



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA - NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA

**CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT CONTROLADO POR ARDUINO
PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

SILVIO OLIVEIRA COSTA SILVA

São Cristóvão - SE
Julho/2022

SILVIO OLIVEIRA COSTA SILVA

**CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT CONTROLADO POR ARDUINO
PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Sergipe no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Edvaldo Alves de Souza Junior

São Cristóvão - SE
Julho/2022

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Silva, Silvio Oliveira Costa

S586c Construção de um tubo de Kundt controlado por Arduino para o ensino de ondas estacionárias / Silvio Oliveira Costa Silva; orientador Edvaldo Alves de Souza Junior. -- São Cristóvão, 2022.

133 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Sergipe, 2022.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Arduino (Controlador programável). 3. Ondas estacionárias. I. Souza Junior, Edvaldo Alves de orient. II. Título.

CDU 53:37

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA - PPGPF**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT CONTROLADO POR
ARDUINO PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS**

SÍLVIO OLIVEIRA COSTA SILVA

Banca:



Documento assinado digitalmente

EDVALDO ALVES DE SOUZA JUNIOR

Data: 22/09/2022 20:46:09-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. EDVALDO ALVES DE SOUZA JUNIOR
(Universidade Federal de Sergipe - UFS - Presidente)



Documento assinado digitalmente

EDSON FIRMINO VIANA DE CARVALHO

Data: 26/09/2022 14:01:20-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. EDSON FIRMINO VIANA DE CARVALHO
(Universidade Federal do Maranhão - UFMA)



Documento assinado digitalmente

CELSO JOSE VIANA BARBOSA

Data: 28/09/2022 09:55:48-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. CELSO JOSE VIANA BARBOSA
(Universidade Federal de Sergipe - UFS)

“Educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo”.

Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Meus agradecimentos à CAPES.

Expresso todo o meu reconhecimento e gratidão à educação pública e de qualidade oferecida pela Universidade Federal de Sergipe, na qual venho evoluindo e adquirindo conhecimento desde o meu Ensino Fundamental com o Colégio de Aplicação, que foi responsável por toda a minha base educacional, passando pela graduação em Física Licenciatura e concluindo agora o Mestrado Profissional em Ensino de Física, em parceria com a Sociedade Brasileira de Física. Também gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Edvaldo Alves de Souza Junior, que foi realmente um grande parceiro durante todo o processo da realização deste projeto.

Aos professores Divanizia, Emerson, Gerson, Jhon, Laélia, Petrócio, Samuel, Tiago e Veleida, pelos ensinamentos nas disciplinas do programa. Agradecimento especial aos professores Celso e Cochiran, por todos os ensinamentos e observações direcionadas para a realização do produto.

Grato também aos colegas do curso, pelos compartilhamentos e momentos de aprendizado mútuos. Em especial aos amigos Carla, Jack e Thomaz, que estiveram sempre presentes em toda essa trajetória.

Gratidão a família do Colégio Estadual Dr. José Carvalho Baptista, na figura da diretora Edina e da coordenadora Edclécia, que me acolheu e oportunizou a aplicação deste produto, e singularmente aos professores e amigos Adriel, Alex, Márcio e Marcos, pela cooperação e incentivo para a realização dessa etapa.

Por fim, externo minha imensa gratidão a minha esposa Flávia (Sonho Meu), pelo companheirismo e apoio durante essa nossa jornada, ao meu filho Gael, que trouxe uma ressignificação para minha vida, ao meu pai João por me incentivar nos estudos, colocando isso como uma prioridade, a minha mãe Gilda, que sempre esteve ao meu lado vibrando com cada conquista atingida, a minha tia Janete, que teve grande participação em minha formação profissional, as minhas irmãs e a todos que de alguma forma fazem parte da minha vida.

RESUMO

CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT CONTROLADO POR ARDUINO PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

Silvio Oliveira Costa Silva

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Alves de Souza Junior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Sergipe no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A introdução de experimentos nas aulas de Física é uma oportunidade para os alunos desenvolverem habilidades e competências que estão além das que são rotineiramente trabalhadas em aulas teóricas, bem como de apresentar uma alternativa de aprendizado mais atraente e eficaz para os estudantes. Considerando esse contexto, esta dissertação apresenta a construção de um kit tubo de kundt com a utilização da plataforma Arduino que visa introduzir de forma prática os conceitos relacionados a ondas e a acústica, levando para os alunos um dispositivo capaz de produzir ondas estacionárias, permitindo a visualização dos harmônicos, o cálculo do número desses harmônicos e da velocidade do som no ar através da frequência sonora produzida. Também é proposta uma sequência didática para aplicação do experimento de forma interativa. O aparato experimental servirá como instrumento para estimular o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, fundamentado em uma aprendizagem sociointeracionista de Vygotsky, ocorrendo através da mediação entre os indivíduos. São empregadas ferramentas tecnológicas que cada vez mais vão se inserindo em nosso meio, principalmente dentro de uma abordagem integradora com STEM. O experimento foi montado com um alto-falante um gerador de frequência, um microcontrolador Arduino, um amplificador, um tubo cilíndrico de acrílico, um acoplador para o tubo e o alto-falante, uma base para o tubo, uma fita métrica, bolinhas de poliestireno, uma placa protoboard e alguns jumpers. A sequência didática foi aplicada em uma turma do 2º ano do Ensino Médio do Colégio Estadual Doutor José Carvalho Baptista, Rio Real/BA. Os dados coletados foram extraídos de um Questionário Investigativo, da montagem e manuseio do experimento, de um roteiro experimental, de um problema contextualizado e de uma auto avaliação. Os resultados apresentaram alguns indicadores de que a sequência didática apresentada desperta um maior engajamento e satisfação dos conhecimentos de Física abordados frente aos métodos tradicionais de aulas expositivas. Foi verificado que através da interação e socialização, os discentes puderam assimilar ativamente os conceitos que explicam a relação entre as frequências do som emitido e o formato da onda apresentado, levando assim, a uma aprendizagem com novos, e antigos, instrumentos e signos, através da mediação social.

Palavras-chave: Arduino. Tubo de Kundt. Ondas estacionárias. Velocidade do som. STEM. Vygotsky.

ABSTRACT

The introduction of experiments in Physics classes is an opportunity for students to develop skills and competences that are beyond those that are routinely worked on in theoretical classes, as well as to present a more attractive and effective learning alternative for students. Considering this context, this dissertation presents the construction of a Kundt tube kit using the Arduino platform that aims to introduce in a practical way the concepts related to waves and acoustics, taking students to a device capable of producing standing waves, allowing the visualization of the harmonics, the calculation of the number of these harmonics and the speed of sound in the air through the sound frequency produced. A didactic sequence is also proposed for the application of the experiment in an interactive way. The experimental apparatus will serve as an instrument to stimulate students' cognitive development, based on Vygotsky's socio-interactionist learning, occurring through mediation between individuals. Technological tools are used that are increasingly being inserted in our environment, mainly within an integrative approach with STEM. The experiment was set up with a loudspeaker, a frequency generator, an Arduino microcontroller, an amplifier, a cylindrical acrylic tube, a coupler for the tube and the loudspeaker, a base for the tube, a tape measure, marbles of polystyrene, a breadboard and some jumpers. The didactic sequence was applied in a class of the 2nd year of high school at Colégio Estadual Doutor José Carvalho Baptista, Rio Real/BA. The collected data were extracted from an Investigative Questionnaire, the setup and handling of the experiment, an experimental script, a contextualized problem and a self-assessment. The results showed some indicators that the didactic sequence presented arouses a greater engagement and satisfaction of the knowledge of Physics approached in front of the traditional methods of lectures. It was verified that through interaction and socialization, students were able to actively assimilate the concepts that explain the relationship between the frequencies of the emitted sound and the presented waveform, thus leading to a learning with new and old instruments and signs, through of social mediation.

Keywords: Arduino. Kundt tube. Standing waves. Speed of sound. STEM. Vygotsky.

