

**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.

Dedico este trabalho a minha esposa Magna, por sua compreensão e carinho para que a realização desse sonho se tornasse possível, agradeço também ao meu filho, por seu amor e compreensão pelas horas que deixei de ser pai para me tornar um pesquisador, amo vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus inicialmente pela oportunidade da realização deste sonho, sonho que este, que passou a ser uma realidade através do esforço dedicado e busca incessante por um objetivo que hoje se realiza.

Agradeço a todos os professores, que muitas vezes deixaram de ser educadores para se tornarem amigos, para que assim, essa proximidade nos desse a confiança necessária para que pudéssemos colocar em andamento a concretização desse sonho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Ivan Marcelo Laczowski, pela sabedoria e paciência com que me guiou nesses momentos tão prazerosos e extenuantes.

Aos meus colegas de sala, que se tornaram parte de minha família, pelo carinho e atenção com que tantas vezes dividimos nossas dificuldades e angustias.

A minha família e amigos, que sempre torceram pelo meu sucesso, em especial aos queridos amigos Aline, Lilian, Elisangela e Daniel, que nos momentos mais difíceis estiveram ao meu lado.

Um especial agradecimento a UTFPR pelo apoio financeiro recebido.

“Posso todas as coisas naquele que me fortalece”.

Filipenses 4:13

## RESUMO

Os *smartphones* são parte de uma das grandes evoluções da humanidade. Nos últimos anos, esses aparelhos se tornaram acessíveis e populares devido à facilidade que eles proporcionam nas comunicações e são enquadrados como Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC's). Porém, a falta de alfabetização digital impede que esses dispositivos sejam empregados em toda sua plenitude. Neste cenário, apresentamos um trabalho que teve como objetivo, desenvolver uma metodologia experimental para elaborar um produto educacional que faz uso do *smartphone* mediado pelo aplicativo *Arduino Science Journal* para realizar estudos sobre ondas estacionárias e determinar a velocidade do som utilizando tubos sonoros semiabertos. Para determinar a velocidade do som foram utilizados tubos de plástico para água fria e a metodologia empregada foi dividida em duas etapas. Na primeira, foram capturados pulsos sonoros por meio de um gravador de áudio instalado em um computador e, na segunda etapa, mediu-se a frequência dos pulsos produzidos usando um *smartphone* e o frequencímetro do aplicativo *Arduino Science Journal*. Em ambas as etapas, os pulsos sonoros foram produzidos batendo-se com a mão em uma das extremidades dos tubos para que eles assumissem o comportamento de tubos sonoros semiabertos. A velocidade do som foi calculada utilizando as equações de previsão dos modos normais de vibração em tubos sonoros semiabertos. Para análise de dados, utilizou-se a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obter os espectros de frequência dos pulsos sonoros obtidos na primeira etapa. Em seguida, identificou-se qual o pico de frequência que correspondia à frequência medida pelo *smartphone*. Os resultados mostraram que a frequência medida pelo dispositivo sempre corresponde ao primeiro pico do espectro de frequência, que está associado ao primeiro harmônico. E, conforme a metodologia adotada, calculou-se a velocidade do som, cujos valores obtidos, foram equivalentes aos reportados na literatura. Com essas informações, foi produzido um produto educacional seguindo os conceitos de aprendizagem significativa de Ausubel e posto em prática nas turmas do segundo ano do ensino médio da cidade Campina da Lagoa – PR. Por meio de questionários, foi observado que os alunos traziam um certo conhecimento sobre ondulatória. E, a metodologia de trabalho proposta, potencializou a absorção de novos conceitos de Física referentes ao tema abordado. A presente proposta foi criada como parte dos requisitos necessários para defesa de mestrado e adiciona mais um benefício para a educação brasileira.

Palavras-chave: TDIC's; ondas estacionárias; tubos sonoros; velocidade do som; *smartphone*; *Arduino Science Journal*; FFT.

## ABSTRACT

Smartphones are one of humanity's significant evolutions. In recent years, these devices have become accessible and popular due to their ease of communication. Moreover, they are part of Digital Information and Communication Technologies (DICT). However, the lack of digital literacy prevents these devices from being employed to their fullest extent. In this scenario, we present a work aimed at developing an experimental methodology to develop an educational product that uses the smartphone mediated by the Arduino Science Journal application to perform studies on standing waves and determine the speed of the sound using open-end sound tubes. We used Plastic cold water tubes to determine the speed of the sound, and the methodology employed was divided into two stages. In the first, an audio recorder installed on a computer captured the sound pulses. In the second stage, we used a smartphone and the Arduino Science Journal app's frequency meter to measure the frequency of the pulses. In both steps. We hit with a hand to produce sound pulses and make the tubes assume the behavior of open-end sound tubes. We calculated The speed of the sound by equations for predicting normal vibration modes in open-end sound tubes. For data analysis, the Fast Fourier Transform (FFT) was used to obtain the frequency spectra of the sound pulses obtained in the first step. Then we identified which frequency peak corresponded to the frequency measured by the smartphone. Results showed that the frequency measured by the device always corresponds to the first peak of the frequency spectrum, which is associated with the first harmonic. According to the methodology adopted, the speed of the sound obtained was equivalent to those reported in the literature. This information enabled us to produce an educational product following Ausubel's concepts of meaningful learning and put it into practice in second-year high school classes in Campina da Lagoa – PR. The questionnaires showed that the students had some knowledge of wave theory. Moreover, the proposed work methodology enhanced the absorption of new concepts of Physics related to the theme. The present proposal was created as part of the requirements for a master's degree defense and added another benefit to Brazilian education.

Keywords: standing waves; sound tubes; the speed of sound; smartphone; Arduino Science Journal; FFT.



## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Ambiente de ensino.....	25
Fotografia 2 - Coleta de dados durante a etapa 1 da pesquisa.....	41
Fotografia 3 - Coleta de dados durante a etapa 2 da pesquisa.....	42
Fotografia 4 - Experimento 1: Cordas vibrantes.....	56
Fotografia 5 - Modos normais de vibração em uma corda.....	56
Fotografia 6 - Experimento 2: Tubos sonoros e <i>smartphone</i> .....	59
Fotografia 7 - Tubos sonoros do grupo A.....	69
Fotografia 8 - Tubos sonoros do grupo B.....	69
Fotografia 9 - Tubos sonoros do grupo C.....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de uma função de onda e suas principais características.....	29
Figura 2 - Pulso em uma corda com extremidade fixa. (a) pulso incidente, (b) pulso refletido.....	30
Figura 3 - Onda estacionária em uma corda com extremidades fixas.....	31
Figura 4 - Pulso em uma corda com extremidade livre. (a) pulso incidente, (b) pulso refletido.....	32
Figura 5 - Onda estacionária em uma corda com uma extremidade livre .....	32
Figura 6 - Onda sonora que se propaga em um tubo.....	33
Figura 7 - Tubo sonoro com bordas abertas.....	34
Figura 8 - Tubo sonoro com uma extremidade fechada e outra aberta.....	35
Figura 9 - Telas de configuração do aplicativo <i>Arduino Science Journal</i> .....	37
Figura 10 - Atuação da Transformada Rápida de Fourier, (a) sinal dependente do tempo, (b) sinal dependente da frequência.....	39

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Perfil de um dos pulsos sonoros emitido pelo tubo sonoro 1A.....	43
Gráfico 2 - Gráficos a e b com os dados capturados pelo <i>smartphone</i> .....	44
Gráfico 3 - Pacote de ondas contido em um pulso sonoro.....	45
Gráfico 4 - Espectro de frequência: Tubo 1A.....	46
Gráfico 5 - Espectro de frequência: Tubo 4A.....	47
Gráfico 6 - Frequências medidas com o aplicativo <i>Arduino Science Journal</i> .....	60
Gráfico 7 - Espectros de frequência dos tubos sonoros do grupo A e as frequências medidas por meio do <i>smartphone</i> .....	71
Gráfico 8 - Espectros de frequência dos tubos sonoros do grupo B e as frequências medidas por meio do <i>smartphone</i> .....	72
Gráfico 9 - Espectros de frequência dos tubos sonoros do grupo C e as frequências medidas por meio do <i>smartphone</i> .....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos tubos sonoros em grupos A, B, C e suas dimensões...	40
Tabela 2 - Frequências fundamentais ( $f_1$ ) obtidas do primeiro pico dos espectros de frequência e as frequências ( $f_{sp}$ ) medidas por meio do <i>smartphone</i> .....	48
Tabela 3 - Velocidade do som obtidas com auxílio do <i>smartphone</i> .....	49
Tabela 4 - Velocidade do som calculada pelos alunos em sala de aula.....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ficha técnica da proposta didática.....	51
Quadro 2 - Estrutura da Proposta Didática.....	53
Quadro 3 - Questionário para levantamento de conhecimentos prévios.....	75
Quadro 4 - Questionário de problematização do primeiro encontro.....	76
Quadro 5 - Questionário de problematização do segundo encontro.....	76
Quadro 6 - Questionário de problematização do terceiro encontro.....	77
Quadro 7 - Sugestão para cálculo da velocidade do som.....	77
Quadro 8 - Questionário para aplicação após realização das atividades.....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Curricular Comum
DFT	<i>Discrete Fourier Transform</i>
DN	Diâmetro Nominal
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
LDES	Livro Didático do Ensino Superior
NRE	Núcleo Regional de Ensino
OA	Objetivos de aprendizagem
PHET	<i>Physics Education Technology Project</i>
PNE	Plano Nacional de Educação
PVC	<i>Poly Vinyl Chloride</i> (ou Policloreto de Vinil)
SI	Sistema Internacional de Unidades
TDIC'S	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	ENSINO E APRENDIZAGEM.....	18
2.1	O papel dos estudantes na aprendizagem significativa.....	19
2.2	O papel do professor na aprendizagem significativa.....	20
2.3	O papel dos materiais na aprendizagem significativa.....	21
2.4	A experimentação no ensino de física.....	22
2.5	A tecnologia no âmbito escolar.....	23
2.6	As TDIC's no contexto educacional.....	25
2.7	Emprego de <i>smartphones</i> no ensino de física.....	27
3	CONSIDERAÇÕES SOBRE A TEORIA ONDULATÓRIA.....	28
3.1	Ondas.....	28
3.2	Ondas estacionárias.....	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1	O aplicativo <i>Arduino Science Journal</i> .....	36
4.2	Transformada rápida de Fourier.....	38
4.3	Validação da metodologia.....	40
4.3.1	Materiais.....	40
4.3.2	Métodos.....	41
4.3.3	Processamento dos dados e discussões.....	43
4.4	Atividade proposta com o aplicativo <i>Arduino Science Journal</i> .....	49
5	ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO NO ENSINO.....	50
5.1	Proposta didática.....	51
5.1.1	Ciências da natureza e tecnologias no ensino médio: Competência 3.....	52
6	ANÁLISE E DISCUSSÃO.....	55
6.1	Experimentos e relatos.....	55
6.2	Relatos finais dos experimentos.....	61
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
	REFERÊNCIAS.....	66
	APÊNDICE A — Tubos sonoros avaliados.....	68
	APÊNDICE B — Espectros de frequência.....	70
	APÊNDICE C — Questionários.....	74
	APÊNDICE D — Produto educacional.....	79

## 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 sentido, as TDIC's possibilitam inúmeras formas de potencializar os processos de ensino e aprendizagem.

Nos últimos anos, devido às mudanças que o sistema educativo experimentou em nosso país, nos obriga a pensar sobre muitos dos aspectos, das premissas e dos suportes que o compõem. Neste contexto, elaborou-se o Plano Nacional de Educação (PNE), aprovado para o período 2014/2024, (BRASIL, 2014) que, em sua meta 2, pretende-se “desenvolver tecnologias pedagógicas que combinem, de maneira articulada, a organização do tempo e das atividades didáticas. O que reforça a importância do uso de TDIC'S nas atividades 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. Para que as metas PNE, possam ser alcançadas, é de fundamental importância que o professor saiba como utilizar, pesquisar e conhecer o que as novas TDIC'S têm a oferecer. Para, assim, tornar as aulas mais atrativas e vinculadas as novas tecnologias do cotidiano dos alunos como jogos, vídeos e aplicativos de celular.

Neste cenário, a maneira com que se direciona uma linha de trabalho pode ser entendida como um grupo de ações devidamente preparadas e organizadas, no sentido de alcançar determinados objetivos educacionais previamente propostos (ZABALA, 1998). Esse tipo de abordagem, faz com que os conteúdos trabalhados se tornem mais simples em sua compreensão, conseqüentemente deixando para o aluno, uma menor dificuldade no aprendizado. Com esta linha de pensamento, o projeto de produto educacional apresentado nesse trabalho, apoia-se em uma



metodologia de experimentação, onde o aplicativo *Arduino Science Journal* intermediado pelo *smartphone* foram utilizados para medir a velocidade do som no ar utilizando tubos sonoros.

A escolha do tema veio após pesquisas que constatou o baixo índice de exploração desse assunto no ensino médio. Dessa forma, as TDIC'S terão um papel fundamental no sentido de possibilitar o estudo dos modos normais de vibração e permitir calcular a velocidade do som a partir de tubos sonoros. Portanto, a estratégia de trabalho que apresentamos, vem oferecer aos educandos, uma possibilidade diferenciada de visualizar os temas relativos a ondulatória. Vale destacar, a importância do aplicativo *Arduino Science Journal*, que com sua variedade funcional permitiu a realização das atividades experimentais que foram propostas no desenvolvimento do produto educacional (GOOGLE LLC, 2020).

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 e, assim, aplicar esses conceitos em diferentes cenários de vida, abrindo espaço para uma verdadeira aprendizagem significativa (JESUS; SILVA, 2004). Por isso, O trabalho será estruturado dentro de uma linha de pesquisa, focando a aprendizagem significativa de David Ausubel (BARBOSA; JOAQUIM, 2021). E para atingir os objetivos propostos, será feito um levantamento bibliográfico em livros didáticos de Física e Ciências para observação de como é abordado o conteúdo escolhido nos respectivos referenciais. Após essa análise, o próximo passo será um estudo aprofundado para buscar um melhor emprego das ferramentas didáticas que são utilizadas na exposição dos conteúdos de ondulatória em sala de aula.

Diante de um ponto de vista prático, é importante mencionar que o produto educacional criado a partir dos resultados de nossos estudos, facilitará o trabalho docente quando este for realizar uma atividade experimental, uma vez que não há necessidade de grandes recursos ou laboratórios dedicados. Além disso, salientamos que o produto educacional será tornado público para que possa ser implementado em qualquer local de ensino, adicionando mais um benefício para a educação brasileira. Assim, desenvolvemos uma metodologia experimental que faz uso do aplicativo *Arduino Science Journal*, como ferramenta de ensino para o estudo de ondas estacionária, auxiliando professores na realização de uma atividade

experimental simples e de baixo custo para determinar a velocidade do som utilizando *smartphone* e tubos sonoros.

Os estudos realizados foram parte integrante das condições necessárias para finalização do curso de mestrado ligado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UTFPR, campus de Campo Mourão. O produto educacional foi aplicado em um colégio situado na cidade de Campina da Lagoa – PR que funciona no regime integral de ensino. Neste colégio, foi detectado uma carência no que se refere aos estudos sobre ondulatória. E, segundo nossa análise, o tema não recebe atenção que nós acreditamos que deveria receber nem a ênfase necessária e, por isso, o produto foi aplicado naquele local de ensino para potencializar o processo de ensino e aprendizagem referentes aos modos normais de vibração e velocidade do som com o uso de experimentos e tecnologias digitais.

Com isso posto, estruturamos a dissertação da seguinte forma: Na Seção 2, apresentamos algumas considerações sobre ensino e aprendizagem, descrevendo um breve relato sobre a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel, enfatizando a atuação dos estudantes, dos professores e dos materiais pedagógicos dentro desta linha de pensamento. Além disso, destacamos o papel da experimentação no ensino de física utilizando tecnologias digitais de informação e comunicação com foco no uso do *smartphone*. Na Seção 3, reportamos conceitos básicos sobre a Teoria Ondulatória que são necessários para o desenvolvimento deste trabalho. Na Seção 4, expomos os materiais e métodos utilizados para validar nossa proposta de pesquisa, bem como, uma sugestão de aplicação da metodologia em sala de aula. Na Seção 5, introduzimos os encaminhamentos metodológicos para aplicação desta proposta de trabalho no ambiente escolar e os objetivos que visamos alcançar. Na Seção 6, temos as análises e discussões das informações coletadas em sala de aula que nortearam a construção do produto educacional. Por fim, na Seção 7, apresentamos as considerações finais.

Diante do que foi destacado, percebe-se que a dissertação apresenta duas partes, uma em que propomos a metodologia de uso do *smartphone* e, a outra, a aplicação da metodologia proposta como ferramenta de ensino.

## 2 ENSINO E APRENDIZAGEM

David P. Ausubel foi um pensador norte-americano, nascido em 18 de outubro de 1918, em Nova York e falecido na mesma cidade em 2008. Cresceu insatisfeito com a educação que recebera, pois via na mesma uma educação opressora e de poucos resultados significativos. Ele é o pai da chamada aprendizagem significativa, um dos maiores representantes do cognitivismo, pois acreditava que todo aluno trazia em seu cognitivo, conhecimentos prévios que seriam colocados a prova toda vez que este tiver acesso a uma nova informação (FERNANDES, 2011).

Descontente com a educação recebida, acreditava que os conhecimentos a qual o aluno possuía, ficava armazenado em seu cognitivo, um conjunto de informações organizadas. E cabia ao professor despertar no aluno esse interesse pelo conhecimento, pois toda vez que se apresentasse um novo tema de estudo, este possuía informações prévias que armazenadas no cognitivo do aluno, seriam evidenciadas, servindo de base informativa para a novo tema proposto.

