuldades para realizar leituras precisas de frequência devido ao rápido decaimento da energia contida nos pulsos sonoros, que é cerca de 1,84 vezes mais rápido que nos tubos de comprimento maior e, portanto, recomenda-se a utilização de tubos cujo comprimento seja superior a 15 cm.

Por meio das análises feitas, constatou-se que os sons emitidos pelos tubos sonoros constituem um pacote de ondas, em que os tubos funcionam como um filtro acústico ou guia de ondas e, assim, possibilitado a passagem de ondas somente em determinadas frequências, enquanto atenua a amplitude das ondas de frequências não permitidas. Neste contexto, podemos utilizar a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obter o espectro de frequência dos sinais acústicos produzidos pelos tubos sonoros e, dessa forma, descobrir quais são as frequências das ondas puras que compõem o som original.

Os espectros de frequência obtidos dos sinais acústicos provenientes dos diferentes grupos de tubos sonoros mostraram que o primeiro pico corresponde à frequência fundamental ou primeiro harmônico e, é sempre o pico de maior intensidade. Comparando todas as frequências fundamentais dos sons produzidos pelos tubos sonoros que foram objetos de estudo com as frequências medidas por meio do *smartphone*, pode-se afirmar que, de acordo com os experimentos realizados, a frequência medida pelo *smartphone* estará sempre associada ao primeiro harmônico.

Com relação ao experimento sugerido neste trabalho como exemplo de aplicação em sala de aula, que é determinar a velocidade do som no ar. Os resultados obtidos para a velocidade do som estão de acordo com as previsões

teóricas descritas na literatura para cada um dos tubos sonoros utilizados, cujo valor médio corresponde a  $341,01 \pm 1,0$  m/s. Outro detalhe importante que merece destaque, é o fato do experimento ser simples e de fácil aplicação em sala de aula, possibilitando a inserção de tecnologias de informação e comunicação no ambiente escolar.

A construção do Produto Educacional, veio com o objetivo de oferecer mais uma opção de abordagem no ensino de física, de uma forma mais contextualizada e menos técnica. Mostrar o estudo de ondas sob uma visão mais experimental, propondo ao aluno uma compreensão pautada em experimentos e menos em exercícios propostos, uma vez que, os alunos não apresentaram dificuldades para realização das atividades, levando-nos a crer que os objetivos e competências de ensino e aprendizagem foram atingidos.

Não descartamos aqui a importância das atividades de fixação, tão comum nas aulas de física, que contribuem e muito para a assimilação dos conteúdos, mas queremos mostrar a necessidade de ensinar física baseada em experimentos que tornaria essa mesma compreensão muito mais prazerosa e menos cansativa.

Calcular a velocidade de propagação de uma onda em uma corda, ou até mesmo calcular a velocidade do som no ar, fica mais atrativo quando se usa uma tecnologia tão familiar aos alunos, como um *smartphone*. Trazer esses recursos para a sala de aula, faz com que as aulas se tornem mais dinâmicas e menos entediantes, deixando assim, o professor mais à vontade para conduzir seu trabalho, e conseqüentemente despertar no aluno um maior interesse pelo conteúdo que está sendo aplicado.

Acreditamos que o trabalho aqui proposto, veio ao encontro das necessidades apresentadas até então nas aulas de física. As inovações apresentadas e demonstradas neste trabalho, teve como objetivo mostrar este aprendizado de uma forma eficaz e prazerosa. Concluímos também, que as experiências realizadas, trouxe um olhar diferenciado para o conceito de ondas, saindo de um mundo abstrato movido a resolução de exercícios e decorar fórmulas matemáticas, para uma realidade mais acadêmica, onde o universo do aluno se abriu para um mundo não somente científico, mas dando ao mesmo condições de construir seu próprio conhecimento.

Certos de que o caminho a qual trilhamos na construção deste trabalho, foi altamente produtivo. Fica o desafio de que a aplicação das experiências aqui

propostas, não somente trará um aproveitamento maior nas aulas de física, mas proporcionará ao aluno, um olhar diferenciado em relação ao seu aprendizado que estará constantemente em evolução.

Portanto, fica essa proposta de trabalho, como uma ferramenta de auxílio para os colegas professores, que queiram aceitar esse desafio de trabalhar a física sob um olhar mais contextualizado e despertar no aluno, porque não, um desejo de vislumbrar no ensino de física sua futura ferramenta de trabalho.

Por fim, acreditamos que as ideias aqui apresentadas possam ser utilizadas para despertar nos estudantes o interesse pelas práticas experimentais e desenvolver neles o entusiasmo pela experimentação e pelo conhecimento científico.

## REFERÊNCIAS

- ARFKEN, G. B.; WEBER, H. J.; HARRIS, F. E. **Mathematical Methods for Physicists: A Comprehensive Guide**. New York: Elsevier Science, 2013.
- AUDACITY, T. **Audacity**. Disponível em: <https://www.audacityteam.org/>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- BARROQUEIRO, C. H.; AMARAL, L. H. **O Uso das Tenologias da Informação e da Comunicação no Processo de Ensino-Aprendizagem dos Alunos Nativos Digitais nas Aulas de Física e Matemática**. REI - Revista de Educação da IDEAU, v. 7, n. 15, p. 123–143, 2012.
- BRASIL. **Plano Nacional de Educação - Lei nº 13.005/2014**. Disponível em: <http://pne.mec.gov.br/18-planos-subnacionais-de-educacao/543-plano-nacional-de-educacao-lei-n-13-005-2014>. Acesso em: 11 nov. 2021.
- BRASIL. **BNCC**. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf). Acesso em: 11 nov. 2022.
- CANONICAL LTD. **QtiPlot - Data Analysis and Scientific Visualisation**. Disponível em: <https://www.qtiplot.com/>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- GOOGLE LLC. **Arduino Science Journal**. Disponível em: [https://play.google.com/store/apps/details?id=cc.arduino.sciencejournal&hl=pt\\_BR&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=cc.arduino.sciencejournal&hl=pt_BR&gl=US). Acesso em: 11 nov. 2022.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. v. 2
- KENSKI, V. M. **Tecnologias e Ensino Presencial e a Distância**. São Paulo: Papirus Editora, 2013.
- LYNN, P. A.; FUERST, W. **Introductory Digital Signal Processing with Computer Applications**. 2. ed. New York: Wiley, 1998.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.
- REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. **Foundations of Electromagnetic Theory**. 4. ed. San Francisco: Addison-Wesley Publishing Company , USA, 2008.
- SANTOS DE JESUS, M. A.; CARLOS, R.; SILVA, O. **A Teoria De David Ausubel - O Uso Dos Organizadores Prévios No Ensino Contextualizado De Funções**. Anais do VIII ENEM. **Anais...**Recife: 2004. Disponível em: <http://www.sbem.com.br/files/viii/pdf/03/MC05002402801.pdf>
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros: eletricidade e magnetismo, óptica. vol. 2**. São Paulo: Grupo Gen - LTC, 2011.

## **APÊNDICE A — Tubos sonoros avaliados**

Fotografia 3 - Tubos sonoros do grupo A.



Fonte: Autoria própria (2022).

Fotografia 4 - Tubos sonoros do grupo B.



Fonte: Autoria própria (2022).

Fotografia 5 - Tubos sonoros do grupo C.



Fonte: Autoria própria (2022).