Lista de Figuras

Figura 3.3.1 – (a) Onda transversal em uma mola. (b) onda longitudinal em uma mola.	12
Figura 3.3.2 – Bloco preso a uma mola sofrendo um movimento harmônico simples e produzindo uma onda transversal senoidal que se propaga em uma corda.	13
Figura 3.3.3 – Formação da onda estacionária.	15
Figura 3.3.4 – Corda de comprimento L com as extremidades fixas. (a) arranjo obtido com meio comprimento de onda. (b) arranjo obtido com um comprimento de onda. (c) arranjo obtido com um e meio comprimento de onda.	16
Figura 3.3.5 – Demonstração de ondas sonoras estacionárias por meio de um tubo de Kundt. As regiões sombreadas representam a densidade do gás no instante em que a pressão do gás nos nós de deslocamento é máxima ou mínima.	18
Figura 3.3.6 – Esquematização das regiões de baixa e alta pressão dentro do tubo de Kundt.	18
Figura 3.3.7 – Os três primeiros harmônicos formados em um tubo sonoro aberto.	19
Figura 3.3.8 – Os três primeiros harmônicos formados em um tubo sonoro fechado.	20
Figura 4.1.1 – Esquematização das ligações do circuito.	25
Figura 4.1.2 – Circuito montado.	27
Figura 4.1.3 – Arduino Uno é uma placa microcontroladora baseada no ATmega328P.	28
Figura 4.1.4 – Página da internet para download do software Arduino.	29
Figura 4.1.5 – Instalação do software Arduino.	30
Figura 4.1.6 – Tela inicial do Arduino IDE.	31
Figura 4.1.7 – Como fazer o download de uma biblioteca no formato .ZIP.	32
Figura 4.1.8 – Caminho para incluir uma nova biblioteca.	32
Figura 4.1.9 – Botão para carregar o sketch no Arduino.	36
Figura 4.1.10 – Fonte externa de 12 V.	36
Figura 4.1.11 – Esquematização do aparato experimental do tubo de Kundt.	38
Figura 4.1.12 – Experimento do tubo de Kundt com o circuito montado.	38

Figura 4.1.13 – Circuito previamente montado.	42
Figura 4.1.14 – Alto-falante.	42
Figura 4.1.15 – Materiais para montagem do experimento.	43
Figura 4.1.16 – Ondas estacionárias formadas dentro do tubo.	44
Figura 5.1.1 – Alunos manuseando o circuito.	50
Figura 5.1.2 – Montagem do experimento.	51
Figura 5.1.3 – Prática experimental.	53

Lista de Tabelas

Tabela 3.3.1 – Velocidade do som em diversos meios.	15
Tabela 4.1.1 – Dispositivos utilizados na montagem do circuito com suas funções e ilustrações.	22
Tabela 4.1.2 – Conexões entre os dispositivos e o Arduino.	26
Tabela 4.1.3 – Materiais utilizados na montagem do tubo de Kundt.	37
Tabela 4.1.4 – Cronograma da sequência didática.	39
Tabela 5.1.1 – Resumo do domínio dos alunos sobre os conteúdos específicos necessários ao entendimento do tubo Kundt, revelados pelo questionário investigativo.	49
Tabela 5.1.2 – Dados colhidos pelos alunos durante execução do experimento.	52

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivo geral	3
1.2	Objetivos específicos.....	4
2	Estado da Arte	5
3	Fundamentação Teórica.....	8
3.1	Educação STEM.....	8
3.1.1	Uso da STEM no Ensino Médio.....	9
3.2	Teoria Sociointeracionista de Vygotsky.....	9
3.3	Estudo das Ondas	12
3.3.1	Ondas Sonoras	13
3.3.2	Velocidade do Som.....	14
3.3.3	Ondas Estacionárias e Ressonância.....	15
3.3.4	Tubo de Kundt.....	17
3.3.5	Qualidades fisiológicas do som	21
4	Metodologia.....	22
4.1	Produto Educacional.....	22
4.1.1	Montagem do Circuito.....	22
4.1.2	Instalação do Software Arduino	27
4.1.3	Sketch do Arduino	31
4.1.4	Montagem do Tubo de Kundt.....	36
4.1.5	Sequência Didática	39
5	Resultados e Discussões	45
5.1	Aplicação do Produto Educacional.....	45
5.1.1	ETAPA 01 - Questionário Investigativo	45
5.1.2	ETAPA 02 – Aula expositiva	49
5.1.3	ETAPA 03 – Montagem e manuseio do circuito.....	49
5.1.4	ETAPA 04 – Experimento do tubo de Kundt.....	50
5.1.5	ETAPA 05 – Roteiro da Prática	51
5.1.6	ETAPA 06 – Problema Contextualizado e Questionário Auto Avaliativo.....	56
6	Conclusão	62
	Referências Bibliográficas.....	64
	Apêndice A Questionário Investigativo	67
	Apêndice B Slides Ondas Sonoras	68
	Apêndice C Roteiro da Prática	76
	Apêndice D Tabela de Anotações	77
	Apêndice E Problema Contextualizado.....	78
	Apêndice F Questionário Auto Avaliativo	79
	Apêndice G Tabelas Originais dos Grupos	80
	Apêndice H Medidas dos Materiais Confeccionados.....	82
	Apêndice I Produto Educacional	83

1 - Introdução

A área de Ensino de Física, assim como toda e qualquer área de ensino, traz grandes desafios que, em muitos casos, estão relacionados com a dificuldade em despertar o interesse e a atenção dos alunos. É possível destacar alguns fatores que levam a esse problema: pouca afinidade com cálculo, déficit de aprendizado acumulado, dificuldade na interpretação de texto, práticas de ensino baseadas apenas em aulas expositivas com centralização do saber no docente (PIFFERO *et al.*, 2020), falta de compatibilidade do que está sendo exposto com a realidade na qual o aluno está inserido (MESQUITA *et al.*, 2019), entre outros.

O ensino tradicional, em que apenas se repassa conceitos e equações de forma mecânica e engessada, já não é mais suficiente para suprir as necessidades atuais. Sente-se a necessidade de novas abordagens que possam romper esse “dogma” educacional, apresentando aos discentes, conhecimentos que os façam entenderem melhor o mundo a sua volta e os instiguem a procurar tais conhecimentos cada vez mais (MOTA; ROSA, 2018). Diante dessa percepção, surgiu uma disposição generalizada em torno da necessidade de mudança, muitas vezes materializada na criação e inserção de métodos e técnicas que colocam o aluno como protagonista do processo de ensino e aprendizagem.

O Novo Ensino Médio, apresentado aos professores pelo MEC em 2016, traz em seu texto esse apelo de tornar o aprendizado mais atrativo para os discentes, colocando-os no centro do processo de ensino, como é perceptível na implementação dos itinerários formativos, previstos na CNE/CP nº 11/2009 que diz:

Estimular a construção de currículos flexíveis, que permitam itinerários formativos diversificados aos alunos e que melhor respondam à heterogeneidade e pluralidade de suas condições, interesses e aspirações, com previsão de espaços e tempos para utilização aberta e criativa (BRASIL, 2009, p. 21).

A efetivação desses itinerários pode incitar aos professores desse nível de ensino uma procura por novas e variadas ferramentas e metodologias para suprir tais demandas. Contudo, essas ferramentas não podem estar dissociadas de uma necessidade de aproximar, ainda mais, os conhecimentos de Física ensinados na Educação Básica das aplicações na vida cotidiana e da formação técnica e profissional. Essa aproximação visa

também contemplar as competências e habilidades que devem ser desenvolvidas pelos educandos, previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), como é evidenciado em:

Ao adotar esse enfoque, a BNCC indica que as decisões pedagógicas devem estar orientadas para o desenvolvimento de competências. Por meio da indicação clara do que os alunos devem “saber” (considerando a constituição de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores) e, sobretudo, do que devem “saber fazer” (considerando a mobilização desses conhecimentos, habilidades, atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho) (BRASIL, 2018, p. 13).