Ausubel, foi professor emérito na Universidade de Colúmbia, Nova York, médico psiquiatra de formação, dedicou sua vida a psicologia educacional, já prestes a sua aposentadoria, voltou a exercer a psiquiatria, deixando seu legado a outro pensador norte-americano, Joseph D. Novak, professor de Educação da Universidade de Cornell, este quem tem dado continuidade aos estudos a qual Ausubel iniciara anteriormente (FERNANDES, 2011).

Para Ausubel (1980), o aprendizado do aluno ocorre em três universos de conhecimento bem simples. Aprendizagem cognitiva, aprendizagem afetiva e aprendizagem psicomotora. A aprendizagem cognitiva é aquela onde se trabalha a organização na mente do educando, gerando uma estrutura de armazenamento, um complexo de aprendizagem chamado de estrutura cognitiva.

A aprendizagem afetiva, é aquela onde o sentimento do aluno é ponderado no sentido de o mesmo manifestar esse sentimento através de dor, alegria, descontentamento ou até mesmo prazer. E a aprendizagem psicomotora é aquela que exige respostas musculares através de treinos e práticas.

É importante salientar que algumas habilidades psicomotoras, necessitam de habilidades cognitivas, para que se desenvolvam na sua essência, e para que desta forma o atleta possa extrair o máximo em sua performance (MOREIRA, 1999).

O aprendizado significativo, vai trazer ao aluno uma visão diferenciada daquilo que está sendo proposto. A necessidade de informações prévias, que darão ao educando o suporte necessário para melhor compreensão do tema abordado, é o grande diferencial nessa forma de aprendizado.

As crianças não necessitam aprender a aprender, pois já possuem naturalmente, uma predisposição ao aprendizado de certos conteúdos, que dispensam a orientação de um professor ou orientador, por exemplo. A sociedade exige cada vez mais dessa educação escolar, obrigando ao aluno uma posição política e social satisfatória (DUARTE, 2001).

A formação do indivíduo é um passo grande no processo educativo e a educação escolar tem um papel decisivo, pois transforma o conhecimento empírico em conhecimento científico, torna real a aquisição dos conhecimentos construídos ao longo do tempo. O conhecimento não é nada mais que a realidade pelos pensamentos, ele passa por um processo que surge do concreto para o abstrato para ser compreendido em todas as dimensões na Psicologia (BUZZO; TREVISIO, 2016, p. 304).

Segundo Moreira (2010), a aprendizagem atinge o grau de significativa, quando a nova informação por meio dos pré-requisitos necessários, assume o papel principal no aprendizado do aluno. O mesmo já possui essas informações preliminares em seu cognitivo, simplesmente aflorando-a quando necessário.

## **2.1 O papel dos estudantes na aprendizagem significativa**

Dentro de uma aprendizagem significativa, na busca de um conhecimento esperado por parte do aluno, existe a necessidade de um trabalho em conjunto professor educando, para que o educador através de uma metodologia diferenciada, possa despertar (provocar) no aluno, o desejo de tomar posse desse novo conhecimento proposto.

Vale ressaltar que o aprendizado ocorre quando o aluno recebe a nova informação e se apropria desse novo conhecimento. Se o educando não absorver essa nova informação, de nada vale métodos diferenciados de aprendizado, pois o mesmo não demonstrou interesse em recebê-la.

Fazer acontecer essa aprendizagem na vida do aluno, torna-se um grande desafio por parte dos educadores, pois é necessário despertar no educando o desejo de se inteirar com o contexto de aprendizagem, através de conteúdos que

sejam relevantes, e preferencialmente relacionando-os com temas anteriormente trabalhados e possibilitando ao mesmo a aplicação do que foi aprendido em seu cotidiano (MELO *et al.*, 2020).

De forma natural, a criança possui em sua natureza infantil um aprendizado automático, uma certa predisposição a assimilação de novas informações, que nesse caso tornaria dispensável a orientação de um professor, por exemplo. A comunidade a qual vivemos, cobra de forma cada vez mais intensa, essa formação escolar, despertando no aluno a obrigação de posicionar-se de forma coerente na sociedade a qual vive (DUARTE, 2001).

Como mencionado acima, existe a necessidade do educando ser receptivo a essa nova informação. Que ela desperte no mesmo, o interesse em aprender e que possa trazer ao aluno o desejo em compreender, assimilar e que o motive nessa nova absorção de informações.

Dentro desse contexto de ensino aprendizagem, o aluno necessita de uma participação ativa no processo de ensino, não sendo apenas ouvinte, mas protagonista das informações que estão sendo transmitidas (BARBOSA; JOAQUIM, 2021).

Portanto compreender conteúdos de física, como por exemplo, ondulatória, seria uma busca de subsunçores no cognitivo do aluno, no sentido de permitir ao mesmo que venha a partir desses pré-requisitos, informações necessárias e suficientes para uma melhor absorção das informações relativas ao conteúdo de ondas e suas características (JESUS; SILVA, 2004).

## **2.2 O papel do professor na aprendizagem significativa**

Dentro deste perfil de aprendizagem, cabe ao professor instigar os alunos com perguntas que os incentive a participarem da construção de um conhecimento, pautado num formato de aula que gere debates e questionamentos, a cerca do tema proposto.

Como o aluno já possui um conhecimento prévio, cabe ao educador explorar essas informações da melhor maneira possível, de tal forma que o aluno se sinta valorizado por essas informações que para ele é de grande valia.

Segundo Barbosa (2021), é necessário que o professor planeje suas aulas, de tal forma que provoque no aluno essas intervenções, atraindo não somente um ou outro aluno, mas o grande grupo como um todo.

Uma vez que a participação dos alunos nas aulas são eventuais, salvo isso quando o professor faz questionamentos de forma direcionada, assim, a participação do aluno nas aulas fica condicionado as estratégias que o professor utiliza, metodologias ativas, deixando as mesmas mais atrativas e conseqüentemente mais produtivas.

É necessário fazer como Santos (2008, p. 65) que recomenda: “provocar a sede” de aprender, fazendo com que o conteúdo fique interessante para o aluno. Mas para isso, o professor deve dominar com segurança o conteúdo a ser trabalhado, fazendo com que as aulas fiquem instigantes, interessantes, desafiando o aprendiz a buscar respostas. Tal desafio pode ser uma pergunta relacionada a algo vivenciado pelos alunos, um filme, um pequeno vídeo, uma demonstração de um experimento e até mesmo uma imagem (BARBOSA; JOAQUIM, 2021, p. 5).

Sendo assim, para que esse conhecimento ocorra de forma prazerosa e significativa. Neste sentido, o professor deve assumir um papel de mediador entre o conhecimento almejado e o aluno, pois o mesmo não pode ser tratado como um mero receptor de informações, e sim como o sujeito do conhecimento.

O papel de mediador nesse caso, conduz o ensino a um patamar diferenciado, permitindo que o aluno realmente seja protagonista do seu próprio conhecimento. Essa linha de trabalho traz ao aluno resultados maravilhosos, pois permite que o mesmo direcione o seu aprender numa realidade criada por ele mesmo.

### **2.3 O papel dos materiais na aprendizagem significativa**

Nesse contexto de aprendizagem, o professor apresenta ao aluno uma ideia de currículo, e verifica se houve entendimento por parte do mesmo ao respectivo material apresentado. É necessário um *feedback* por parte do aluno para que se verifique se houve entendimento ou não da proposta apresentada, caso ainda existam dúvidas, se faz necessário uma nova leitura do material para que as dúvidas sejam sanadas.

Segundo Moreira (1999), uma vez tomando posse dessas informações, cabe ao educando a opção pelo aprendizado e o que aprender. Mas dentro deste contexto, é necessário que o aluno desenvolva o interesse pelo aprendizado, caso contrário, qualquer metodologia aplicada não alcançaria o objetivo desejado.

O homem moderno vive em um ambiente que está continuamente mudando. O que é ensinado se torna rapidamente obsoleto. Nesse contexto, o único homem educado é o que aprendeu a aprender; o homem que aprendeu a se adaptar e mudar; que percebeu que nenhum conhecimento é seguro e que só o processo de busca do conhecimento dá uma base para segurança (MOREIRA, 1999, p. 145).

Portanto, fica evidente que o currículo ocupe um lugar de destaque dentro de uma linha de aprendizado do aluno, é importante que o mesmo esteja direcionado dentro desse contexto para que o conhecimento se torne automático e não simplesmente um objeto de busca.

A oferta desse material por parte do professor, tem por objetivo nortear os próximos passos do educando, direcionando dentro daquilo a qual o professor objetiva, e ao mesmo tempo não deixando de priorizar aquilo que é essencial para a vida acadêmica do aluno.

Essa “cumplicidade” entre professor-aluno, adequando o material a realidade a qual o mesmo está inserido, produzirá resultados extremamente benéficos para ambos os lados, pois se trata de um trabalho realizado em conjunto e de comum acordo. Portanto se torna claro acreditarmos que o uso de materiais coerentes, e devidamente planejados, seria o grande desafio para um aprendizado de qualidade.

## **2.4 A experimentação no ensino de física**

Ainda existem educadores que fundamentam seu método de ensino em aulas tradicionais com pouco ou pouquíssimo valor significativo para o aluno. Muitas vezes dentro desse contexto, o aluno assume o papel de ouvinte, tendo que absorver o máximo possível dessas informações transmitidas (BATISTA; FUSINATO; BLINI, 2009). Não que essa metodologia não possa trazer algum aprendizado, mas é um método ultrapassado que traz ao aluno cansaço e desgaste emocional.

Segundo Batista (2009), dentro de um ensino pautado na experimentação, o professor assume um papel de mediador, e provoca no aluno o desejo pelo

aprender, gerando situações problemas que o mesmo buscará soluções, e quando necessário orientá-lo no sentido de tomar as decisões pertinentes para que atinja o máximo possível dentro dos resultados esperados. Neste sentido, a atividade experimental proporciona um significado à aprendizagem da ciência.

Portanto podemos afirmar que o ensino de física, respaldado nos experimentos que a disciplina nos permite fazer, traz ao aluno, além de um interesse maior pelas informações que estão sendo transmitida pelo professor, um melhor aproveitamento dos temas propostos, e conseqüentemente um aprendizado mais eficiente e menos cansativo.

Trabalhar a disciplina de física a partir da experimentação, não é uma estratégia moderna de ensino, pois há relatos de ensino, a partir de experimentos, feitos há muitos anos e que já apontavam a necessidade dos experimentos físicos como uma metodologia diferenciada no aprendizado (BATISTA; FUSINATO; BLINI, 2009).

Isso nos permite acreditar que os experimentos na disciplina de física, vem trazer ao educando uma compreensão mais ampla do conteúdo que está sendo ensinado, proporcionando assim uma visão diferenciada da disciplina por parte do aluno e despertando um desejo e interesse pelo aprender.

## **2.5 A tecnologia no âmbito escolar**

A realidade educacional do país, nos revela uma escola com dificuldades de adaptação as inovações tecnológicas que a sociedade exige. Essas dificuldades muitas vezes existem, não porque o governo não proporciona os recursos necessários, mas sim, pelo fato do professor se abster dessas inovações em suas aulas, vivendo em uma zona de conforto que o deixa alheio a esse mundo tecnológico, onde os recursos tecnológicos são abundantes no mercado e a oferta de aplicativos para o auxílio em nossa vida são os mais diversos (VENÂNCIO, 2010).

Existe uma necessidade real de o professor acompanhar essa mudança tecnológica que a sociedade promove e adaptar-se a essa nova realidade trazendo para as suas aulas esses recursos tecnológicos, que farão com que as mesmas saiam daquele padrão, de certa forma arcaico e se insira a uma realidade



tecnológica que cada vez mais se torna obrigatória nos âmbitos escolares (ESTEVE, 1995; VENÂNCIO, 2010).

“A educação tecnológica é uma das possíveis vias para preparar os agentes sociais do século XXI a viverem numa sociedade onde todos os seus membros tenham acesso aos benefícios da tecnologia”, criando uma nova consciência sobre o verdadeiro papel da tecnologia, tendo como prioridade atender às necessidades de toda sociedade por meio de uma educação mais humanista e abrangente, que desenvolva conhecimentos tecnológicos adequados para atender às necessidades dos seres humanos e não apenas do mercado (DE SOUSA; MOITA; CARVALHO, 2011, p. 20).

Ignorar essa revolução tecnológica que o mundo está vivendo, e continuar em uma zona de conforto com aulas tradicionais e cansativas, é um retrocesso e conseqüentemente alienar-se a esse contexto inovador.

Segundo Venâncio (2010), cabe ao professor despertar no aluno esse interesse pela tecnologia. E ficar fora desses avanços tecnológicos, que constantemente chegam as escolas, sob a forma de projetos científicos, feiras e parcerias, se torna um prejuízo imenso aos alunos, pois os mesmos permitem ao educando a fazerem parte desse mundo tecnológico, tão atrativo. Participar desse mundo tecnológico, é permitir ao aluno que se aposses de informações e conhecimentos que trarão ao mesmo, benefícios incontáveis para sua vida acadêmica.

A Secretaria de Estado da Educação do Paraná, começou a introduzir nas escolas no ano de 2022, as *TVs Educatrons*, como um auxílio às aulas, no sentido de ofertar mais um recurso tecnológico para o enriquecimento dos conteúdos trabalhados. O professor dispõe desse recurso tecnológico, mas fica evidente que o recurso por si só não produzirá os resultados esperados, se faz necessário que o professor se atualize com relação ao uso do mesmo para que possa assim extrair o máximo de informações que o meio permite.

O governo e a sociedade estão, aos poucos, levando esses instrumentos para a sala de aula, mas não é suficiente. Para uma boa utilização desses equipamentos, é necessário ter professores que saibam como aproveitá-los para enriquecer suas aulas. Para tanto, o professor, além de ter os objetivos bem claros, precisa dominar os recursos tecnológicos existentes. Infelizmente, se os professores não quiserem utilizar estes recursos, ou por se sentirem ameaçados, ou por se amedrontarem diante deste desafio, teremos grandes quantias desperdiçadas (VENÂNCIO, 2010, p. 14).

Se analisarmos a realidade educacional no país, vemos que existe uma necessidade de um elo entre a sociedade e escola. Esta possui o papel de

transformar a sociedade como um todo, e é através da educação que a sociedade sofre as transformações necessárias e suficientes para que os avanços tecnológicos alcancem os objetivos esperados (VENÂNCIO, 2010).

## 2.6 As TDIC's no contexto educacional

Na Fotografia 1 observamos um ambiente de ensino onde notamos a utilização de ferramentas de tecnologia de informação e comunicação como facilitadores do ensino e aprendizagem e um professor intermediando o processo de ensino (ARNALDO, 2021). Essas inovações tecnológicas a qual a nossa sociedade vem passando, exigem que cada vez mais nos atualizemos e nos mantenhamos assim, para que não fiquemos fora desse mundo globalizado, que nos permitem viajar de um lado ao outro do planeta num piscar de olhos.

**Fotografia 1 - Ambiente de ensino.**



**Fonte: Colégio Arnaldo (2021).**

Por mais que esses recursos tecnológicos sejam usados em sua grande parte no campo do entretenimento, como jogos, games e vídeos, muitos estudantes e pesquisadores de um modo em geral, se beneficiam desse recurso para aprimorarem suas fontes de informações e manterem-se atualizados (MELO *et al.*, 2020).

As supostas dificuldades que o ensino da física nos traz, muitas vezes por não darmos a ela a atenção devida ao seu contexto teórico, tem sido de certa forma, superadas com a introdução de tecnologias de informação e comunicação (TDIC'S) para o auxílio na compreensão de conteúdos, que até então se tornavam extremamente desgastantes para o aluno.

Os experimentos com cordas vibrantes e tubos sonoros, temas desse material de pesquisa, são exemplos do quanto se beneficiará o professor que no futuro vier a utilizar-se desse recurso tecnológico como material de auxílio para suas aulas, deixando-as mais atrativas e menos monótonas.

Dessa forma as TDIC'S foram apresentadas como uma ponte entre a realidade dos alunos e a realidade científica. Apesar dos objetos de aprendizagem (OA) serem geralmente bem complexo, os alunos gostam dos desafios e ao mesmo tempo se tornou divertido e curioso tais OA, de forma que os mesmos aprenderam muitos outros conhecimentos como: mexer no computador, aprender física, trabalhar em grupo, ler mais, e procurar nos sites de pesquisa temáticas relacionadas ao tema estudado (SANTOS; OLIVEIRA, 2012, p. 6).

Portanto, o uso desses recursos não vem somente para tornar as aulas diferentes, mas, para torná-las além de diferentes, mais eficientes e extrair mais de cada conteúdo apresentado pelo professor.

O uso dessas tecnologias fez despertar em alguns alunos, não somente o gosto pela física, mas os incentivaram na arte da pesquisa, fazendo-os a criar hábitos de pesquisa pela internet que até então não possuíam (SANTOS; OLIVEIRA, 2012).

É interessante ressaltar que o uso de computadores, por exemplo, faz com que as atividades das aulas de física com esse recurso, tornem-se mais interessantes, pois se trata de uma tecnologia de fácil acesso, em que os alunos de um modo em geral possuem um certo domínio.

Por outro lado, se tomarmos o conteúdo de Óptica, por exemplo, que de certo modo é bem atrativo aos alunos pelas suas inúmeras maneiras de ser abordado e trabalhado com o uso das tecnologias, se o trabalharmos simplesmente com aplicação de modelos matemáticos e resolução de exercícios, deixá-lo-ia massante e de pouco interesse, pois o conteúdo ficaria restrito à resolução de exercícios e aplicações em problemas contextualizados (MELO *et al.*, 2020).