Uma alternativa viável que se apresenta, é a da experimentação utilizando uma abordagem integradora nas áreas STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) que é consonante com as diretrizes apresentadas na BNCC, onde temos:

Por fim, e em conformidade com a própria natureza da área no Ensino Médio, a BNCC propõe que os estudantes aprofundem e ampliem suas reflexões a respeito das tecnologias, tanto no que concerne aos seus meios de produção e seu papel na sociedade atual como também em relação às perspectivas futuras de desenvolvimento tecnológico (BRASIL, 2018, p. 539)

O uso da experimentação em detrimento do ensino apenas expositivo, propicia um ganho considerável na aprendizagem, tendo maior relevância para uma compreensão mais ampla e profunda (LORENZIN; ASSUMPÇÃO; BIZERRA, 2018). A utilização de novas tecnologias como sensores, dispositivos eletrônicos, arduino, kits de robótica, equipamentos de medições, aliados a uma pedagogia alicerçada na investigação, em que os alunos discutem, explicam e testam as suas ideias, também produz uma aprendizagem mútua e colaborativa (FERNANDES; TEODORO, 2007).

O aparato experimental pode servir como instrumento para estimular o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, fundamentado em uma aprendizagem sociointeracionista de Vygotsky que ocorre através da mediação entre os indivíduos com a utilização de instrumentos e signos.

Nessa perspectiva, este trabalho apresenta um produto educacional fazendo uso da experimentação com a perspectiva STEM para o ensino de ondas estacionárias em

tubos sonoros utilizando uma nova linguagem via Arduino. A aprendizagem será promovida a partir da investigação e interação prática entre os alunos e o experimento apresentado, tendo como referência à teoria Sociointeracionista de Vygotsky.

A construção do experimento Tubo de Kundt apontado por este trabalho visa apresentar de forma prática os conceitos relacionados a ondas e a acústica, levando para os alunos um dispositivo capaz de produzir ondas estacionárias, permitindo a visualização dos harmônicos, o cálculo do número desses harmônicos e da velocidade do som no ar através da frequência sonora produzida.

A proposta apresentada foi aplicada em uma turma da 2ª série do Ensino Médio, no Colégio Estadual José Carvalho Baptista, em Rio Real - BA. O processo didático iniciou-se com um questionário investigativo sobre conceito de ondas, seguindo de uma aula expositiva com utilização de slides, montagem e manuseio do circuito gerador das ondas sonoras, montagem do tubo de Kundt, utilização do experimento para formação das ondas estacionárias, medições durante a prática experimental para o cálculo da velocidade do som e do número harmônico e aplicação de um problema juntamente com um questionário auto avaliativo para finalizar a aplicação.

A dissertação está estruturada em seis capítulos da seguinte maneira: No primeiro, encontra-se a introdução, que expõe o tema abordado e a proposta a ser desenvolvida. No segundo, o estado da arte, no qual apresenta uma pesquisa sobre as produções mais próximas do tema trabalhado. No terceiro, está a fundamentação teórica, com as teorias educacionais e a Física da onda. No capítulo 4, tem-se a metodologia, que descreve toda a montagem do experimento e sua aplicação. No capítulo 5, os resultados e discussões, que relata os resultados obtidos durante a aplicação do produto. No capítulo 6, a conclusão, que traz as considerações finais do projeto. Após os capítulos, são apresentados as referências bibliográficas e os apêndices.

1.1 Objetivo geral

Apresentar uma proposta para o ensino de ondas estacionárias através da experimentação com o tubo de Kundt e da tecnologia Arduino, ancorada em uma aprendizagem colaborativa e construtivista que propicie um ensino de Física mais atraente e eficaz, aproximando-se das diretrizes do Ensino Médio.

1.2 Objetivos específicos

1. Implementar circuitos simples controlados por placas de Arduíno para compreender os conceitos de dispositivos eletrônicos, sketches e processamento de dados;
2. Montar um sistema de medida de velocidade do som baseado na plataforma Arduino e que possa apresentar os conceitos de frequência, amplitude, comprimento de onda, nó, ventre, harmônico, ressonância, onda estacionária;
3. Promover uma aprendizagem alicerçada na interação social defendida por Vygotsky, utilizando o aparato experimental como instrumento para desenvolvimento das funções mentais superiores dos alunos, por meio de uma sequência didática;
4. Apresentar ferramentas e métodos alternativos ao ensino tradicional que possibilitem tornar o aluno mais ativo no processo de ensino e aprendizagem;

2 – Estado da Arte

O tubo de Kundt é um experimento conhecido e consolidado, inclusive sendo comercializado em kits com valores entre cinco e seis mil reais (3BSCIENTIFIC¹ e KITSLAB²). Dessa forma, fez-se uma pesquisa na literatura para encontrar trabalhos associados ao tema no Google Acadêmico, utilizando o filtro de páginas em português, com as palavras tubo de Kundt + Arduino. Na busca, foram encontrados treze resultados, mas apenas um trabalho apresentava uma proposta unindo o experimento do tubo de Kundt com a tecnologia Arduino, porém de uma maneira distinta da sugerida no presente produto, pois Cavalcante, Rodrigues e Pontes (2013) utilizaram o Arduino como placa de recepção de dados, usando um microfone para captar as ondas sonoras e transmiti-las para o microcontrolador. Outros cinco trabalhos abordavam conceitos de cinemática, e o restante estavam relacionados a: materiais para aplicação na engenharia civil; uso da robótica virtual aplicada às necessidades educativas especiais; Arduino para criação de um minilevitador acústico ultrassônico; uso do Arduino no Ensino de Física; sequência didática para ensino de ondas eletromagnéticas sem uso do Arduino; uso do Arduino para calcular a velocidade do som em uma barra metálica; e discussão de conceitos da dinâmica.

Para refinar ainda mais a pesquisa, foi realizada uma nova busca no Google Acadêmico, utilizando o filtro de páginas em português, com as palavras tubo de Kundt + Arduino + STEM, não sendo encontrado nenhum resultado, o que evidencia o caráter inovador do produto apresentado.

Ainda com relação ao experimento tubo de Kundt e velocidade do som, mas agora sem o uso da plataforma Arduino, foram encontradas três publicações que mereceram atenção: o projeto de Nunes (2019), que sugere uma sequência didática para o ensino de ondas sonoras, a alunos do 2º ano do Ensino Médio, a partir da construção do tubo de Kundt; o trabalho de Saab, Cássaro e Brinatti (2005), que propõem uma montagem experimental utilizando um tubo de ensaio, adaptado como tubo de Kundt, para medição da velocidade do som no ar; e Dos Santos e De Oliveira (2018), que apresentam a utilização do software Sweep Gen juntamente com o experimento do tubo de Kundt para

¹ Disponível em: <https://www.3bscientific.com/br/tubo-de-kundt-e-1017339-u8498308-3b-scientific,p_837_25748.html>. Acesso em: 10 jul. 2022.

² Disponível em: <<https://www.kitslab.com.br/kit-de-fisica-tubo-de-kundt>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

o estudo da formação dos harmônicos da onda estacionária, como também para aprendizagem dos conceitos físicos de ondas e acústica.

Talvez, um dos grandes desafios em ensinar atualmente, independente da área do conhecimento, esteja em motivar o aluno e convencê-lo do quão valioso e poderoso pode ser o aprendizado (CAVENAGHI; BZUNECK, 2009). Para tentar contornar esse obstáculo, o profissional da educação pode recorrer a novos métodos e técnicas, baseadas em metodologias ativas, em que o aprendiz deixa de ser passivo e passa a ser agente ativo, tendo mais autonomia no seu processo de ensino-aprendizagem.

Podemos definir metodologias ativas como:

Tecnologias que proporcionam **engajamento dos educandos** no processo educacional e que favorecem o desenvolvimento de sua capacidade **crítica e reflexiva** em relação ao que estão fazendo. Visam promover: (i) **proatividade**, por meio do comprometimento dos educandos no processo educacional; (ii) **vinculação da aprendizagem** aos aspectos significativos da realidade; (iii) **desenvolvimento do raciocínio e de capacidades** para intervenção na própria realidade; (iv) **colaboração e cooperação** entre participantes (LIMA, 2017, p. 424).

A ideia de sair do tradicional e utilizar novas práticas de ensino “ganha força” com o início do movimento escolanovista, que se baseava predominantemente no pensamento de John Dewey.

O filósofo norte-americano John Dewey (1859-1952) defendeu fortemente os ideais de liberdade e democracia no ensino. De forte tendência pragmática e liberal, seus escritos defenderam uma escola essencialmente empírica, do **aprender fazendo**, da **experimentação**. Para ele o foco do ensino é o aluno e suas necessidades, é o compartilhar de experiências e a escola precisa criar espaços que estimulem a **criatividade**, o lazer e as descobertas. Seu pensamento foi âncora para o **construtivismo** e o **escolanovismo**, uma vez que para Dewey educação é a reconstrução da experiência. Influenciou o pensamento de seu aluno de pós-graduação Anísio Teixeira, impulsionando-o a divulgar sua obra no Brasil, marcando fortemente as bases do movimento da Escola Nova (VASCONCELOS, 2012, p. 157).

De acordo com Dewey (2002), a aplicação de desafios educacionais revela-se coerente com a forma que as pessoas, espontaneamente, aprendem. Segundo esse autor,

é indispensável que a educação se remeta à vivência de experiências ao contrário de apenas apresentar e transmitir temas abstratos.

Nos últimos anos, várias metodologias ativas vêm sendo introduzidas no processo de ensino e aprendizagem, dentre elas tem-se a Educação STEM, que apesar de ainda ser um movimento tímido aqui no Brasil (PUGLIESE, 2017), verifica-se algumas aplicações no ensino de disciplinas como Ciências e Matemática, como destacado no trabalho de Heck (2017), que apresenta a Experimentação Remota Móvel como uma boa ferramenta para melhorar a formação prática dos alunos na disciplina de Física, utilizando sequências didáticas orientadas pelo modelo de Ensino de Ciências Baseadas em Investigação (ECBI). Já Silva (2017), propõe formas de trabalhar a integração das disciplinas STEM por meio da solução de problemas em grupo, com alunos do 9º ano do Ensino Fundamental, abordando conceitos físicos com a construção de carrinhos movidos a combustão. Sousa *et al* (2020) expuseram o uso da metodologia STEM em aulas expositivas utilizando experimentos, com o intuito de incentivar uma maior participação feminina nas áreas STEM.

3 – Fundamentação Teórica

3.1 Educação STEM

A inserção da abordagem STEM na educação começou a ser intensificada nos anos 90, nos Estados Unidos, para tentar combater a falta de interesse, cada vez mais crescente, nas áreas profissionais associadas à STEM e atualmente vem sendo uma abordagem bastante utilizada em vários países, principalmente sob uma perspectiva vocacional (GUEDES, 2019).

Para Félix (2021, p. 2), “A educação STEM é uma abordagem que pode ajudar os alunos a aplicar conceitos e competências de diferentes disciplinas na resolução de problemas significativos”. Ainda segundo o autor, essa forma de aprendizagem proporciona aos estudantes experiências valorosas da realidade em que vivem, propiciando o desenvolvimento de competências essenciais para os tempos atuais, como pensamento crítico, convivência social, resolução de problemas, trabalho em equipe, comunicação, liderança, entre outros.

A educação STEM pode ser considerada uma grande aliada do ensino de Física, oferecendo um aprendizado interdisciplinar e desenvolvendo competências essenciais das quatro áreas relacionadas. De acordo com Lorenzin, Assumpção e Bizerra:

Alinhadas às habilidades de interpretação, comunicação, análise e síntese, as quatro áreas do STEM possibilitam a aplicação de conceitos para a produção de novos conhecimentos e tecnologias. Além disso, permitem desenvolver a observação, o questionamento e a resolução de problemas no processo de ensino e aprendizagem (LORENZIN; ASSUMPÇÃO; BIZERRA, 2018, p. 369).

Para conseguir promover de forma eficaz as conexões entre as áreas STEM e seus respectivos conceitos, os professores que ensinam conteúdos de ciências, tecnologia, engenharia e matemática precisam ter um profundo domínio dos conhecimentos que serão ministrados, bem como serem dotados de estratégias pedagógicas de como ensinar conteúdo STEM aos discentes (ECKMAN; WILLIAMS; SILVER-THORN, 2016).

3.1.1 Uso da STEM no Ensino Médio

A introdução de uma abordagem STEM no ensino de Física casa perfeitamente com a proposta apresentada pela BNCC para o Ensino Médio, principalmente no que se refere à aprendizagem das habilidades necessárias para a formação técnica e profissional, visto que oferece aos estudantes uma oportunidade de aprender os conteúdos de forma integrada com as novas tecnologias e de forma contextualizada com suas aplicações nas carreiras congêneres. Apresenta também uma perspectiva diferente de como os fenômenos abordados nessas áreas se relacionam no cotidiano, tornando-os aptos a solucionar problemas e trabalhar em equipe (SILVA, 2017).

De acordo com Santos e Silva (2015), o Ensino Médio aqui no Brasil apresenta uma certa deficiência dos discentes no domínio dos conhecimentos básicos necessários para esta etapa de ensino, principalmente em disciplinas como Física, Matemática, Química e Informática que acaba desestimulando o interesse dos alunos em ingressar nos cursos de engenharia, ou ainda, acarretando em um baixo nível de preparo dos ingressantes nesses cursos.

Para Heck (2017), a utilização da experimentação associada com a teoria nas aulas de Física, pode ser uma boa estratégia para propiciar um maior engajamento dos alunos nas áreas da STEM, gerando uma maior qualificação na educação científica e tecnológica e revelando para eles como a ciência é trabalhada na prática em profissões afins.

Segundo Pugliese (2017), a Educação STEM é uma metodologia libertadora das práticas tradicionais de aprendizagem passiva, substituindo-as pela aprendizagem baseada em projetos e concatenada com o direcionamento profissional.

A BNCC (2018, p. 557) também menciona nas competências específicas de Ciências da Natureza a necessidade de desenvolver habilidades voltadas às práticas experimentais: “Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências (EM13CNT205)”.

3.2 Teoria Sociointeracionista de Vygotsky

A Teoria Sociointeracionista de Vygotsky defende que o desenvolvimento cognitivo dos indivíduos ocorre através das relações sociais, culturais e históricas.

O desenvolvimento do pensamento é determinado pela linguagem, ou seja, pelos instrumentos linguísticos do pensamento e pela experiência sociocultural da criança. Fundamentalmente, o desenvolvimento da lógica na criança, como o demonstraram os estudos de Piaget, é função direta do seu discurso socializado. O crescimento intelectual da criança depende do seu domínio dos meios sociais de pensamento, ou seja, da linguagem. (VYGOTSKY, 2001, p. 54).

Para Vygotsky, a transformação dessas relações em funções mentais superiores é promovida de forma indireta, a partir da mediação, com uso de instrumentos e signos (MOREIRA, 1999). Para Moreira (1999, p. 111), “um instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa; um signo é algo que significa alguma outra coisa”.

A distinção fundamental entre signo e instrumento constitui-se nas variadas formas com que eles direcionam o comportamento humano, Vygotsky esclarece:

A função do instrumento é servir como um condutor da influência humana sobre o objeto da atividade; [...] deve necessariamente levar a mudanças nos objetos. Constitui um meio pelo qual a atividade humana externa é dirigida para o controle e domínio da natureza. O signo, por outro lado, não modifica em nada objeto da operação psicológica. Constitui um meio da atividade interna dirigido para o controle do próprio indivíduo; o signo é orientado internamente. Essas atividades são tão diferentes uma da outra, que a natureza dos meios por elas utilizados não pode ser a mesma. (VYGOTSKY, 1991, p. 40).

O processo de internalização, transformação interna de uma operação externa, se dá através de uma operação que se origina de uma ação externa e vai sendo reconstruída internamente. É de extrema relevância para a evolução dos processos mentais superiores a conversão da atividade que utiliza signos, cuja história e particularidades são demonstradas pelo desenvolvimento da inteligência prática, da atenção voluntária e da memória (VYGOTSKY, 1991).

A metamorfose de um processo interpessoal num processo intrapessoal é obtida a partir de uma extensa série de episódios ao longo do desenvolvimento. “Todas as funções no desenvolvimento da criança aparecem duas vezes: primeiro, no nível social, e, depois, no nível individual [...]. Todas as funções superiores originam-se das relações reais entre indivíduos humanos.” (VYGOTSKY, 1991, p. 41).