Fica claro que o uso de recursos tecnológicos em sala de aula se faz necessário, mas é importante mencionar que o que faz com que uma aula se torne atrativa e menos desgastante, não é somente o uso de um recurso diferenciado, mas a forma com esses recursos são utilizados.

Só tecnologia em demasia cansa, e só aula tradicional também, se faz necessário uma variação nas abordagens dos conteúdos para despertar nos alunos o interesse pelo conteúdo, e conseqüentemente uma melhora em seu rendimento.

## 2.7 Emprego de *smartphones* no ensino de física

Nos dias atuais, ignorarmos as tecnologias como ferramenta de auxílio em sala de aula, é estar fora da realidade a qual o mundo tecnológico proporciona a todo profissional da educação. O uso de recursos como *smartphones*, por exemplo, se tornou uma realidade nos âmbitos escolares de todo o país, segundo Perez (2016) se trata de uma valiosa ferramenta que veio para ficar. Na realidade educacional a qual vivemos, se tornou parte integrante de nossas aulas, sendo constantemente mencionados nos planos de trabalho realizados periodicamente.

Os professores usam costumeiramente seus *smartphones* para realizarem as chamadas durante as aulas, ou até mesmo para enviarem *links* para os alunos em grupos formados em sala.

Durante as aulas de física, utiliza-se com bastante frequência o recurso para acessar simuladores como *PHET* colorado entre outros. Particularmente dentro da disciplina de física, tornou-se de fundamental importância o uso de *smartphones*, pois o recurso em questão viabiliza a interatividade com os alunos, deixando as aulas mais dinâmicas e produtivas.

No entanto, é importante que se observe que uso somente da tecnologia não resolve o problema do aprendizado, que muitas vezes é crônico em algumas realidades educacionais do nosso país. Essa ferramenta é apenas um material de auxílio a qual o professor deve utilizar explorando ao máximo seus recursos disponíveis.

De acordo com Perez (2016), o aluno deve ser colocado no centro desse processo de ensino aprendizagem, dando ao educando a autonomia suficiente para que seja protagonista do conhecimento absorvido, e não um mero ouvinte como acontece com frequência na educação tradicional.

Existem uma infinidade de aplicativos usados como ferramenta de auxílio, que permitem deixar as aulas mais produtivas e atrativas aos olhos de nossos alunos (MACÊDO; DICKMAN; ANDRADE, 2012). Se procurar na *Play Store* de nosso *smartphone* e efetuar uma busca por aplicativos que possam auxiliar no ensino de física, encontraremos inúmeros, entre eles, cito o *Arduino Science Journal*, que faz parte da elaboração desse material.

### 3 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).

#### 3.1 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.

$$Tf = 1 \quad (1)$$

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

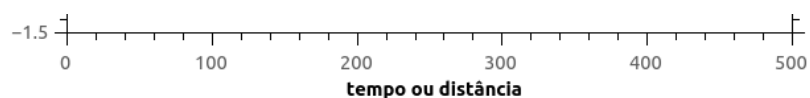
Além da Equação 1, temos a Equação 2 que relaciona a frequência e a velocidade de propagação da onda em um determinado meio material que, em alguns livros didáticos, ela recebe o nome de equação fundamental da ondulatória.

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

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).**

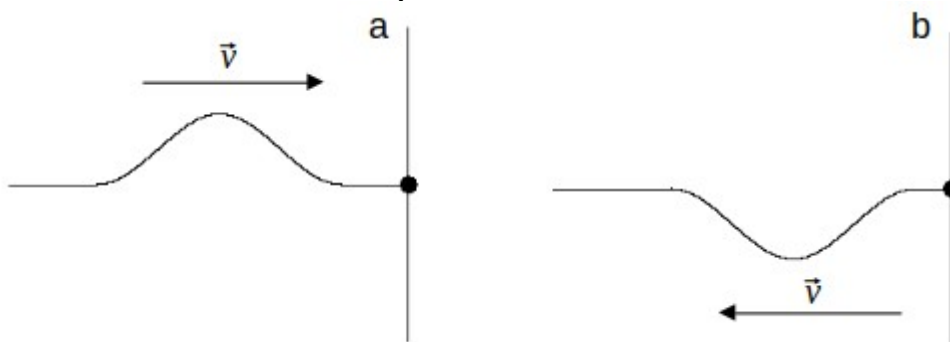
Por meio da curva, podemos localizar os principais parâmetros que podem ser utilizados para caracterizar uma onda, tais como a amplitude, que é sempre o valor máximo da intensidade da onda, a indicação de um vale, que é o ponto de mínimo da curva, uma crista, que é o ponto de valor máximo e o período ( $T$ ), 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.

### 3.2 Ondas estacionárias

Para facilitar a compreensão, vamos tomar como exemplo uma onda produzido 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.

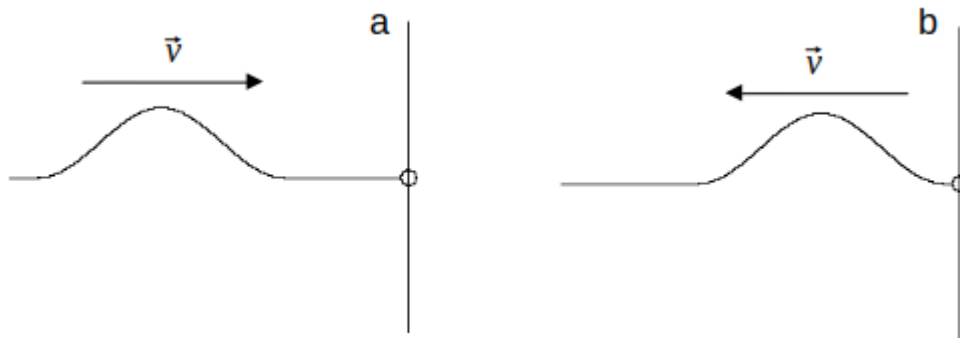


$$f = n \left( \frac{v}{2L} \right) \quad (4)$$

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.

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

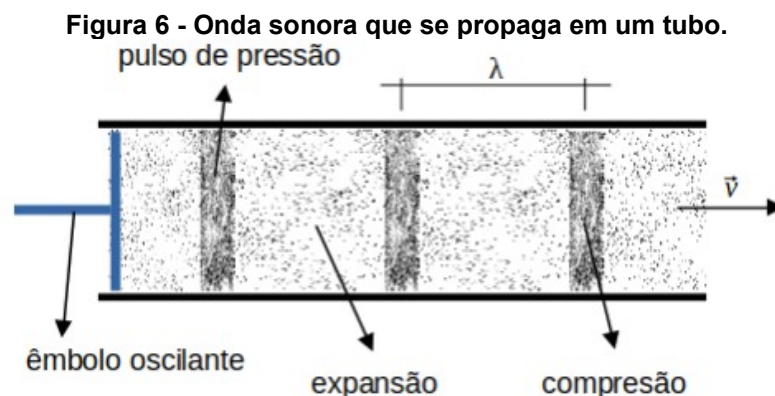
Combinando a Equação 5 com a Equação 2 obtém-se a Equação 6 em termos da frequência e da velocidade de propagação da onda na corda.

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

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).

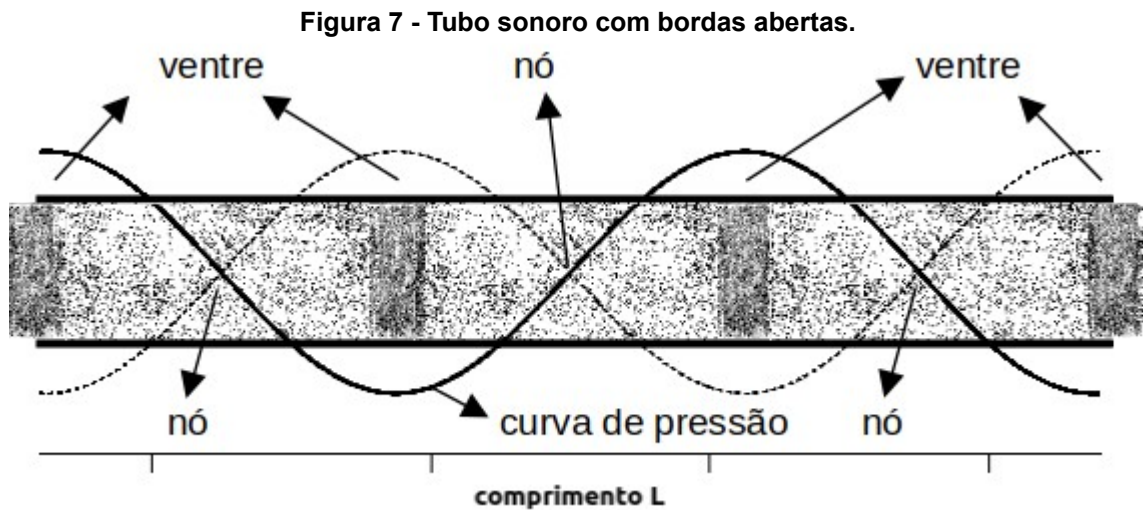
Os modos normais de vibração também podem ser observados em ondas sonoras por meio de tubos sonoros. Um tubo sonoro é qualquer tubo de comprimento  $L$  que possibilite a passagem de uma onda sonora pelo seu interior e, por meio de um tubo sonoro, percebe-se que a onda está vibrando em uma frequência 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.

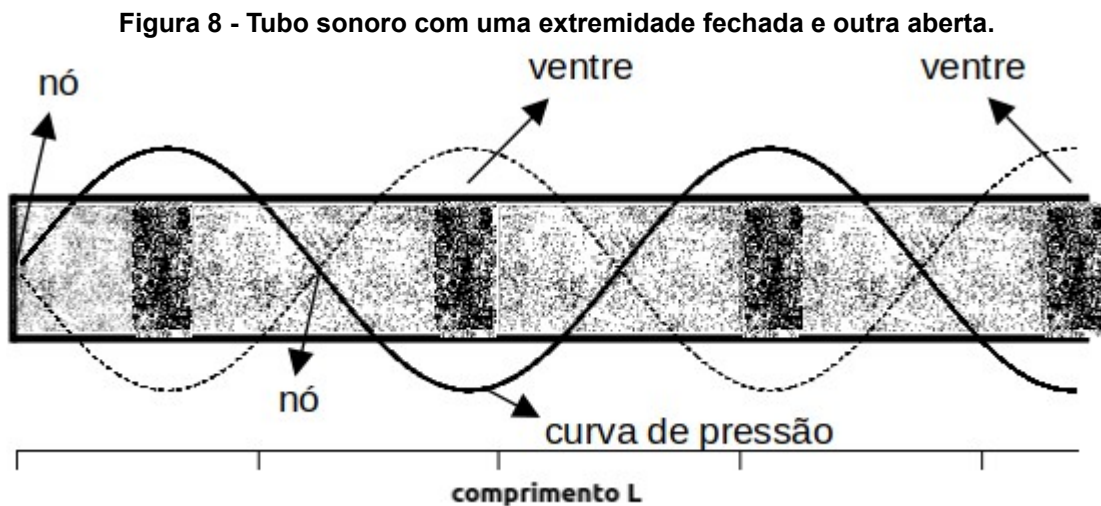


Fonte: Autoria própria (2022).

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).

## 4 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.

### 4.1 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).

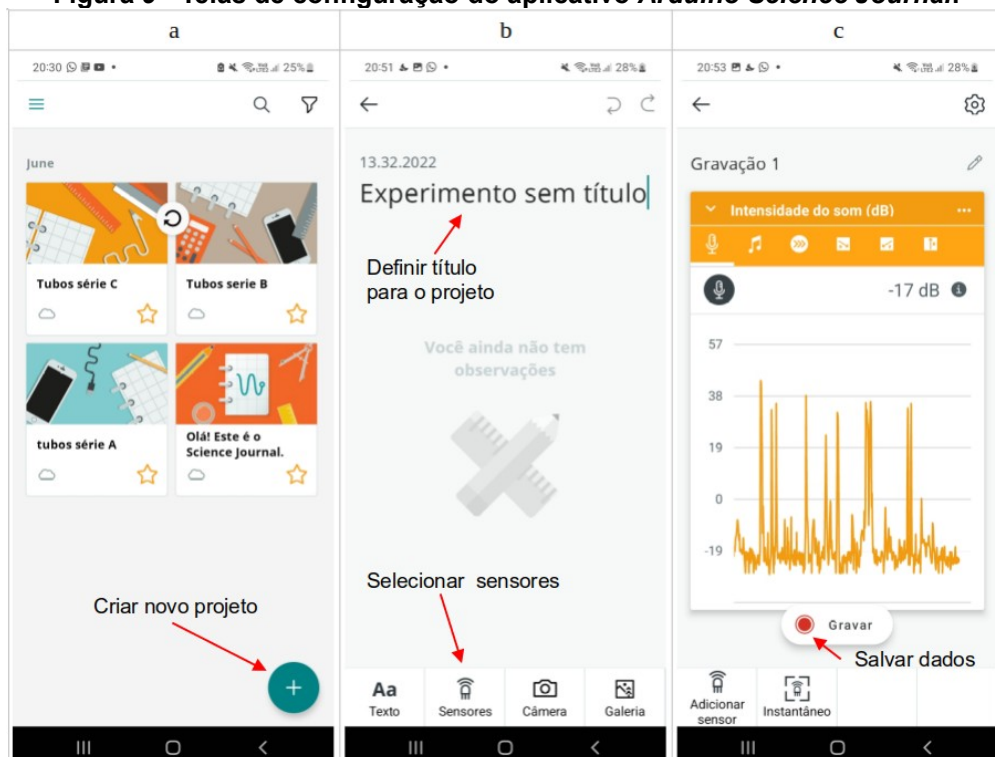
Para resolver este problema, a Google desenvolveu, em 2016, um aplicativo chamado *Science Journal* e, a partir de 2020, o aplicativo recebeu o nome de *Arduino Science Journal*. O aplicativo é gratuito e monitora, em tempo real, os diversos sensores do aparelho. No mesmo aplicativo temos um luxímetro, 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 9a 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 9b, 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 9c, para salvar os dados medidos na memória interna do aparelho e consultá-los futuramente, ou mesmo compartilhá-los por meio da *internet*.

**Figura 9 - Telas de configuração do aplicativo *Arduino Science Journal*.**



Fonte: Autoria própria (2022).

## 4.2 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.

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

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

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.

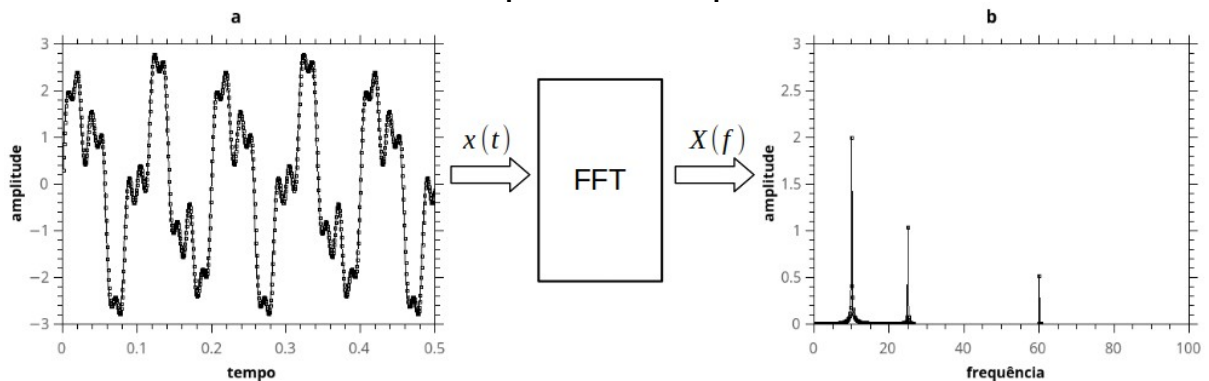
Para determinar as frequências do sinal após obtenção dos valores de  $X(m)$  devemos utilizar a Equação 10.

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

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

Na Figura 10, expomos, de forma esquemática, o que a aplicação da FFT faz em um sinal temporal. Observando a Figura 10a, 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 10b, onde podemos identificar as frequências e as amplitudes dos sinais primários que compõem o sinal original (LYNN; FUERST, 1998).

**Figura 10 - 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.

### 4.3 Validação da metodologia

Nas subseções a seguir, expomos os materiais e os métodos empregados por nós para viabilizar o uso do *smartphone* mediado pelo aplicativo *Arduino Science Journal* como ferramenta para medir a velocidade do som no ar e, assim, torná-lo um instrumento de ensino e aprendizagem.

#### 4.3.1 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 Vinyl 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 7, 8 e 9).