Vygotsky apontou a existência de dois níveis de desenvolvimento, o primeiro seria o Nível de Desenvolvimento Real (NDR), definido por Vygotsky (1991, p. 57) como “o

nível de desenvolvimento das funções mentais da criança que se estabeleceram como resultado de certos ciclos de desenvolvimento já completados”, ou seja, é o conhecimento já adquirido ou construído, responsável pela capacidade da pessoa em agir por si própria, de forma independente, através das funções que já amadureceram.

O segundo nível seria o potencial de cada um em aprender com o outro, definido como Nível de Desenvolvimento Potencial (NDP) (SILVA, 2009). Ainda segundo Silva (2009), Vygotsky estabelecia que existe um diferencial entre esses dois níveis, denominado por ele de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), na qual as funções que estão em maturação no indivíduo são acomodadas, sendo produzidas na interação da aprendizagem com o desenvolvimento. Sobre a Zona de Desenvolvimento Proximal, Vygotsky explica:

Ela é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. (VYGOTSKY, 1991, p. 58).

A ZDP determina aquelas funções que ainda não amadureceram, porém já se encontram em processo de maturação, em um estado inicial de formação. Nessa perspectiva, o NDR configura o desenvolvimento mental retrospectivamente, enquanto a ZDP configura o desenvolvimento mental prospectivamente (VYGOTSKY, 1991).

De acordo com Moreira (1999), o que deve ser considerado essencial para o ensino é a função do professor como mediador para obtenção de “significados contextualmente aceitos”, a imprescindível troca de significados entre professor e aluno dentro da Zona de Desenvolvimento Proximal do discente, “a origem das funções mentais superiores” e o uso da linguagem como principal conjunto de signos para o desenvolvimento cognitivo.

A mediação compreendida com obtenção de aprendizagem através de um intermédio entre o ser humano e o ambiente, conjectura conexões colaborativas entre sujeitos. “O educador é o maior regente do processo ensino aprendizagem, o qual facilita para o estudante a possibilidade de colocar em ação o conhecimento do seu cotidiano para as descobertas de novos conhecimentos com uma elaboração mais intelectual” (NUNES, 2019, p. 4 *apud* VYGOTSKY, 1988).

Assim, o produto apresentado busca utilizar um experimento como instrumento para favorecer o desenvolvimento das funções mentais superiores, alcançando a Zona de Desenvolvimento Proximal através das interações entre os alunos e seus signos já internalizados e diante da mediação do professor para obtenção de uma aprendizagem contextualizada.

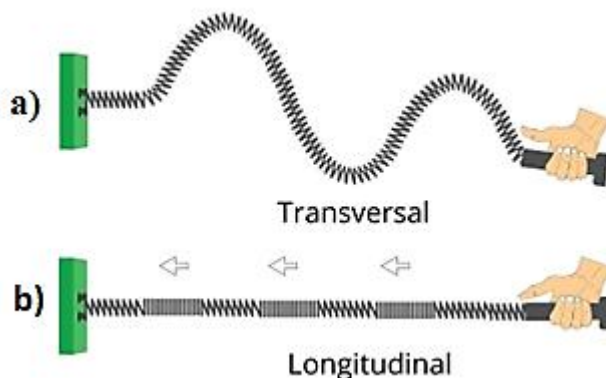
3.3 Estudo das Ondas

O estudo das ondas é fundamental para o entendimento de muitos fenômenos naturais e do funcionamento de vários dispositivos eletrônicos que estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano, além de ter uma vasta aplicação nas engenharias. As ondas estão presentes quando escutamos uma música, apreciamos o mar, fazemos uma ligação pelo celular, ligamos um forno micro-ondas, acendemos uma lâmpada, realizamos um exame de ultrassom e em diversas outras situações das nossas vidas.

Uma onda pode ser definida como uma perturbação causada em um meio material ou não, transportando energia de uma região para outra desse meio, mas sem transportar matéria. A onda pode ser classificada quanto à sua natureza como mecânica, que precisa de um meio material para propagar-se, ou como eletromagnética, que não possui essa necessidade, podendo se propagar pelo vácuo.

A onda também pode ser classificada como transversal ou longitudinal. Quando a oscilação ocorre perpendicularmente a direção de propagação, tem-se uma onda transversal (figura 3.3.1a). Já quando a vibração é paralela à direção de propagação, a onda é definida como longitudinal (figura 3.3.1b).

Figura 3.3.1. (a) Onda transversal em uma mola. **(b)** onda longitudinal em uma mola.

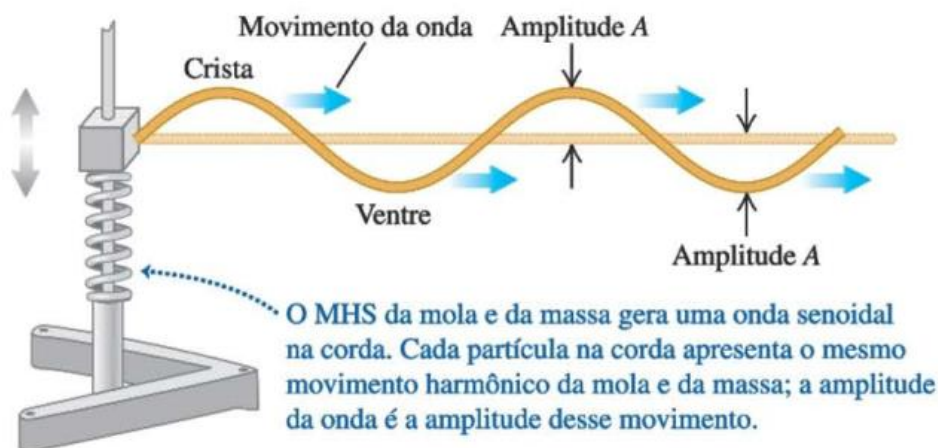


Fonte: Página do mundoeducacao.³

³ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ondas-mecanicas.htm>

A perturbação provocada pela onda se propaga com uma velocidade estabelecida pelo meio e é denominada de **velocidade da onda**. Para um melhor entendimento do movimento periódico da onda, pode ser utilizado um **movimento harmônico simples** (MHS) provocado pela oscilação de sistema massa mola como representado na figura 3.3.2.

Figura 3.3.2. Bloco preso a uma mola sofrendo um movimento harmônico simples e produzindo uma onda transversal senoidal que se propaga em uma corda.



Fonte: YOUNG & FREEDMAN (2015).

O sistema produz na corda uma onda transversal senoidal de amplitude A , frequência f , frequência angular $\omega = 2\pi f$, e período $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$. A onda resultante é formada por *cristas* e *ventres*. “O comprimento de onda λ (a letra grega *lambda*) da onda é a distância entre duas cristas sucessivas ou entre dois ventres consecutivos, ou de qualquer ponto até o ponto correspondente na próxima repetição da forma da onda.”. Como o padrão da onda se move com velocidade constante percorrendo uma distância λ em um intervalo de tempo igual ao período T , temos que a **velocidade da onda** é dada por $v = \frac{\lambda}{T}$, sendo $f = \frac{1}{T}$, chega-se a seguinte equação:

$$v = \lambda \cdot f. \quad (3.3.1)$$

3.3.1 Ondas Sonoras

O som é uma onda longitudinal que pode se propagar em meios sólidos, líquidos ou gasosos. As ondas sonoras mais simples são ondas senoidais, que possuem amplitude, frequência e comprimento de onda bem definidos. O ouvido humano é sensível a sons de frequências compreendidas entre 20 e 20 000 Hz, sendo sons de frequências abaixo desse

limite inferior chamadas de **infrassom**, e sons de frequências acima desse limite superior chamadas de **ultrassom** (YOUNG & FREEDMAN, 2015).

As ondas sonoras também podem ser caracterizadas em função de variações de pressão em diversos pontos. “Em uma onda sonora senoidal no ar, a pressão flutua acima e abaixo da pressão atmosférica P_a em uma variação senoidal com a mesma frequência que os movimentos das partículas do ar.” (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p. 155).

De acordo com Serway (2014), a variação ΔP da pressão do fluido calculado a partir do seu equilíbrio é dado por

$$\Delta P = \Delta P_{\text{máx}} \sin(kx - \omega t). \quad (3.3.2)$$

A **amplitude da pressão** $\Delta P_{\text{máx}}$ é a variação máxima na pressão em relação ao valor de equilíbrio, k é o número de onda angular dado por $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, x é a posição horizontal, ω é a frequência angular dada por $\omega = \frac{2\pi}{T}$ e t é o tempo. A equação 3.3.2 representa a **onda de pressão**. A amplitude da pressão é proporcional à de deslocamento $S_{\text{máx}}$:

$$\Delta P_{\text{máx}} = \rho v \omega S_{\text{máx}}. \quad (3.3.3)$$

em que ρ é a densidade do meio, v a velocidade da onda e $\omega S_{\text{máx}}$ a velocidade longitudinal máxima de um elemento do meio. São essas variações de pressão em uma onda sonora que resultam em uma força oscilando no tímpano, levando à sensação de audição (SERWAY E JEWETT JR., 2014).

3.3.2 Velocidade do Som

A velocidade do som, por ser uma onda mecânica, depende das propriedades inerciais (relacionada a energia cinética) e elásticas (relacionada a energia potencial) do meio em que se propaga (HALLIDAY & RESNICK, 2011).

Essa velocidade também tem uma relação direta com a temperatura do meio. Considerando o ar como meio de propagação, pode-se encontrar a velocidade da onda sonora utilizando a expressão:

$$v = 331 \sqrt{1 + \frac{T_c}{273}}. \quad (3.3.4)$$

em que v está em metros por segundo, 331 m/s é a velocidade do som a 0 °C e T_c é a temperatura do ar em graus Celsius (SERWAY E JEWETT JR., 2014). Com essa equação encontramos que a velocidade do som no ar a 30 °C, por exemplo, vale aproximadamente 349 m/s. A tabela 3.3.1 mostra o valor da velocidade do som em diversos meios.

Tabela 3.3.1. Velocidade do som em diversos meios.

Meio		Meio		Meio	
Gases	v (m/s)	Líquidos at 25°C	v (m/s)	Sólidos	v (m/s)
Hidrogênio (0 °C)	1286	Água do mar	1533	Ferro	5950
Ar (20 °C)	343	Água	1493	Alumínio	6420
Ar (0 °C)	331	Mercúrio	1450	Cobre	5010
Oxigênio (0 °C)	317	Querosene	1324	Ouro	3240
		Álcool metílico	1143	Borracha	1600

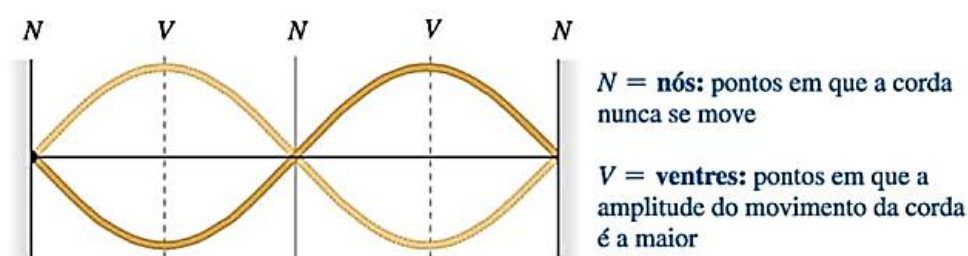
Fonte: (SERWAY E JEWETT JR., 2014).

3.3.3 Ondas Estacionárias e Ressonância

De acordo com Halliday e Resnick (2011) e Young e Freedman (2015), o fenômeno da superposição de ondas ocorre quando uma onda senoidal contínua, em uma corda, por exemplo, se propagando para um determinado sentido é refletida começando a se propagar no sentido oposto, encontrando-se assim com a onda incidente e provocando uma interferência entre elas. “O princípio da superposição explica como as ondas incidentes e refletidas se combinam formando uma **onda estacionária**.” (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p. 135).

Ainda segundo Halliday e Resnick (2011), para frequências específicas, tem-se a produção de uma onda estacionária, composta por nós (amplitude nula) e ventres (amplitude máxima) como mostrado na figura 3.3.3. “Dizemos que uma onda estacionária desse tipo é gerada quando existe **ressonância** e que a corda **ressoa** nessas frequências, conhecidas como **frequências de ressonância**.” (HALLIDAY & RESNICK, 2011, p. 137).

Figura 3.3.3. Formação da onda estacionária.

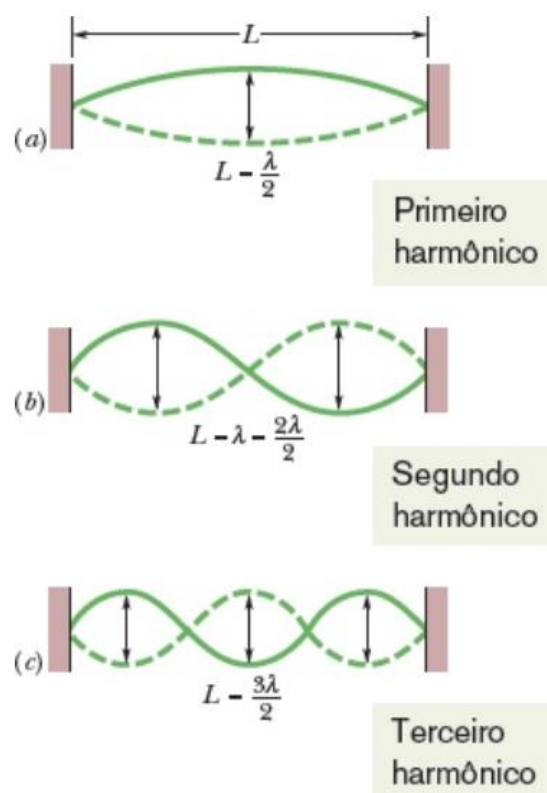


Fonte: YOUNG & FREEDMAN (2015).

Para conseguir uma expressão que forneça as frequências de ressonância, podemos considerar uma corda de comprimento L , com as extremidades fixas, sendo posta para oscilar com certa frequência. O arranjo mais simples obtido é formado por um ventre no centro da corda e um nó em cada extremidade (figura 3.3.4a). Nota-se que o comprimento L da corda corresponde à metade do comprimento de onda, com isso, as ondas que produzem essa interferência precisam ter um comprimento de onda $\lambda = 2L$.

Um segundo arranjo pode ser formado aumentando a frequência de oscilação da corda até que sejam formados dois ventres (figura 3.3.4b), para isso, verifica-se que as ondas que provocam essa interferência necessitam ter um comprimento de onda $\lambda = L$. Continuando a aumentar a frequência de oscilação, obtém-se três ventres (figura 3.3.4c), com o comprimento da onda sendo $\frac{2L}{3}$. Seguindo essa progressão, seria possível verificar que o arranjo formado sempre teria um nó e um ventre a mais que o anterior e meio comprimento de onda incorporado na distância L .

Figura 3.3.4. Corda de comprimento L com as extremidades fixas. (a) arranjo obtido com meio comprimento de onda. (b) arranjo obtido com um comprimento de onda. (c) arranjo obtido com um e meio comprimento de onda.



Fonte: HALLIDAY & RESNICK (2011).