**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).



### 4.3.2 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 2 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 2 - 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

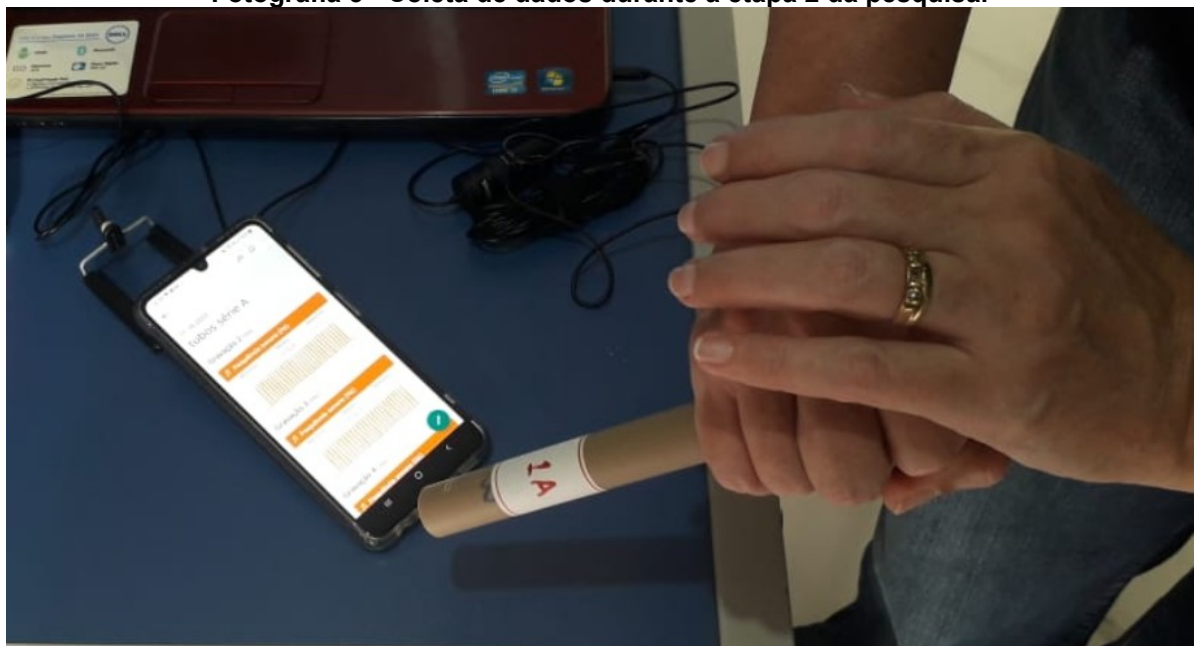
de ser um valor padrão para gravação de áudio, ela é cerca de 110 vezes maior que as frequências de ressonância que são objetos de investigação neste trabalho, em que a maior delas, é próximo de 400 Hz e, assim, evitando o efeito *aliasing* (LYNN; FUERST, 1998).

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 3, mostramos a configuração do experimento em que o coletor de informações é o *Arduino Science Journal* intermediado pelo *smartphone*.

**Fotografia 3 - Coleta de dados durante a etapa 2 da pesquisa.**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

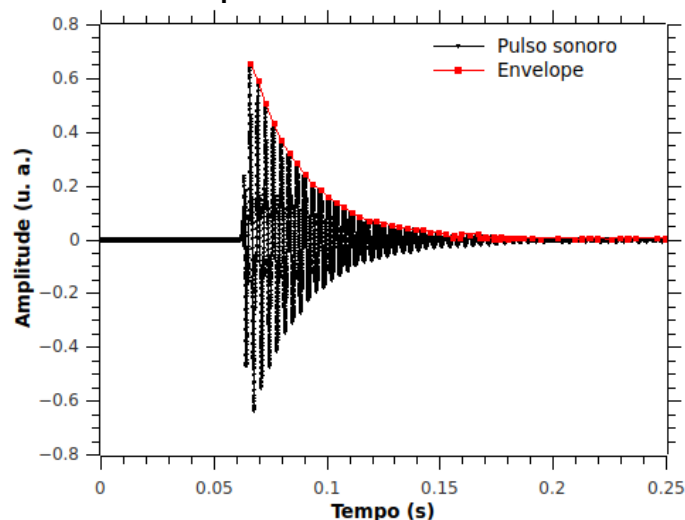
### 4.3.3 Processamento dos dados e discussões

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 e, no APÊNDICE B, as informações sobre os demais tubos (Gráficos 7, 8 e 9).

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.**

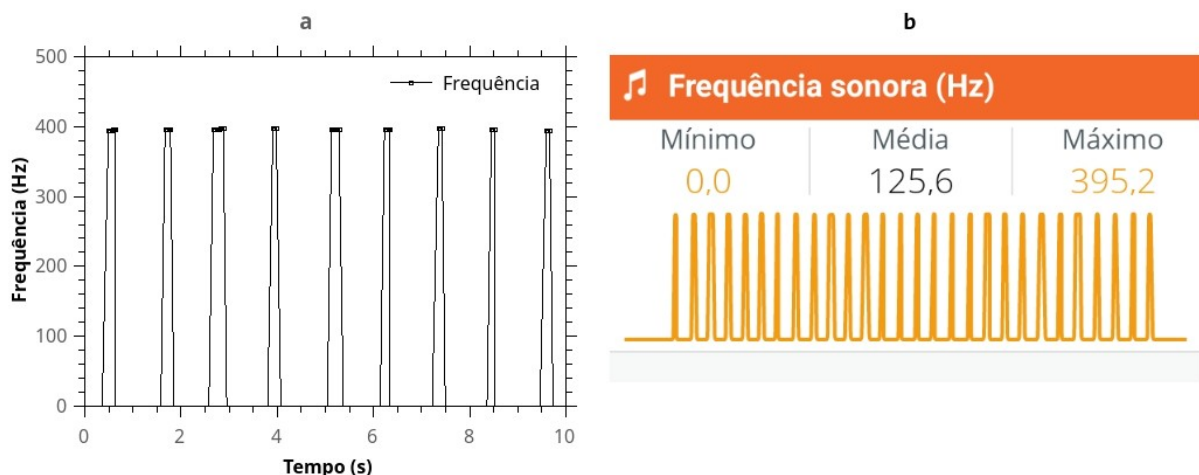


Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com os procedimentos experimentais descritos anteriormente (Seção 4.3.2), 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 frequencímetro 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*.**



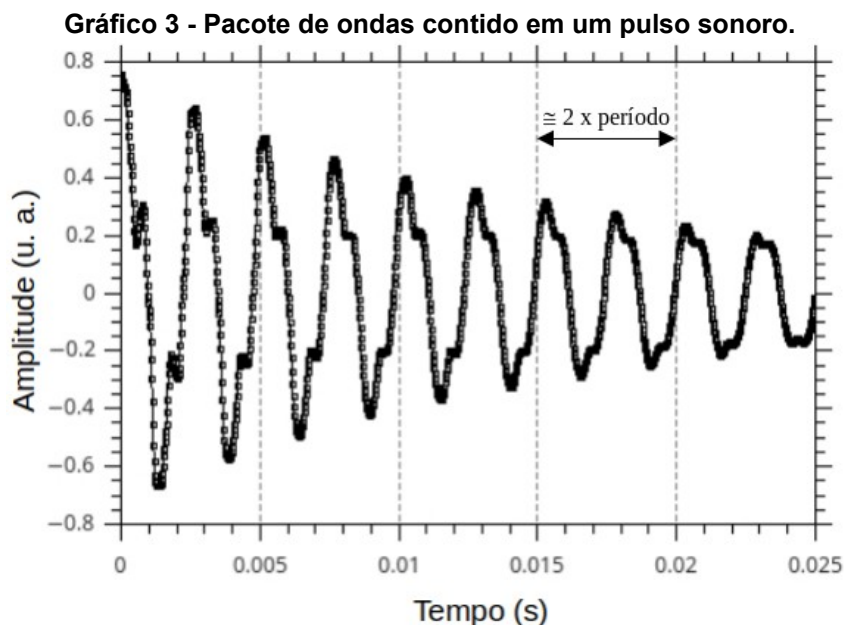
Fonte: Autoria própria (2022).

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).

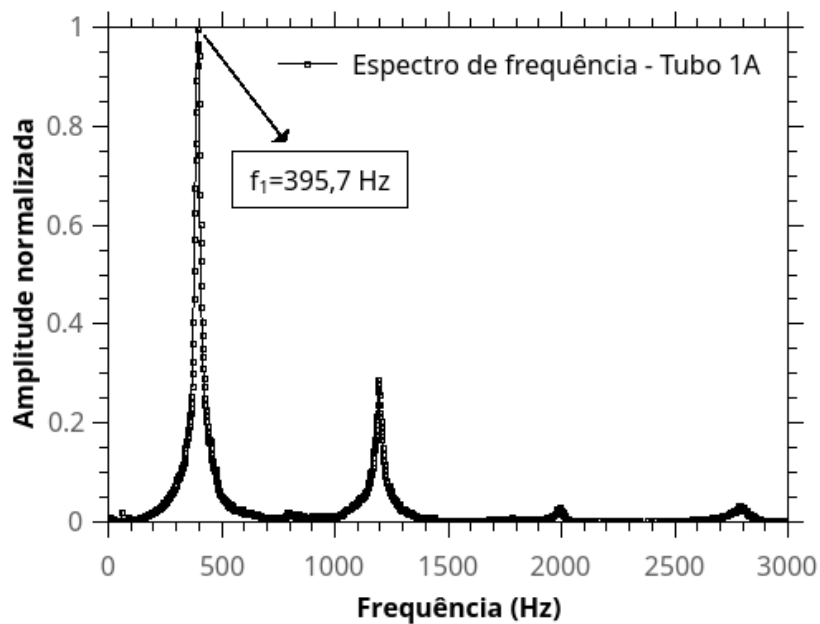


Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com a fundamentação teórica descrita na Seção 4.2, 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.**



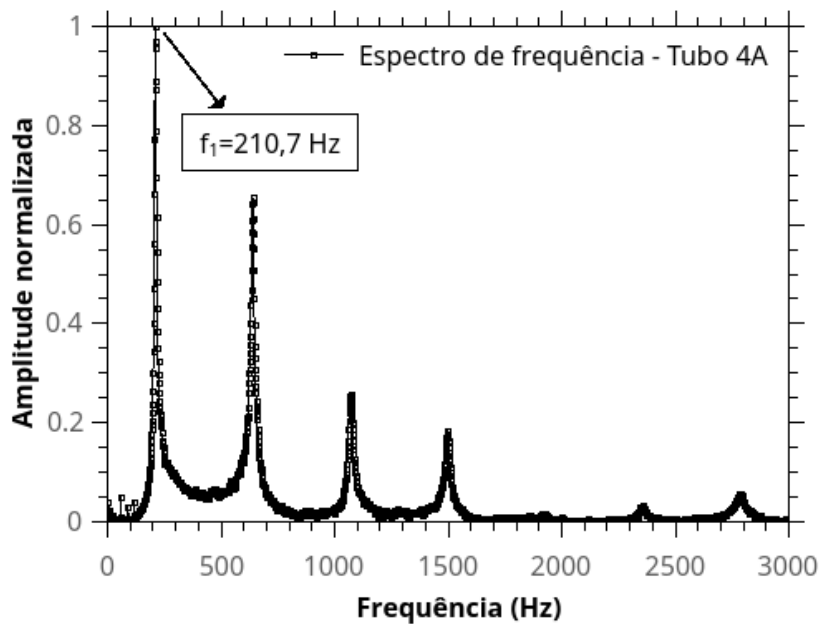
Fonte: Autoria própria (2022).

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 3.2 e 4.2. 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 3, 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.

#### 4.4 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).**

## 5 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO NO ENSINO

No presente trabalho de pesquisa, desenvolvemos, em sua maior parte, uma abordagem qualitativa e, para finalização, empregamos uma breve análise quantitativa na parte onde é necessário determinar a velocidade do som no ar. Na parte qualitativa da pesquisa, os procedimentos foram aplicados no estudo de ondas mecânicas envolvendo cordas vibrantes para possibilitar uma investigação contextualizada dos fenômenos ondulatórios e, assim, descrever o cenário de estudo dentro de uma perspectiva dos participantes e à luz da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel.

Com relação à parte quantitativa do trabalho, os dados foram construídos para confrontar nossas hipóteses de utilização do *smartphone* como ferramenta de ensino e aprendizagem devido ao seu rico potencial de fornecer dados que sustentam análises qualitativas. Os dados utilizados para corroborar as hipóteses e posterior confecção do produto educacional, que é um dos objetivos de trabalho, foram coletados no período letivo dos anos de 2021 e 2022 com um grupo de 26 alunos, sendo 16 meninas e 10 meninos, estudantes do segundo ano do Ensino Médio, sendo a turma composta em um total de 33 alunos matriculados, em uma instituição da rede pública de ensino da cidade de Campina da Lagoa, região centro-oeste do Estado do Paraná.

O **Colégio Estadual Campina da Lagoa** ao qual o produto educacional foi aplicado, está situado na cidade de Campina da Lagoa – PR e funciona no regime integral de ensino, conquista essa, devido ao excelente índice do IDEB junto ao NRE de 5,3, onde a meta para o município era de 5,6. O município possui um IDH de 0,71, com o agronegócio predominando na região (PARANÁ, 2021).

Para atingir os objetivos propostos na área de ensino de física, inicialmente foram feitos encontros para capacitar os alunos na utilização do aplicativo, posteriormente, um experimento sobre cordas vibrantes para descrever ondas estacionárias, modos normais de vibração e ressonância. Por fim, utilizamos o *smartphone* e o aplicativo *Arduino Science Journal*, para determinar a velocidade do som no ar em tubos sonoros.

O trabalho proposto, versa sobre a elaboração, aplicação e avaliação de um produto educacional desenvolvido com a intenção de auxiliar professores e

estudantes na abordagem de ondas mecânicas, em especial a determinação da velocidade do som no ar intermediado pelo *smartphone*.

### 5.1 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. Teve como objetivo, auxiliar os colegas educadores que desejam abordar tema de ondulatória sob um olhar diferenciado, fazendo com que o ensino da física se torne mais atrativo e menos desgastante.

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).**

### 5.1.1 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: A autoria própria (2022).

Após o planejamento, definiu-se os quatro objetivos dos encontros que são descritos a seguir:

1. Em um primeiro momento, é interessante analisar o que o aluno sabe sobre ondas, desde exemplos mais básicos, como ondas no mar, ondas de rádio ou até mesmo definições mais complexas como ondas mecânicas e suas aplicabilidades. Exemplificar para os alunos esses tipos de ondas, como elas se formam e suas funcionalidades, deixa mais atrativo o conteúdo a ser tratado. Portanto, neste encontro deve-se mapear 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;
2. No segundo encontro, já com as definições de ondas bem esclarecidas e contextualizadas, os alunos poderão compreender como os ventres se formam em uma corda. O objetivo neste encontro, é permitir que o próprio aluno obtenha o número máximo de ventres ajustando a frequência através de um potenciômetro e, assim, calcular a velocidade de propagação da onda em uma corda;
3. Para o terceiro momento, objetivo deste encontro é calcular a velocidade do som no ar. Para isso, usaremos o aplicativo *Arduino Science Journal* e alguns tubos sonoros. Nas cordas, o aluno pode ver a formação dos ventres e calcular a velocidade de propagação da onda, mas nos tubos sonoros não é possível essa análise. Com o uso do aplicativo, será possível identificar a frequência média obtida a partir das batidas em uma das extremidades do tubo. E, assim, com o auxílio de modelos matemáticos pode-se calcular a velocidade do som no ar;
4. No quarto 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, se as dúvidas foram sanadas, pois este é o momento onde os alunos poderão expor suas opiniões acerca do que foi trabalhado. 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.

## 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi proposto um questionário para obter o grau de conhecimento que os alunos tinham em relação a ondas mecânicas. Em seguida propusemos um outro questionário pós experimentos, para medirmos o grau de entendimento que os mesmos tiveram em relação aos experimentos propostos. Os questionários mencionados acima, se encontram no APÊNDICE C deste trabalho.

De forma esperada, os resultados foram bastante animadores. Verificamos que alguns conceitos sobre ondas e tubos sonoros, já haviam sido trabalhados e assimilados por uma grande maioria dos pesquisados, onde os mesmos puderam externar suas opiniões com bastante propriedade mediante às dúvidas que surgiam.

A seguir, apresentamos algumas observações catalogadas para mensurar o grau de informações que esses alunos absorveram em relação ao tema proposto:

- O aluno **R** comentou sobre ondas no forno de micro-ondas, que já havia assistido a um documentário onde falava justamente sobre esse tipo de onda;
- O aluno **J** falou dos tubos sonoros, que eram interessantes, e que agora tinha ficado claro do porque dos tamanhos diferentes dos tubos, mencionando aqueles órgãos antigos de igrejas;
- A aluna **Y** comentou que a partir de agora olhará para as ondas do mar com um olhar mais científico;
- O aluno **L** comentou que já havia assistido a um vídeo no canal *Youtube*, onde o professor calculava a velocidade de uma onda sobre uma corda, e que agora ficou ainda mais claro os conceitos de vales e ventres.

Na próxima seção, é apresentado o relato dos experimentos realizados e suas respectivas observações.

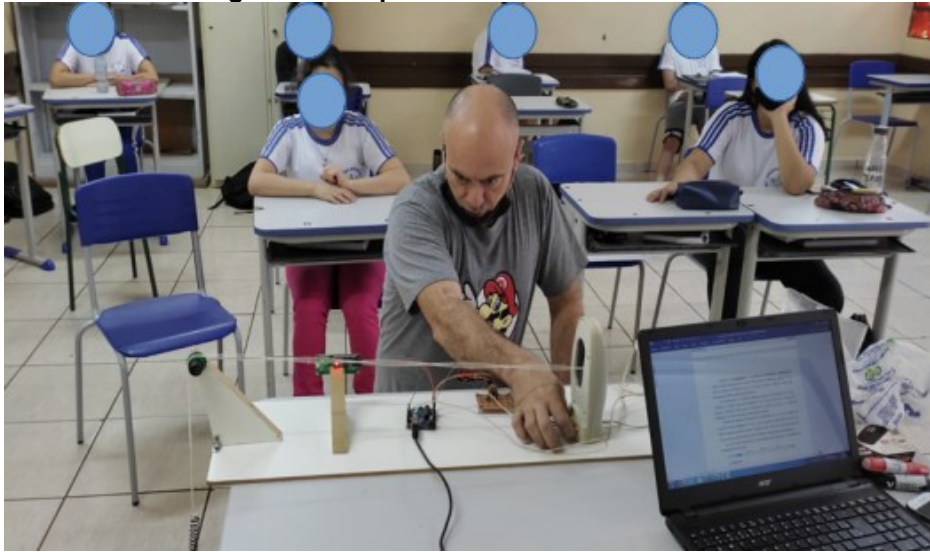
### 6.1 Experimentos e relatos

- **Experimento 1:** Ondas estacionárias em cordas vibrantes;
- **Elementos necessários:** Controle de vibração, cordas e corpos de prova;

- **Descrição:** Neste experimento, os estudantes devem observar os modos normais de vibração, e verificar a existência de ventres e nós e, assim, determinar o número de harmônicas em diferentes frequências.