Tem-se então, que uma onda estacionária pode ser formada desde que uma corda de comprimento L oscile com um comprimento de onda que satisfaça a expressão:

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \text{ em que } n = 1, 2, 3 \dots \quad (3.3.5)$$

Combinando as equações 3.3.1 e 3.3.5, obtém-se a expressão para o cálculo da frequência de ressonância

$$f = n \frac{v}{2L}, \text{ em que } n = 1, 2, 3 \dots \quad (3.3.6)$$

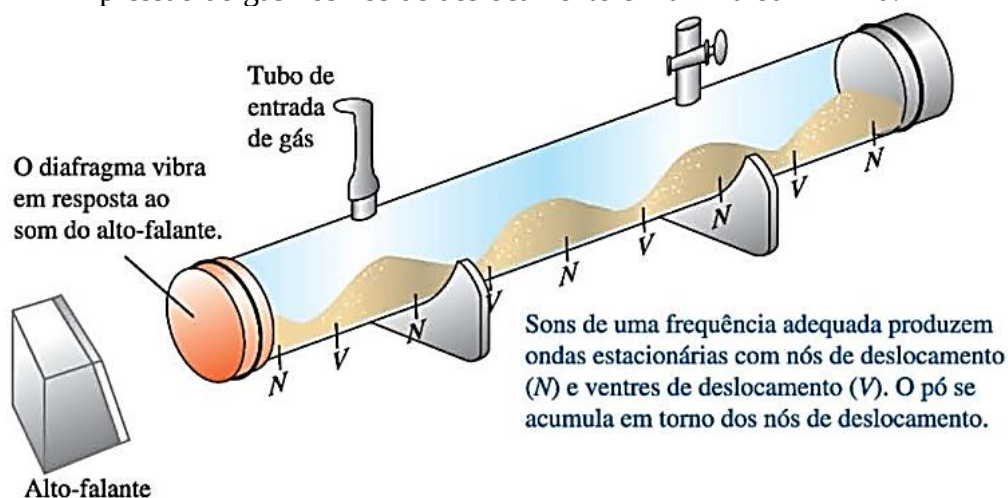
A equação 3.3.6 demonstra que as frequências de ressonâncias são múltiplos inteiros da menor frequência ressonante, quando $n = 1$, que é conhecida como **frequência fundamental** ou **primeiro harmônico**. Para $n = 2$ temos o **segundo harmônico**, $n = 3$ o **terceiro harmônico** e assim sucessivamente. O conjunto de todas essas frequências é chamado de **série harmônica**, e n é denominado como **número harmônico** do enésimo harmônico (HALLIDAY & RESNICK, 2011).

3.3.4 Tubo de Kundt

O físico alemão August Adolf Eduard Eberhard Kundt (1839-1894) desenvolveu em 1866 um aparato experimental com a finalidade de medir a velocidade do som em meios gasosos e como consequência pode também estudar os estados de ressonância do som (harmônicos). Esse experimento ficou conhecido como **Tubo de Kundt**.

O tubo de Kundt (figura 3.3.5) consiste em um tubo de vidro da ordem de 1,0 m de comprimento com uma de suas extremidades fechada. Na outra extremidade possui um diafragma flexível que vibra na presença de um alto-falante acionado por um amplificador e um gerador de áudio que produz ondas sonoras senoidais de frequências variadas. Essas ondas sonoras são refletidas na extremidade fechada do tubo. Dentro do tubo é espalhada uma pequena quantidade de pó fino (YOUNG & FREEDMAN, 2015).

Figura 3.3.5. Demonstração de ondas sonoras estacionárias por meio de um tubo de Kundt. As regiões sombreadas representam a densidade do gás no instante em que a pressão do gás nos nós de deslocamento é máxima ou mínima.



Fonte: YOUNG & FREEDMAN (2015).

O pó vai se espalhando ao longo do tubo pelo ar em movimento e ao passar pelas frequências ressonantes, as amplitudes das ondas estacionárias crescem consideravelmente, deixando o pó em repouso nos locais onde existem nós de deslocamento (baixa pressão). A distância entre dois nós consecutivos vale $\lambda/2$. Já os ventres de deslocamentos são formados nas regiões de alta pressão, onde as partículas do ar estão mais próximas e com maior velocidade (figura 3.3.6).

Figura 3.3.6. Esquematização das regiões de baixa e alta pressão dentro do tubo de Kundt.



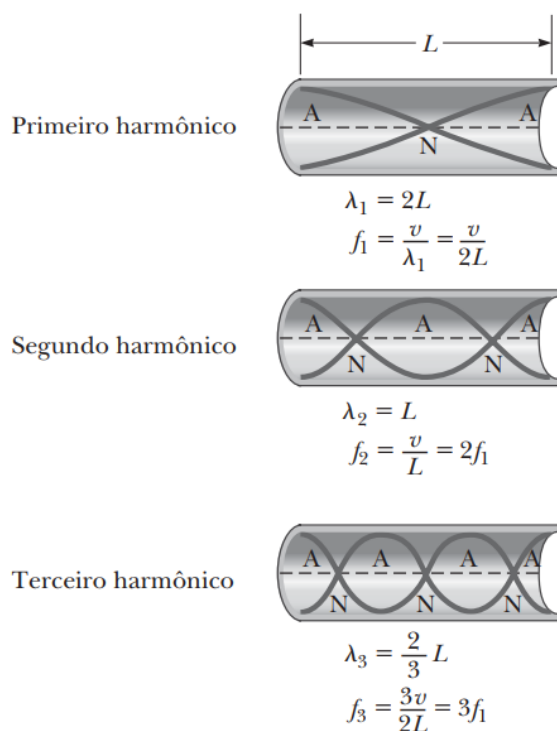
O tubo de Kundt se comporta como um tubo sonoro aberto cujas equações podem ser adaptadas da Física dos tubos sonoros, a qual explica, por exemplo, o som originado em instrumentos de sopro.

Instrumentos de sopro são constituídos por tubos cheios de ar capazes de produzir ondas sonoras estacionárias emitindo vários tons musicais. Dentro desses tubos, as ondas

são refletidas em suas extremidades, que podem ser abertas ou fechadas, formando uma superposição das ondas que se propagam em sentidos opostos e produzindo ondas estacionárias para determinadas frequências sonoras. Essas frequências capazes de produzir tal fenômeno são chamadas de frequências de ressonância.

Em **tubos sonoros abertos**, em que as duas extremidades são abertas, há a formação de antinós (ventres) nas extremidades. Na configuração mais simples de uma onda estacionária nesses tubos, forma-se um nó no centro e o comprimento de onda deve ser igual ao dobro do comprimento do tubo $\lambda=2L$. Essa configuração é chamada de modo fundamental ou primeiro harmônico. Para o segundo harmônico, o comprimento das ondas sonoras é $\lambda=L$, para o terceiro harmônico é $\lambda=2L/3$, e assim sucessivamente (HALLIDAY & RESNICK, 2011). A figura 3.3.7 mostra os três primeiros harmônicos formados em um tubo sonoro aberto.

Figura 3.3.7. Os três primeiros harmônicos formados em um tubo sonoro aberto.



Fonte: (SERWAY E JEWETT JR., 2014).

De modo geral, as frequências de ressonância de um tubo sonoro aberto de comprimento L correspondem a comprimentos de ondas dados por

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \text{ em que } n = 1, 2, 3 \dots \quad (3.3.7)$$

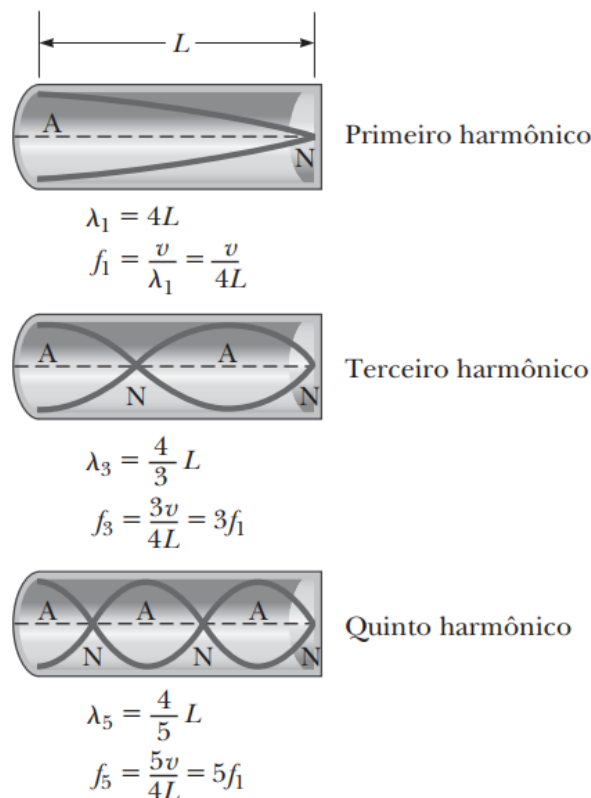
Sendo n o número do harmônico associado.