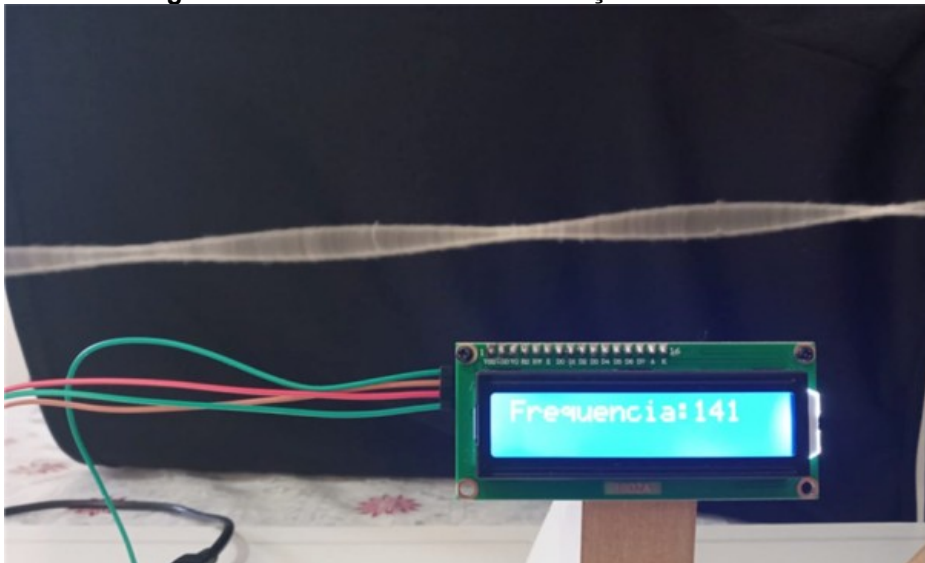
Na Fotografia 4 apresentamos a aplicação do experimento 1 em sala de aula com a observação dos alunos, enquanto na Fotografia 5, expomos um recorte do experimento em que é possível observar a formação de ventres e nós de uma onda estacionária formada na corda e sua frequência de ressonância.

**Fotografia 4 - Experimento 1: Cordas vibrantes.**



Fonte: Autoria própria (2022).

**Fotografia 5 - Modos normais de vibração em uma corda.**



Fonte: Autoria própria (2022).



O experimento teve como objetivo, possibilitar aos estudantes caracterizar os modos normais de vibração na corda. Posteriormente, estabelecer relação com os modos normais de vibração do ar nos tubos sonoros, tomando como bases, informações obtidas a partir do experimento 1.

No experimento 1, o barbante utilizado, possui um comprimento de 67 cm. Obtivemos 5 ventres para uma frequência de 141 Hz e um peso de massa 22 gramas. Além disso, observou-se que se alterar a massa do peso o valor da frequência e o número de ventres obtido sofre alterações.

A partir da equação fundamental da ondulatória (Equação 2) e com o auxílio da Equação 3 foi possível obter o valor do comprimento de onda e, assim, calcular a velocidade de propagação da onda que foi próxima de 37,8 m/s.

Como o experimento 1 trata de cordas vibrantes, entende-se que existe a necessidade de uma revisão de conceitos e aplicação de alguns exercícios, para que a teoria que aborda o tema seja trabalhada de uma maneira clara, e as possíveis dúvidas relativas a conceitos teóricos possam ser sanadas. Assim o aluno teria os pré-requisitos necessários para assimilar as informações e concretizá-las, a partir da experiência que estaria sendo aplicada.

Desta forma, foi aplicado um questionário, com perguntas previamente elaboradas, no sentido de explorar ao máximo, os conhecimentos básicos dos alunos em relação aos seus conhecimentos sobre ondas.

Algumas observações importantes, relativas as respostas dos alunos pesquisados. Nas respostas catalogadas, verificou-se que 20% não sabem o que eram ondas mecânicas. Tinham sim, uma noção do que seria ondas, mas não especificamente, ondas mecânicas.

Foi perguntado também, se fosse para exemplificar uma onda, como o fariam. Constatou-se que 80% dos entrevistados sabiam como exemplificar essa situação, alguns citaram um eletrocardiograma como sendo o melhor exemplo. Alguns citaram ondas de rádio e um aluno simplesmente disse que são vibrações.

Outra pergunta que foi feita a eles e que merece uma atenção especial, foi se eles já tinham visto uma onda. Se sim, em que situação. Aqui também um número muito alto de alunos disse que sim, cerca de 80%, e foram exemplos variados como, ondas na praia, cordas do violão e outros.

Essa análise das respostas apresentadas de uma forma muito natural pelos alunos, nos mostra que o conhecimento prévio de nossos alunos, por mais que sejam exemplos simples, nos revelam sim, que os mesmos possuem uma ótima noção do que seria onda, como exemplificar e onde encontrá-las.

Com relação a tubos sonoros, 90% dos entrevistados sabiam o que era um tubo sonoro e até exemplificaram. Foi perguntado se sabiam o que eram tubos abertos ou semiabertos. Cerca de 60% disseram sim e alguns até exemplificaram, como aqueles órgãos medievais e flautas peruanas.

Por fim, foi perguntado se sabiam como representar uma onda sonora, 80% disseram que sim, e alguns representaram o sinal de *Wi-fi*, que é uma onda eletromagnética, provavelmente por ser algo mais comum em seu cotidiano.

Ao final das discussões, percebeu-se que a maioria deles assimilaram de forma satisfatória os conceitos de onda, ondas estacionárias, modos normais de vibração e ressonância, bem como os modelos matemáticos para calcular a velocidade de propagação de uma onda.

- **Experimento 2:** Determinação da velocidade do som no ar utilizando *smartphone* com aplicativo *Arduino Science Journal* e tubos sonoros;
- **Elementos necessários:** *Smartphone* com o aplicativo *Arduino Science Journal*, trena milimetrada e tubos sonoros;
- **Descrição:** Neste experimento, os alunos devem identificar a frequência de ressonância por meio do *smartphone* e associar a ela o primeiro modo normal de vibração, para em seguida, obter a velocidade do som no ar por meio das Equações 2, 5 e 11.

Para efetivação desse experimento, foram utilizados tubos de PVC de comprimentos variados e um *smartphone* com o aplicativo *Arduino Science Journal* já baixado e instalado.

Anteriormente ao experimento, os alunos receberam instruções de como localizar e baixar o aplicativo em seu *smartphone*, bem como orientações para verificar se os aparelhos tinham espaço suficiente em suas memórias para que o aplicativo possa ser baixado e executado com sucesso.

Para realização do experimento 2, foi pedido aos alunos que baixassem o aplicativo *Arduino Science journal*, para que pudessem fazer a leitura das frequências

que seriam averiguadas por eles através dos tubos sonoros. Logo após terem baixado o aplicativo, foi explicado como o mesmo seria utilizado no experimento a qual estaríamos prestes a explorar.

Foram explicadas as funções básicas e necessárias do aplicativo, no sentido de mostrar somente o essencial das funções que o mesmo oferece, para que não se desviasse a atenção do objetivo, que era a obtenção da frequência, a partir da batida em umas extremidades do tubo sonoro.

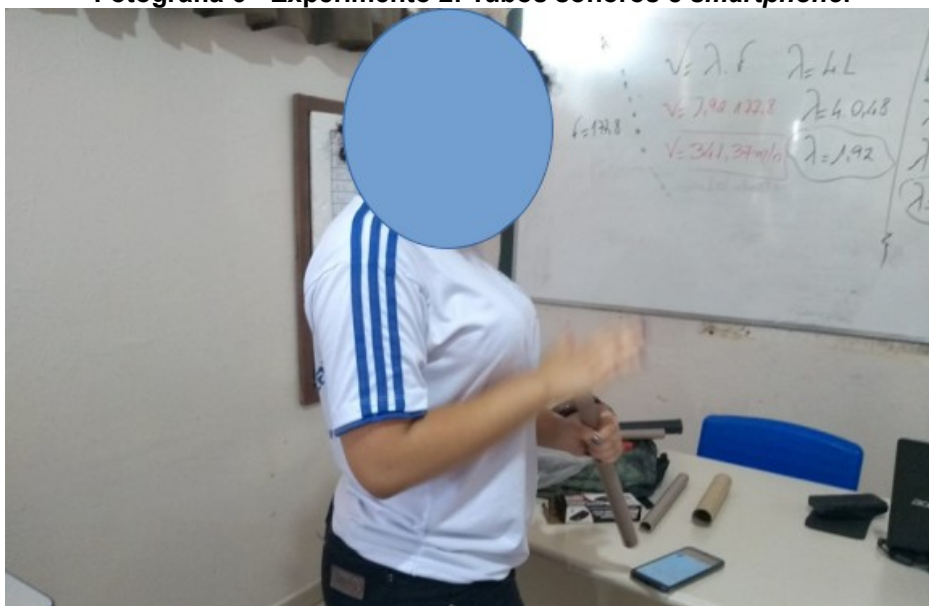
Houve uma grande empolgação por parte dos alunos, pois se tratava de um experimento que utilizaria um celular como ferramenta de auxílio, e era tudo que eles queriam. Praticamente todos se ofereceram para fazer a experiência. Foi levado a sala de aula 5 tubos, inclusive um de papelão, que um aluno tinha em sua bolsa, fruto de uma experiência de outra disciplina, que aproveitamos de imediato.

Com relação aos tubos sonoros empregados, os alunos confeccionaram quatro tubos de PVC de diâmetro nominal de 25 mm e comprimentos 30 cm, 35 cm 40,3 cm e 48 cm cuidadosamente cortados sob medida para os experimentos e, o tubo de papelão, com um comprimento de 22,5 cm.

O aplicativo *Arduino Science Journal* foi ajustado para operar na função frequencímetro que possibilita gravar qualquer ação que gera ruído sonoro próximo ao microfone do *smartphone*.

Na Fotografia 6, temos o aluno J realizando algumas batidas na extremidade de um dos tubos sonoros e, em seguida, fazendo a respectiva leitura da frequência.

**Fotografia 6 - Experimento 2: Tubos sonoros e *smartphone*.**



Fonte: Autoria própria (2022).

Ao iniciar os experimentos, com os alunos batendo em uma das extremidades, observava-se que isso gerava uma frequência diferente para cada tubo utilizado na experiência, pois cada um deles possuía um tamanho distinto, previamente determinado, para que assim, pudessemos tirar as conclusões necessárias, que viriam com o debate posterior às experiências realizadas pelos alunos.

No Gráfico 6, temos as medidas de uma amostra representativa das informações coletadas pelos alunos utilizando um tubo de comprimento 40,3 cm e o aplicativo *Arduino Science Journal*. Note que a frequência máxima indicada pelo aparelho é de 237,3 Hz, porém, a frequência que interessa é a frequência média dos picos de leitura, que é de 210,3 Hz.

**Gráfico 6 - Frequências medidas com o aplicativo *Arduino Science Journal*.**



Fonte: Autoria própria (2022).

Durante a realização dos experimentos, o aluno **R** perguntou quantas batidas seriam necessárias na extremidade do tubo, para que fosse feita uma leitura satisfatória. Foi respondido então, que a frequência independe da quantidade de batidas, mas para que pudessemos fazer algo padrão, definimos então, que batessem em média 20 vezes na extremidade dos tubos, e em seguida observassem a leitura registrada. Neste cenário, os alunos foram obtendo suas leituras de frequência, e com o auxílio das Equações 2, 5 e 11 foi possível então, calcular a velocidade de propagação som no ar.

O aluno J perguntou se nos pianos de um modo em geral, existia a necessidade dos tubos sonoros terem o mesmo tamanho, ou poderiam ter tamanhos diferentes como aqueles órgãos nas igrejas medievais.

Foi respondido que os pianos por serem instrumentos de cordas, não necessitam de tubos sonoros para propagação do som, como nos órgãos das igrejas citadas.

Na Tabela 4 expomos os valores da velocidade do som calculados pelos alunos em sala de aula por meio das Equações 2 e 5 e 11.

**Tabela 4 - Velocidade do som calculada pelos alunos em sala de aula.**

<b>Tubos</b>	<b><math>L</math> (m)</b>	<b><math>f_{sp}</math> (Hz)</b>	<b><math>\lambda</math> (m)</b>	<b><math>v_s</math> (m/s)</b>
1	0,225	393	0,9	353,7
2	0,30	286	1,2	343,2
3	0,35	243	1,4	340,2
4	0,403	210,3	1,612	339
5	0,48	178	1,92	343,7

**Fonte: Autoria própria (2022).**

Observando os valores de velocidade do som calculados pelos alunos, nota-se que para o Tubo 1 o valor destoa dos demais. Isso pode ser devido ao fato do tubo de papelão deslizar com facilidade nas mãos, gerando assim, ruídos extras que prejudicam a medida realizada pelo *smartphone*. Os demais valores obtidos estão de acordo com as previsões descritas na literatura.

## **6.2 Relatos finais dos experimentos**

Após realização dos experimentos 1 e 2, foi apresentado um questionário que teve como objetivo, sanar as possíveis dúvidas que alunos ainda poderiam ter com relação ao conteúdo de ondas, principalmente referente a cordas vibrantes e tubos sonoros.

As respostas foram surpreendentes, todos os alunos afirmaram que houve uma assimilação por completo referente aos experimentos, principalmente pela forma com que eles foram conduzidos. A participação constante dos alunos nos experimentos fez a diferença, pois mesmo aqueles supostamente mais tímidos, deram sua parcela de contribuição.

Os alunos se mostraram muito prestativos no sentido de participarem dos experimentos, tanto no primeiro quanto no segundo. A participação foi excelente, alguns relataram que nunca tinham visto ondas sob aquela perspectiva, como foi apresentada, no caso de cordas vibrantes.

O aluno **R** diz que agora faz sentido porque as cordas de um violão, por exemplo, precisam ter uma afinação individual. Ficou claro para ele após o experimento de tubos sonoros, que cada corda, ao ser ajustada na frequência ideal, possui uma frequência diferente para que assim os sons emitidos por ela, em conjunto com as demais, venham gerar as notas musicais como conhecemos, assim temos um som mais agradável aos ouvidos.

O aluno **J** disse que ficou claro para ele após o experimento de tubos sonoros, a diferença entre os órgãos clássicos e os pianos, que são instrumentos de corda. Até então o aluno acreditava que se tratasse do mesmo tipo de instrumento musical.

Alguns alunos relataram a importância que os experimentos nas aulas de física exercem na compreensão dos conteúdos abordados pelos professores. “A aula fica mais dinâmica, entendemos melhor e mais rápido o objetivo do conteúdo que está sendo proposto. Não fica só nas fórmulas no quadro, na verdade as fórmulas passam a ficar em segundo plano”, (aluno **J**, 2ºB, 2021).

Portanto concluímos que os experimentos nas aulas de física, são de suma importância na aquisição de novos conhecimentos por parte do aluno. Quando esses conteúdos aqui abordados servirem de pré-requisitos para outros conteúdos que virão, certamente estarão gravados de uma maneira mais lúdica no cognitivo do aluno. Esse conhecimento virá pela necessidade de absorção de informação, e não simplesmente por fazer parte de um currículo pedagógico.

Dessa forma, os subsunçores tão necessários para que o educando possua uma crescente evolução no seu conhecimento, são absorvidos de uma forma mais natural e agradável.

## 7 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.
- ARNALDO, C. **Tecnologia na educação: por que escolher um colégio pensando nisso?** Disponível em: <https://blog.colegioarnaldo.com.br/tecnologia-na-educacao/>.
- AUDACITY, T. **Audacity**. Disponível em: <https://www.audacityteam.org/>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980.
- BARBOSA, J. F.; JOAQUIM, W. M. **Aprendizagem significativa de ausubel no ensino da física**. Uberaba: [s.n.]. Disponível em: <http://dSPACE.uniube.br:8080/jspui/handle/123456789/1774>.
- BATISTA, M. C.; FUSINATO, P. A.; BLINI, R. B. **Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de física**. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, v. 31, n. 1, 16 jun. 2009.
- 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\\_sit e.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_sit e.pdf). Acesso em: 11 nov. 2022.
- BUZZO, A. S.; TREVISIO, V. C. **Pedagogia do Aprender a Aprender: uma forma de superação de problemas ou a permanência deles**. *Cadernos de Educação: Ensino e Sociedade*, v. 3, n. 1, p. 302–314, 2016.
- CANONICAL LTD. **QtiPlot - Data Analysis and Scientific Visualisation**. Disponível em: <https://www.qtiplot.com/>. Acesso em: 11 nov. 2022.
- DUARTE, N. **O Construtivismo: suas muitas faces, suas filiações e suas interfaces com outros modismos**. *Revista Brasileira de Educação*, v. 18, 2001.
- ESTEVE, J. M. **Mudanças sociais e função docente**. Porto: Porto Ed, 1995.
- FERNANDES, E. **Nova Escola**. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa>. Acesso em: 14 dez. 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

- JESUS, M. A. S. DE; SILVA, R. C. O. **A Teoria de David Ausubel - O uso dos organizadores prévios no ensino contextualizado de funções**. VIII ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA. **Anais...**Recife: 2004. Disponível em: <http://www.sbem.com.br/files/viii/pdf/03/MC05002402801.pdf>
- KENSKI, V. M. **Tecnologias e ensino presencial e a distância**. São Paulo: Papyrus Editora, 2013.
- LYNN, P. A.; FUERST, W. **Introductory Digital Signal Processing with Computer Applications**. 2. ed. New York: Wiley, 1998.
- MACÊDO, J. A. DE; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S. F. DE. **Simulações Computacionais como Ferramentas para o Ensino de Conceitos Básicos de Eletricidade**. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 0, p. 562–613, 8 out. 2012.
- MELO, R. B. DE F. *et al.* **As TIC no Ensino de Física: Relato de experiência com os conteúdos de ótica**. Conedu - VII CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. **Anais...**Maceió - AL: 2020.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica**. III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, n. lii, p. 33–45, 2010.
- PARANÁ. **IPARDES**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87345&btOk=ok>. Acesso em: 7 ago. 2021.
- PEREZ, M. C.; VIALI, L.; LAHM, R. A. **Aplicativos para Tablets e Smartphones no Ensino de Física**. **Revista ciências & ideias**, v. 7, n. 1, 2016.
- REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. **Foundations of Electromagnetic Theory**. 4. ed. San Francisco: Addison-Wesley Publishing Company, USA, 2008.
- SANTOS, J. C. F. DOS. **Aprendizagem Significativa: modalidades de aprendizagem e o papel do professor**. Porto Alegre: Mediação, 2008.
- SANTOS, I. T. C.; OLIVEIRA, C. A. DE. **O Ensino de Física Mediado Pelas Tecnologias da Informação e Comunicação**. VI COLÓQUIO EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE. **Anais...**São Critovão: 2012. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10179/94/115.pdf>
- SOUSA, R. P. de; MOITA, F. M. G. S. C. da; CARVALHO, A. B. G. **Tecnologias digitais na educação**. Campina Grande: Eduepb, 2011.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros: eletricidade e magnetismo, óptica**. vol. 2. São Paulo: Grupo Gen - LTC, 2011.
- VENÂNCIO, A. J. **A Realidade Educacional no Contexto do Desenvolvimento Tecnológico**. **Processando o Saber**, v. 2, 2010.
- ZABALA, A. **A Prática Educativa: Como Ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

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

Fotografia 7 - Tubos sonoros do grupo A.



Fonte: Autoria própria (2022).

Fotografia 8 - Tubos sonoros do grupo B.



Fonte: Autoria própria (2022).

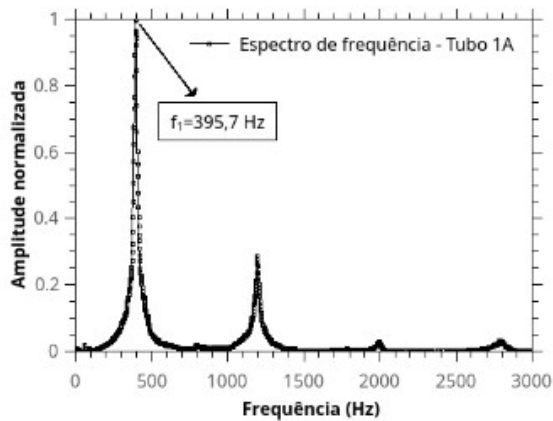
Fotografia 9 - Tubos sonoros do grupo C.



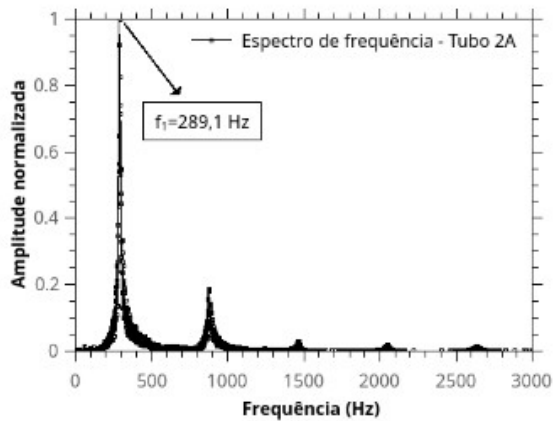
Fonte: Autoria própria (2022).

## **APÊNDICE B — Espectros de frequência**

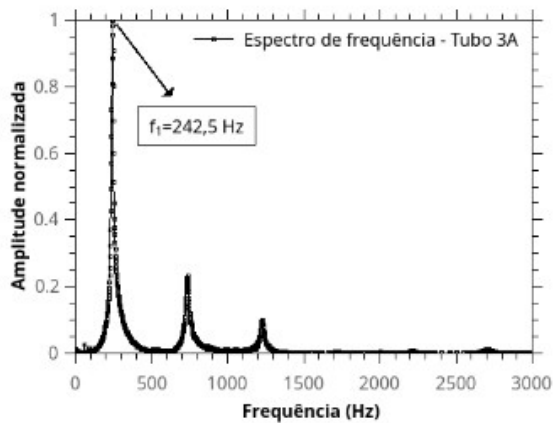
Gráfico 7 - Espectros de frequência dos tubos sonoros do grupo A e as frequências medidas por meio do *smartphone*.



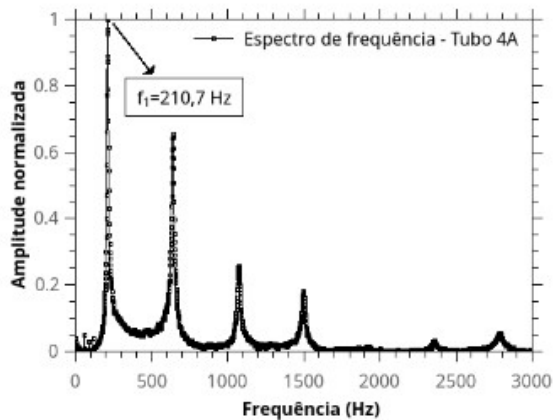
Tubo 1A (29s)



Tubo 2A (28s)



Tubo 3A (28s)

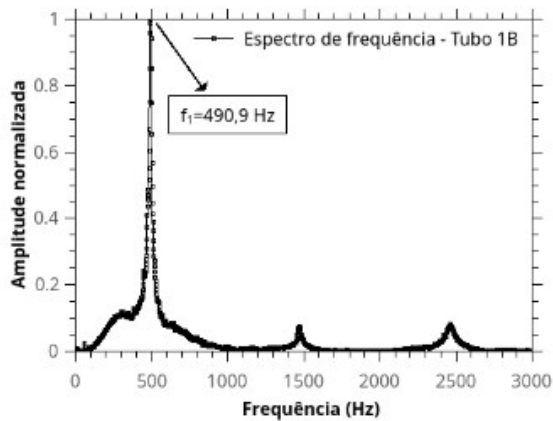


Tubo 4A (34s)

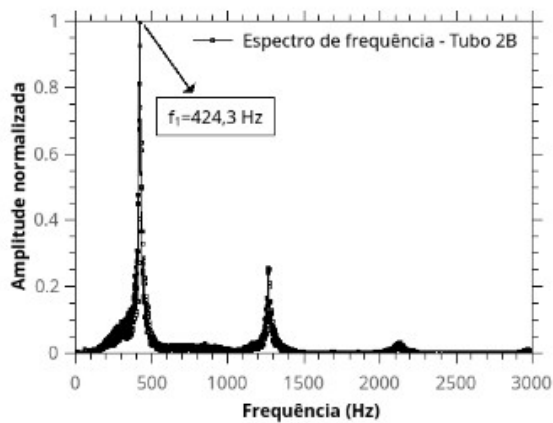


Fonte: Autoria própria (2022).

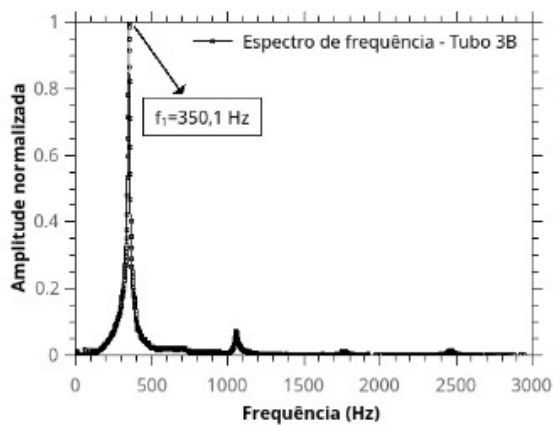
**Gráfico 8 - Espectros de frequência dos tubos sonoros do grupo B e as frequências medidas por meio do *smartphone*.**



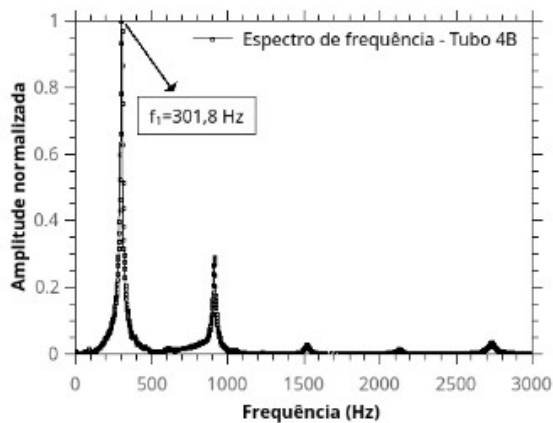
**Tubo 1B (28s)**



**Tubo 2B (27s)**



**Tubo 3B (26s)**



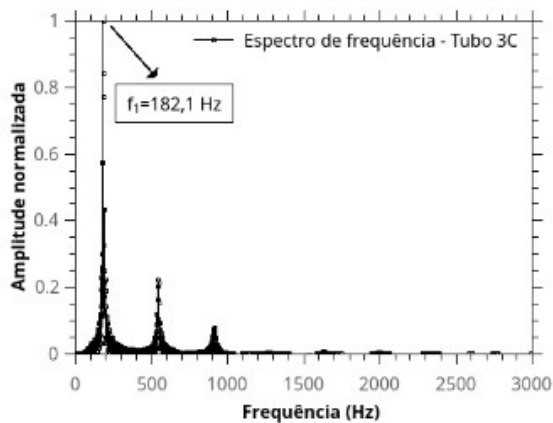
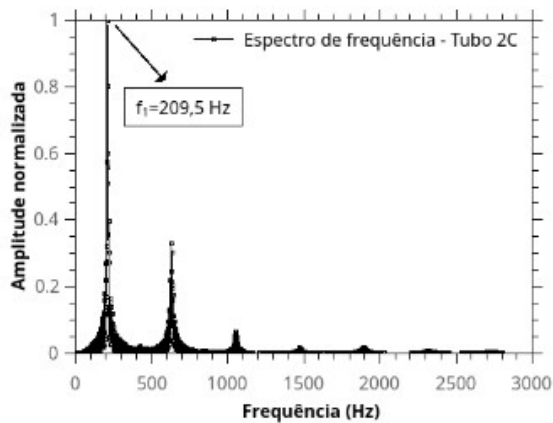
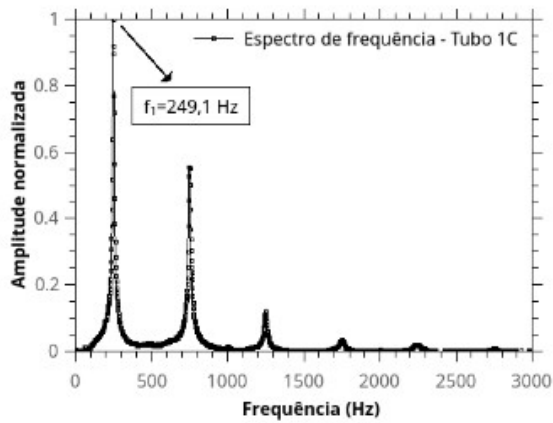
**Tubo 4B (26s)**



Fonte: Autoria própria (2022).



**Gráfico 9 - Espectros de frequência dos tubos sonoros do grupo C e as frequências medidas por meio do *smartphone*.**



Fonte: Autoria própria (2022).

## **APÊNDICE C — Questionários**

**Quadro 3 - Questionário para levantamento de conhecimentos prévios.**  
**QUESTIONÁRIO SOBRE CONHECIMENTOS PRÉVIOS DE ONDULATÓRIA**  
**TURMA: 2ºs ANOS A/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> <b><u><a href="#">Conceito de onda.</a></u></b>
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).**

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

<b>Assista ao vídeo a seguir e responda as questões.</b> <b><u><a href="#">Velocidade de propagação de uma onda.</a></u></b>
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).**

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

<b>Assista ao vídeo a seguir e responda as questões.</b> <b><u><a href="#">Ondas estacionárias em cordas.</a></u></b>	
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 $\lambda = 2 \cdot L/n$ determine a velocidade de propagação de uma onda com os dados extraídos do experimento 1.	

**Fonte: Autoria própria (2022).**

**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).**

**Quadro 8 - Questionário para aplicação após realização das atividades.****QUESTIONÁRIO PÓS EXPERIMENTOS**

1. Os experimentos em cordas vibrantes e tubos sonoros contribuíram para uma melhor compreensão sobre ondas mecânicas?

- ( ) Sim;
- ( ) Não;
- ( ) Não sei responder;

2. Com base nos experimentos e, com auxílio das equações matemáticas, você saberia como calcular a velocidade de propagação de uma onda em uma corda?

- ( ) Sim, com certeza;
- ( ) Teria certas dificuldades;
- ( ) Não saberia;

3. Após o experimento sobre tubos sonoros, você é capaz de entender por que as flautas de Pã (peruanas) possuem tubos de tamanhos diferentes?

- ( ) Sim, claramente;
- ( ) Não entendi a pergunta;
- ( ) Não sei;

4. Após o experimento sobre cordas vibrantes e, debates com os alunos sobre a apresentação, você teria condições de encontrar o número de ventres no barbante?

- ( ) Sim, sem dificuldades;
- ( ) Acredito que sim;
- ( ) Não saberia;

5. Com base no experimento com tubos sonoros, você consegue verificar as características entre tubos abertos, semiabertos e fechados?

- ( ) Sim, com certeza;
- ( ) Ainda tenho dúvidas;
- ( ) Não sei responder;

6. Com relação aos experimentos sobre cordas vibrantes e tubos sonoros, de forma simples e clara, como você avalia o trabalho do professor?

- ( ) Muito bom, esclarecedor;
- ( ) Poderia ter sido mais claro;
- ( ) Não contribuiu para o meu conhecimento;

**Fonte: Autoria própria (2022).**

**APÊNDICE D — Produto educacional**

**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>

## 8 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.

## 9 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).

### 9.1 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 12.

$$T f = 1 \quad (12)$$

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

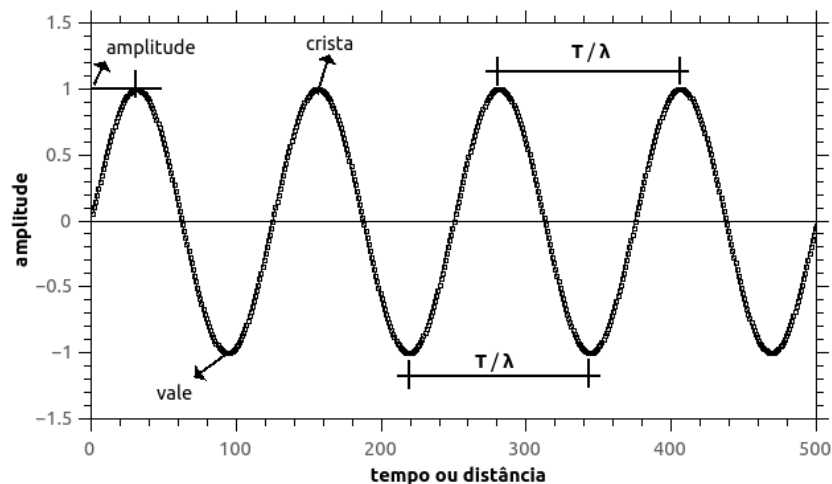
Além da Equação 12, temos a Equação 13 que relaciona a frequência e a velocidade de propagação da onda em um determinado meio material que, em alguns livros didáticos, ela recebe o nome de equação fundamental da ondulatória.

$$v = \lambda f \quad (13)$$

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 11.

**Figura 11 - Curva de uma função de onda e suas principais características.**



Fonte: Autoria própria (2022).

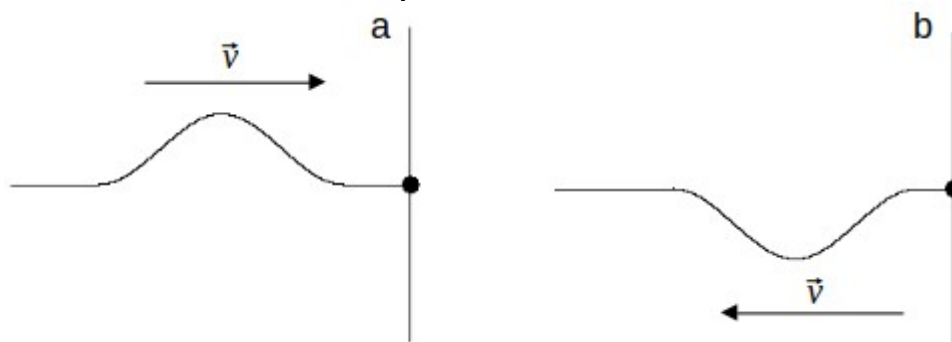
Por meio da curva, podemos localizar os principais parâmetros que podem ser utilizados para caracterizar uma onda, tais como a amplitude, que é sempre o valor máximo da intensidade da onda, a indicação de um vale, que é o ponto de mínimo da curva, uma crista, que é o ponto de valor máximo e o período ( $T$ ), 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.

## 9.2 Ondas estacionárias

Para facilitar a compreensão, vamos tomar como exemplo uma onda produzida em uma corda. Na Figura 12a, 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 12 - Pulso em uma corda com extremidade fixa. (a) pulso incidente, (b) pulso refletido.**



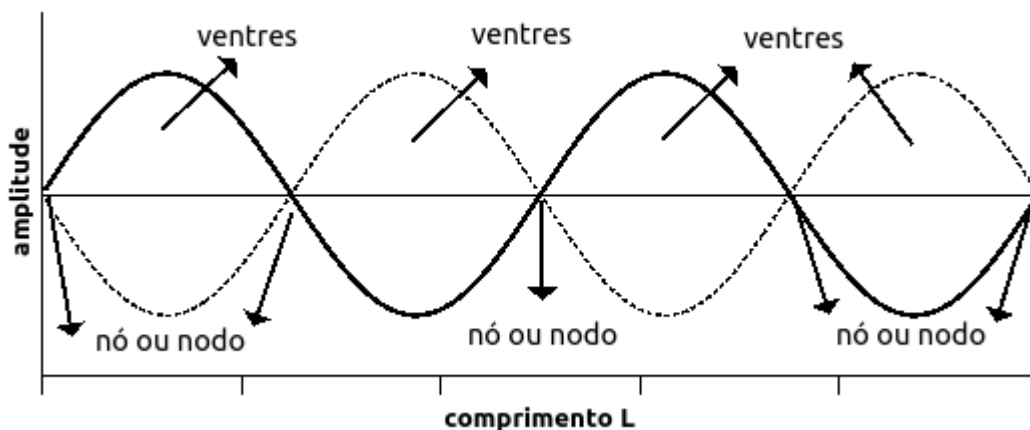
Fonte: Autoria própria (2022).

Neste caso, quando o pulso atinge a parede, ele sofre uma reflexão e retorna invertido, conforme indicado na Figura 12b. 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 13. 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 13 - Onda estacionária em uma corda com extremidades fixas.



Fonte: Autoria própria (2022).

Quando a corda assume uma configuração similar àquela apresentada na Figura 13, 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 14.

$$\lambda = 2 \frac{L}{n} \quad (14)$$

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 13, a corda está vibrando no quarto harmônico e temos  $\lambda = L / 2$ .

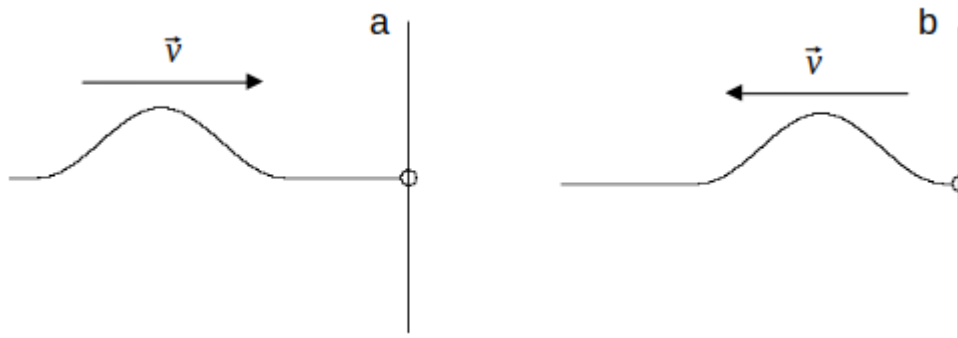
Podemos utilizar a Equação 13 e escrever a Equação 14 em termos da frequência e da velocidade de propagação da onda para obter a Equação 15.

$$f = n \left( \frac{v}{2L} \right) \quad (15)$$

A partir da Equação 15, 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 14a, observa-se que o pulso incidente representado reflete sem sofrer inversão como pode ser visto na Figura 14b.

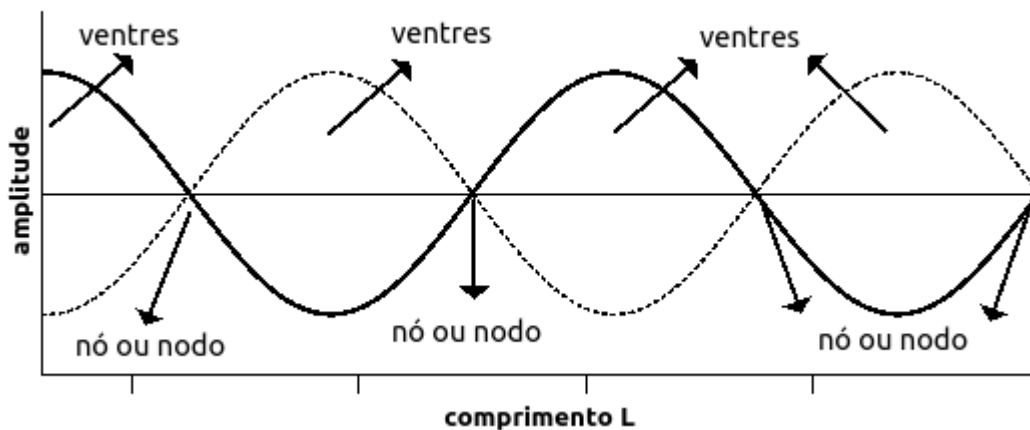
**Figura 14 - Pulso em uma corda com extremidade livre. (a) pulso incidente, (b) pulso refletido.**



Fonte: Autoria própria (2022).

Nesta condição, sempre teremos na extremidade livre da corda um ventre, como está exposto à esquerda da Figura 15, enquanto que na extremidade fixa sempre teremos um nó.

**Figura 15 - 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 15, uma onda estacionária é criada na corda de comprimento  $L$  que pode ser descrita pela Equação 16.

$$\lambda = \frac{4L}{n} \quad (16)$$

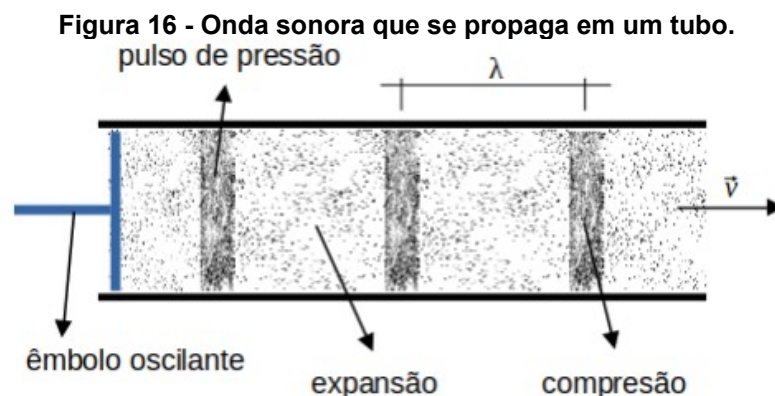
Combinando a Equação 16 com a Equação 13 obtém-se a Equação 17 em termos da frequência e da velocidade de propagação da onda na corda.

$$f = \frac{nv}{4L} \quad (17)$$

Na Equação 17  $n$  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).

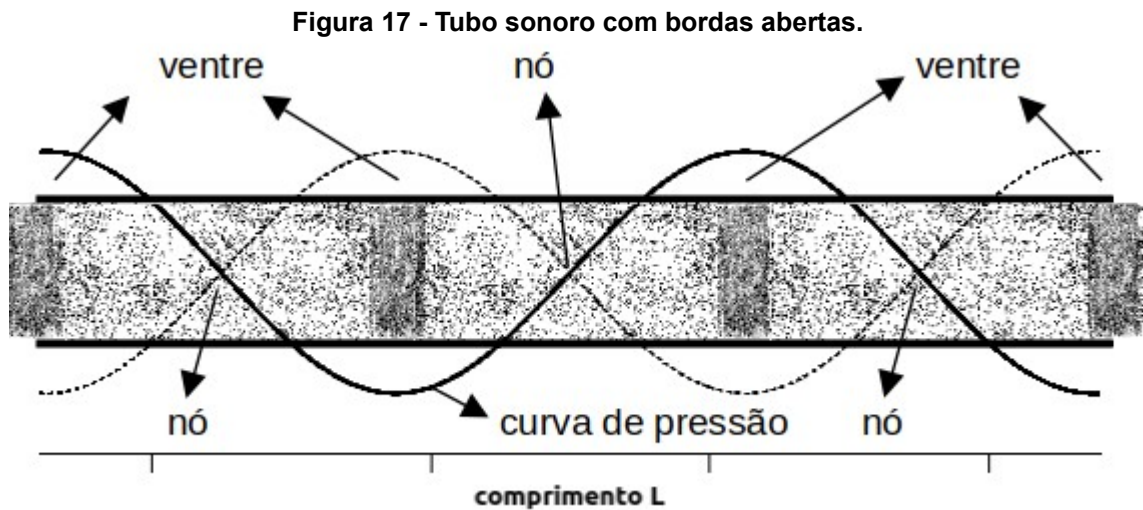
Os modos normais de vibração também podem ser observados em ondas sonoras por meio de tubos sonoros. Um tubo sonoro é qualquer tubo de comprimento  $L$  que possibilite a passagem de uma onda sonora pelo seu interior e, por meio de um tubo sonoro, percebe-se que a onda está vibrando em uma frequência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

Na Figura 16, 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.

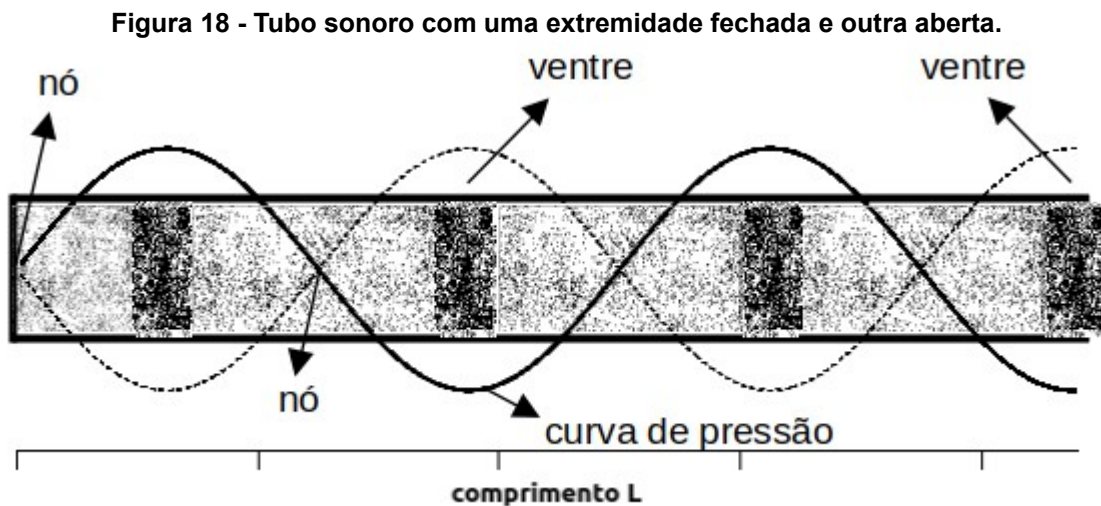


Fonte: Autoria própria (2022).

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 17.



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 18 (HALLIDAY; RESNICK, 2008).



Analisando as curvas de pressão, indicadas na Figura 17 e Figura 18, podemos estudar os modos normais de vibração em tubos abertos utilizando a Equação 14. Enquanto, a Equação 16, pode ser empregado na previsão dos modos normais de vibração de um tubo sonoro semiaberto (TIPLER; MOSCA, 2011).

### 9.3 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 18 e representa um sinal no domínio das frequências, enquanto  $x(n)$  é uma sequência discreta que representa um sinal no domínio do tempo.

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi n \frac{m}{N}} \quad (18)$$

Pode-se utilizar a identidade de Euler (Equação 19) e escrever a Equação 18 na forma de uma somatória de senos e cossenos como indicado na Equação 20.

$$e^{-j\phi} = \cos(\phi) - j \sin(\phi) \quad (19)$$

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(2\pi n \frac{m}{N}\right) - j x(n) \sin\left(2\pi n \frac{m}{N}\right) \quad (20)$$

A Equação 20 é o resultado da separação da exponencial complexa, expressa na Equação 18, em suas partes real e imaginária. Na Equação 20, 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.

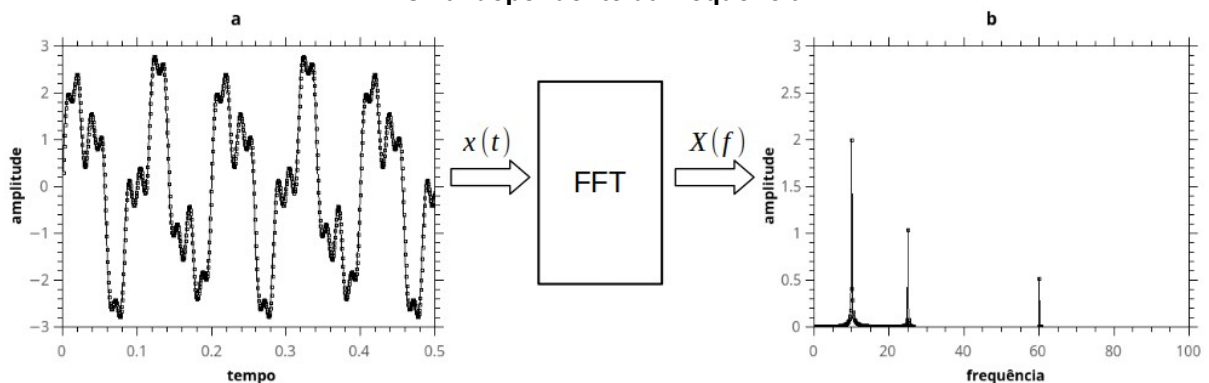
Para determinar as frequências do sinal após obtenção dos valores de  $X(m)$  devemos utilizar a Equação 21.

$$f(m) = m \frac{f_s}{N} \quad (21)$$

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

Na Figura 19, expomos, de forma esquemática, o que a aplicação da FFT faz em um sinal temporal. Observando a Figura 19a, 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 19b, onde podemos identificar as frequências e as amplitudes dos sinais primários que compõem o sinal original (LYNN; FUERST, 1998).

**Figura 19 - 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.

## 10 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.

### 10.1 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).

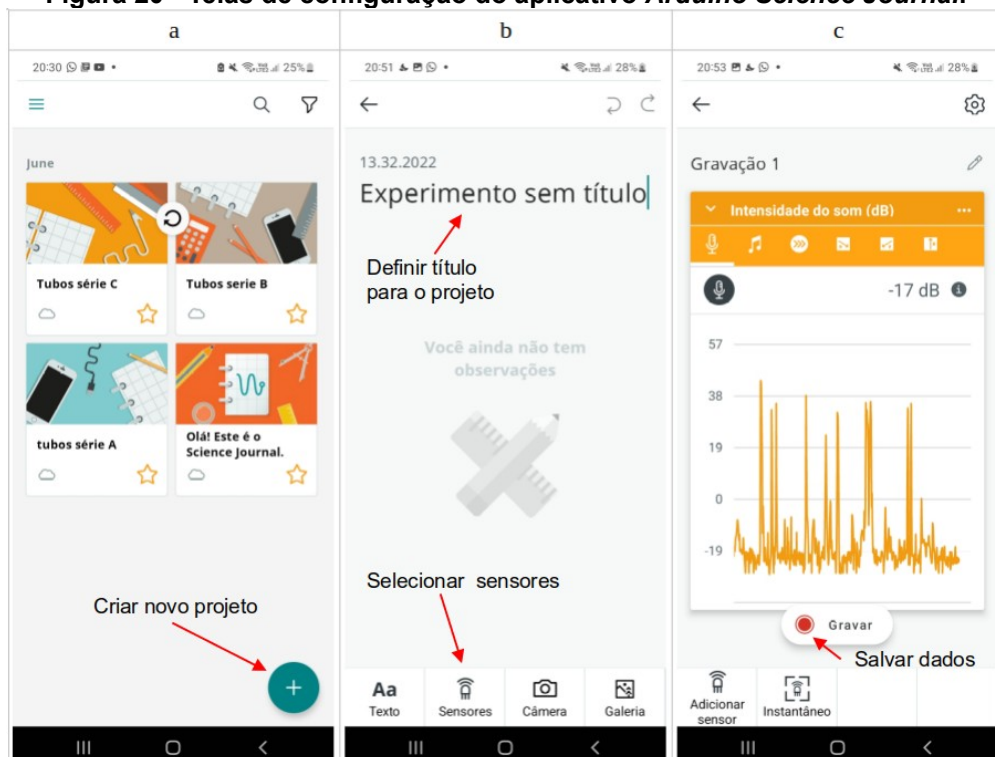
Para resolver este problema, a Google desenvolveu, em 2016, um aplicativo chamado *Science Journal* e, a partir de 2020, o aplicativo recebeu o nome de *Arduino Science Journal*. O aplicativo é gratuito e monitora, em tempo real, os diversos sensores do aparelho. No mesmo aplicativo temos um luxímetro, 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 20a 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 20b, 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 20c, para salvar os dados medidos na memória interna do aparelho e consultá-los futuramente, ou mesmo compartilhá-los por meio da *internet*.

**Figura 20 - Telas de configuração do aplicativo *Arduino Science Journal*.**



Fonte: Autoria própria (2022).



## 10.2 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.

### 10.2.1 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 5, apresentamos as dimensões de cada tubo, bem como, seus diâmetros internos  $D$ . No APÊNDICE A, expomos as fotos dos respectivos tubos (Fotografias 12, 13 e 14).

**Tabela 5 - Classificação dos tubos sonoros em grupos A, B, C e suas dimensões.**

Tubos	DN (mm)	$L \pm \delta L$ (cm)	$D \pm \delta D$ (mm)
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	$47,1 \pm 0,1$	$47,5 \pm 0,1$

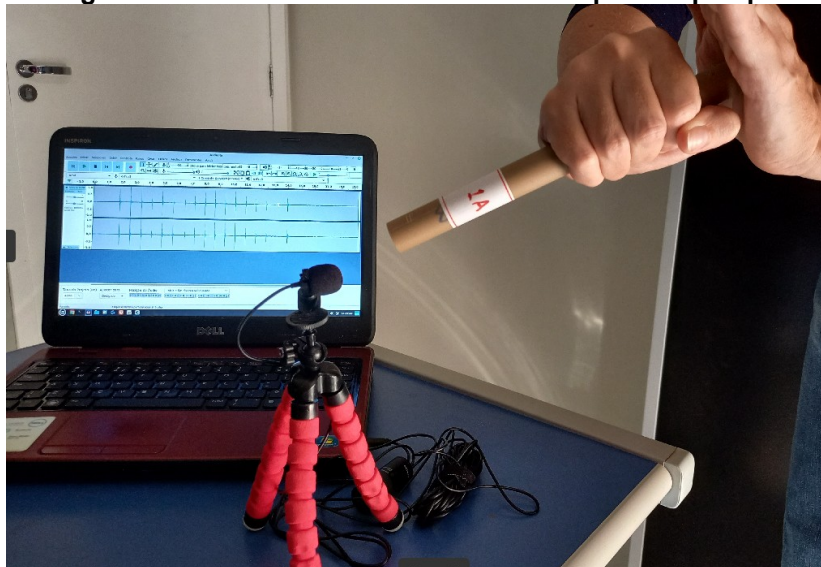
Fonte: Autoria própria (2022).

### 10.2.2 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 18. Na Fotografia 10 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 10 - 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

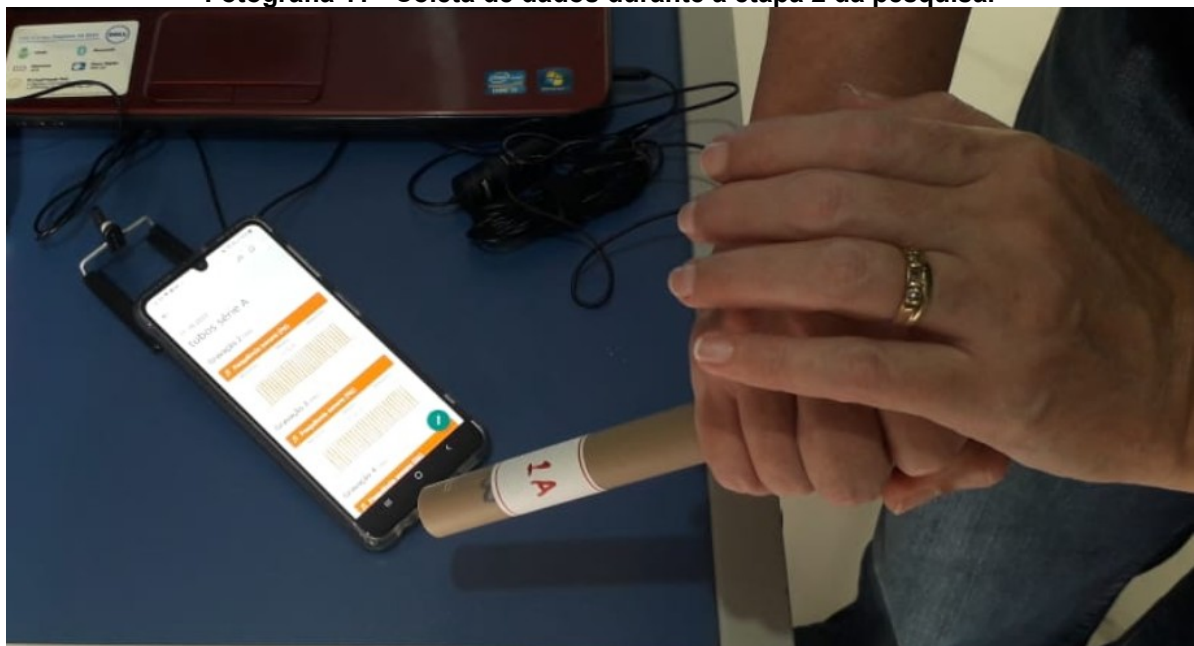
de ser um valor padrão para gravação de áudio, ela é cerca de 110 vezes maior que as frequências de ressonância que são objetos de investigação neste trabalho, em que a maior delas, é próximo de 400 Hz e, assim, evitando o efeito *aliasing* (LYNN; FUERST, 1998).

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 11, mostramos a configuração do experimento em que o coletor de informações é o *Arduino Science Journal* intermediado pelo *smartphone*.

**Fotografia 11 - Coleta de dados durante a etapa 2 da pesquisa.**



**Fonte: Autoria própria (2022).**

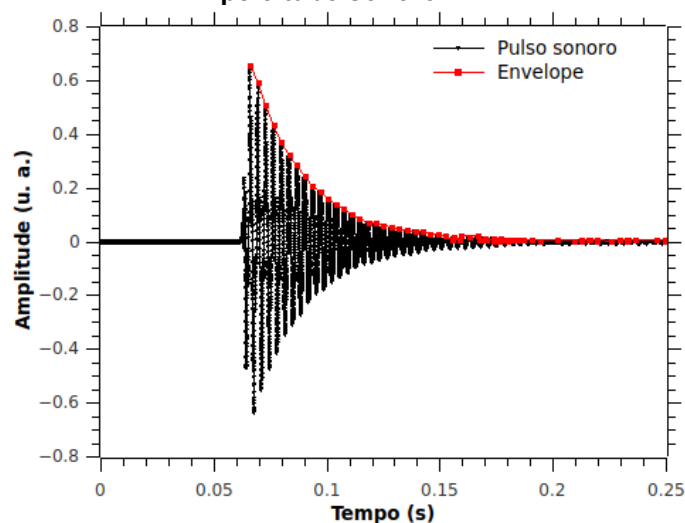
### 10.2.3 Processamento dos dados e discussões

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 5.

Neste cenário, visando atingir os objetivos mencionados na introdução deste trabalho, mostramos no Gráfico 10 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 10 - Perfil de um dos pulsos sonoros emitido pelo tubo sonoro 1A.**

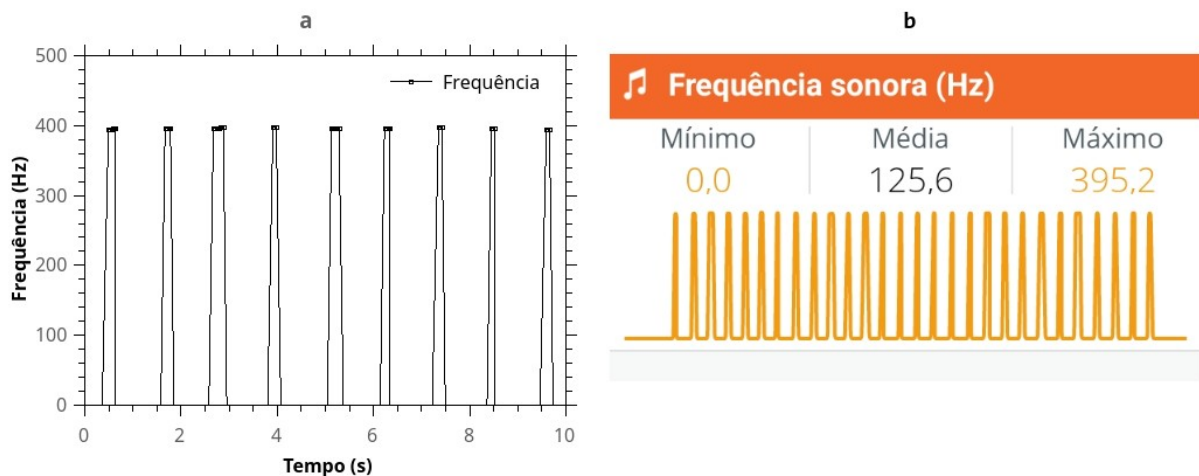


Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com os procedimentos experimentais descritos anteriormente (Seção 4.3.2), podemos afirmar que os tubos utilizados se comportam como tubos sonoros semiabertos, ou seja, com uma extremidade fechada e outra aberta (Figura 18). No Gráfico 10, 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 11a expomos uma parte da curva de frequência que foi obtida pelo frequencímetro do *smartphone*. A medida corresponde ao pulso sonoro ilustrado no Gráfico 10 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 11b, 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 11 - Gráficos a e b com os dados capturados pelo *smartphone*.**

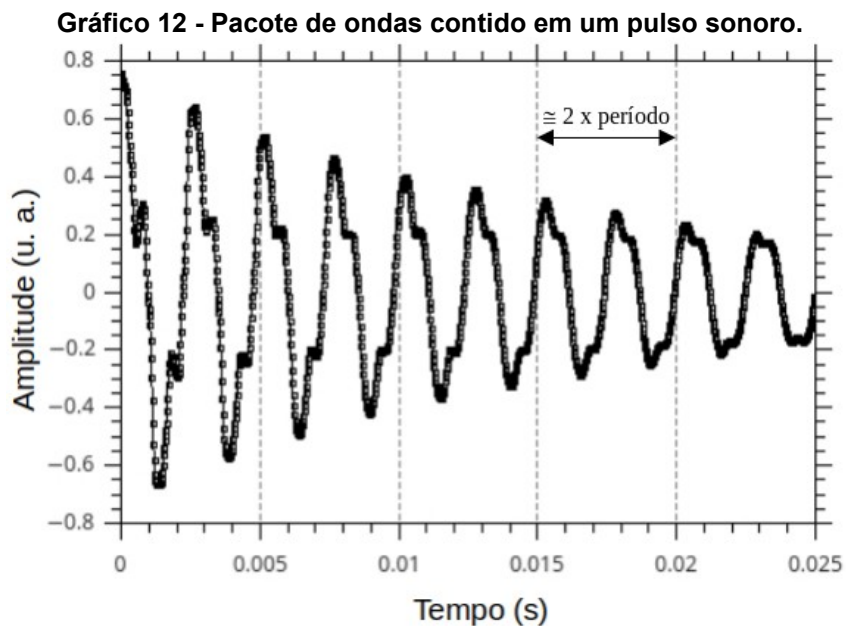


Fonte: Autoria própria (2022).

No Gráfico 11a, 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 10, 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 freqüencímetro do *smartphone* apresenta dificuldades para realizar leituras de frequência de forma precisa.

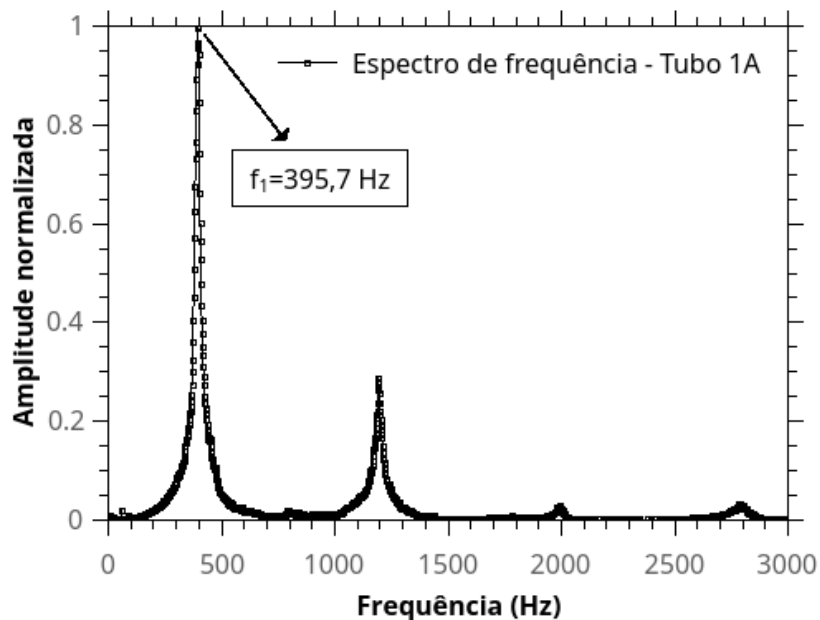
Visando relacionar as frequências lidas pelo freqüencímetro do *smartphone* com a frequência dos pulsos sonoros emitidos pelos tubos, realizamos uma ampliação do pulso exposto no Gráfico 10 para investigá-lo de forma mais detalhada e, a curva resultante da ampliação está no Gráfico 12. Tomando as linhas 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 4.2, 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 10 e, assim, descobrir qual é a frequência de ressonância que é medida pelo *smartphone*. O resultado obtido é mostrado no Gráfico 13.

**Gráfico 13 - Espectro de frequência: Tubo 1A.**

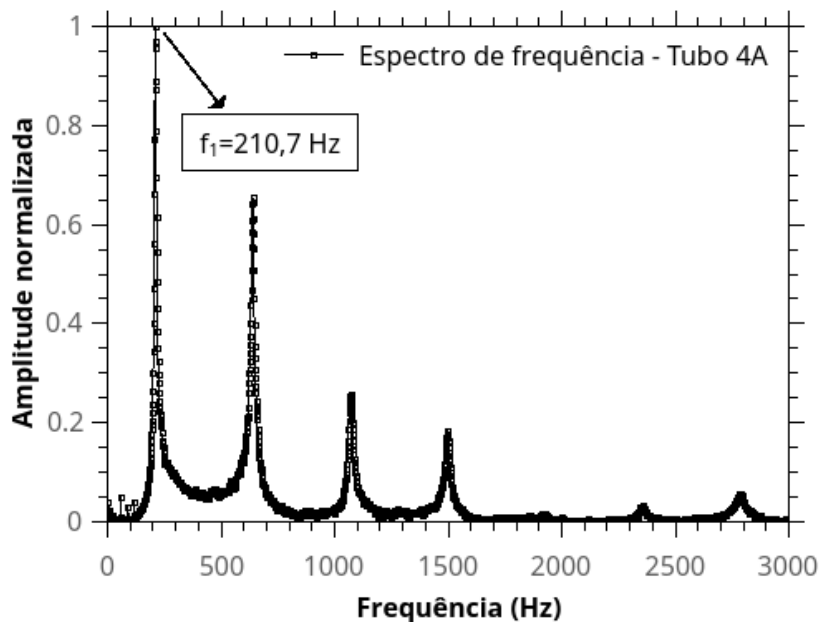


Fonte: Autoria própria (2022).

No Gráfico 13 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 14, 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 14 - Espectro de frequência: Tubo 4A.**



Fonte: Autoria própria (2022).

Outro detalhe importante, é quanto ao período do pacote de ondas visualizado no Gráfico 12. Por meio dele, o valor encontrado foi de aproximadamente 2,53 ms e, a frequência associada ao primeiro pico do espectro ilustrado no Gráfico 13 é de 395,7 Hz, em seu ponto máximo. Utilizando a Equação 12, 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 3.2 e 4.2. 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 6, 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 ( $f_1$ ) 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 6 - Frequências fundamentais ( $f_1$ ) 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_1 \pm \delta f_1</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 6, 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 11, 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 18), uma vez que estes assumem o comportamento de uma caixa ressonante utilizada em instrumentos musicais.

### 10.3 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 22, que pode ser obtida explicitando  $v$  na Equação 17.

$$v_s = \frac{4L f_{sp}}{1} \quad (22)$$

Na Tabela 7, 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 7 - 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).**

## 11 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.

### 11.1 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 9, 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 9 - 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).**

### 11.1.1 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:

- d) (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;
- e) (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;
- f) (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 10, apresentamos como ocorreu o planejamento para conduzir os 4 encontros, previamente, definidos com a participação dos alunos.

Quadro 10 - 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).

## 11.2 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 11 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 12 e usar as perguntas contidas nele para enriquecer a explanação sobre ondas mecânicas e realizar problematizações sobre o assunto.

**Quadro 11 - 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 12 - 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).**

### 11.3 Segundo encontro

No segundo encontro, já com as definições de ondas bem esclarecidas e contextualizadas, o professor usará o vídeo sugerido no Quadro 13 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 3.

**Quadro 13 - 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).

**11.4 Terceiro encontro**

O objetivo deste encontro é utilizar o vídeo sugerido no Quadro 14 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 12, 13 e 14 e comprimentos equivalentes aos tubos descritos na Tabela 5 e, por fim, calcular e a velocidade da onda utilizando o formalismo matemático apresentado na Seção 3.



**Quadro 14 - Questionário de problematização do terceiro encontro.**

Assista ao vídeo a seguir e responda as questões. <a href="#">Ondas estacionárias em cordas.</a>	
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).

### 11.5 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 15 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 15 - 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).

## 12 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 E — Tubos sonoros avaliados**

Fotografia 12 - Tubos sonoros do grupo A.



Fonte: Autoria própria (2022).

Fotografia 13 - Tubos sonoros do grupo B.



Fonte: Autoria própria (2022).

Fotografia 14 - Tubos sonoros do grupo C.



Fonte: Autoria própria (2022).