Considerando que a velocidade do som é dada pela equação 3.3.1, pode-se relacioná-la com a equação 3.3.7 para obter as frequências de ressonância de um tubo sonoro aberto com a expressão:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{2L}, \text{ em que } n = 1, 2, 3 \dots \quad (3.3.8)$$

Para **tubos sonoros fechados**, no qual uma extremidade é fechada e a outra é aberta, há a formação de um antinó na extremidade aberta e de um nó na extremidade fechada. O primeiro harmônico produzido nesses tubos possui um comprimento de onda equivalente ao quádruplo do comprimento do tubo $\lambda = 4L$. O próximo modo formado ocorre para o terceiro harmônico em que $\lambda = 4L/3$, e assim por diante. É importante notar que não é possível gerar harmônicos pares nos tubos sonoros fechados, portanto não existe o 2º harmônico, por exemplo. A figura 3.3.8 mostra os três primeiros harmônicos formados em um tubo sonoro fechado.

Figura 3.3.8. Os três primeiros harmônicos formados em um tubo sonoro fechado.



Fonte: (SERWAY E JEWETT JR., 2014).

De modo geral, as frequências de ressonância de um tubo sonoro fechado de comprimento L correspondem a comprimentos de ondas dados por

$$\lambda = \frac{4L}{n}, \text{ em que } n = 1, 3, 5 \dots \quad (3.3.9)$$

Sendo o número do harmônico n um número ímpar. As frequências de ressonância de um tubo sonoro fechado são

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{4L}, \text{ em que } n = 1, 3, 5 \dots \quad (3.3.10)$$

3.3.5 Qualidades fisiológicas do som

O som pode ser caracterizado de acordo com alguns aspectos fisiológicos que estão relacionados com a percepção do ser humano aos estímulos provocados por ele, como intensidade, timbre, altura e nível sonoro. Essas propriedades são importantes quando relacionadas com a acústica musical, pois elas podem classificar os sons que são emitidos por vários instrumentos musicais.

A altura define o quão grave ou agudo é um som e é determinada pela frequência da onda sonora. Um som alto (agudo) possui frequência maior do que um som mais baixo (grave).

A intensidade do som (volume) está relacionada com a amplitude da onda sonora. Quanto maior a potência da fonte sonora, maior será a amplitude da onda e conseqüentemente maior a energia transportada. Sons de maior amplitude são denominados fortes e os de menor amplitude são chamados de fracos.

O timbre é a identidade do som, ele possibilita distinguir os sons emitidos por instrumentos musicais diferentes, mesmo que estejam na mesma nota musical.

O nível sonoro é a qualidade determinada pela razão entre a intensidade do som e a intensidade mínima audível pelo ouvido humano. O nível sonoro é medido em Decibéis (dB).

4 – Metodologia

4.1 Produto Educacional

O produto educacional consiste em uma sequência didática para aplicação do experimento tubo de Kundt utilizando a plataforma Arduino para o estudo de ondas estacionárias e frequências de ressonância de forma interativa.

A elaboração do experimento será descrita nos seguintes subtópicos:

- **4.1.1 Montagem do circuito**, com a indicação de todos os dispositivos utilizados e suas ligações com o Arduino;
- **4.1.2 Instalação do software Arduino**, demonstra como instalar o programa que carregará o microprocessador;
- **4.1.3 Sketch do Arduino**, descreve o código criado para a geração de ondas sonoras senoidais e demonstra como executá-lo no software e carregá-lo na placa Arduino;
- **4.1.4 Montagem do tubo de Kundt**, apresenta os materiais utilizados e o passo a passo da armação do experimento e seu acoplamento com o circuito montado.

A sequência didática de implementação do experimento é descrita na seção **4.1.5 Sequência Didática**, apresentando como deve ser feita a aplicação em sala de aula.

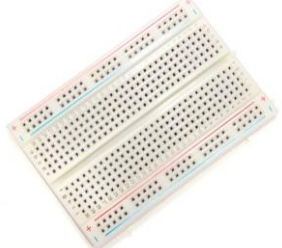
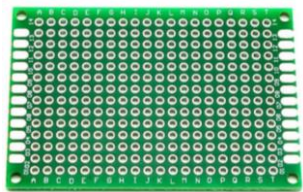
4.1.1 Montagem do circuito

A tabela 4.1.1 apresenta os dispositivos utilizados para montagem do circuito responsável pela geração de ondas sonoras senoidais, com o detalhamento de suas funções.

Tabela 4.1.1. Dispositivos utilizados na montagem do circuito com suas funções e ilustrações.

DISPOSITIVO	FUNÇÃO	ILUSTRAÇÃO
Arduino UNO R3	Controlar todos os dispositivos enviando os comandos inseridos no Sketch (programação).	 Fonte: Arduino.cc ⁴

⁴ Disponível em: <<https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>>. Acesso em: 15 jul. 2022.

Cabo USB Arduino	Fazer a ligação (comunicação) entre a placa Arduino e o computador.	 Fonte: arduinoeletronica⁵
Protoboard	Fazer uma extensão da saída de 5V e do GND da placa Arduino para serem ligadas aos outros componentes do circuito.	 Fonte: shopee⁶
Placa de circuito interno	Alternativa mais barata para substituir a protoboard. A desvantagem é que as trilhas nessa placa devem ser feitas com o uso de um ferro de solda.	 Fonte: institutodigital⁷
Jumpers	Fazer as ligações entre os dispositivos.	 Fonte: filipeflop⁸
Encoder Rotativo	Utilizado para selecionar as frequências que serão emitidas pelo gerador de áudio. Ele possui um botão (pressionando o eixo central) que servirá para adiantar o passo na seleção das frequências.	 Fonte: arduinoecia⁹

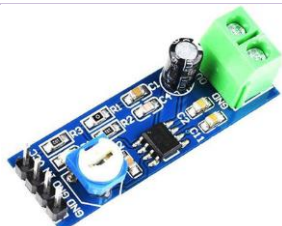
⁵ Disponível em: <<https://www.arduinoeletronica.com.br/produto/cabo-usb-tipo-a-b-perfeito-para-arduino-uno-mega-e-leonardo/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

⁶ Disponível em: <<https://shopee.com.br/Protoboard-Breadboard-De-400-Pontos-Furos-i.303566966.5953677982>>. Acesso em: 19 set. 2022.

⁷ Disponível em: <<https://www.institutodigital.com.br/produto/placa-de-circuito-impresso-ilhada-de-fibra-de-vidro-5x7-cm/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

⁸ Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/jumpers-macho-macho-x40-unidades/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

⁹ Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/como-usar-encoder-rotativo-ky-040-arduino/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

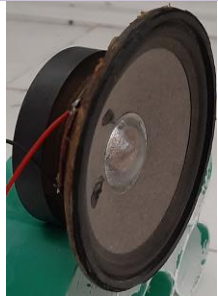
Botão	Reduzir o passo na seleção das frequências emitidas pelo gerador de áudio.	 Fonte: vidadesilicio ¹⁰
Potenciômetro 10K	Usado para controlar o contraste do LCD, e deve ser ajustado sempre que ligar o display para poder visualizar bem cada caractere.	 Fonte: fermarc ¹¹
Display LCD 16x2	Utilizado para visualizar as frequências que estão sendo emitidas e o passo utilizado para suas variações.	 Fonte: próprio autor
Gerador de áudio AD 9850	Produzir ondas sonoras senoidais de frequências variadas. Ele é capaz de produzir frequências de 0 a 30 Mhz.	 Fonte: curtocircuito ¹²
Amplificador LM 386	Amplificar e enviar o sinal de áudio do gerador para ser reproduzido no alto-falante.	 Fonte: submarino ¹³

¹⁰ Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/produto/chave-tactil-12x12/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

¹¹ Disponível em: < <https://www.fermarc.com/potenciometro-linear-10k-l20/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

¹² Disponível em: < <https://www.curtocircuito.com.br/modulo-gerador-de-frequencia-ate-40mhz-ad9850.html>>. Acesso em: 19 set. 2022.

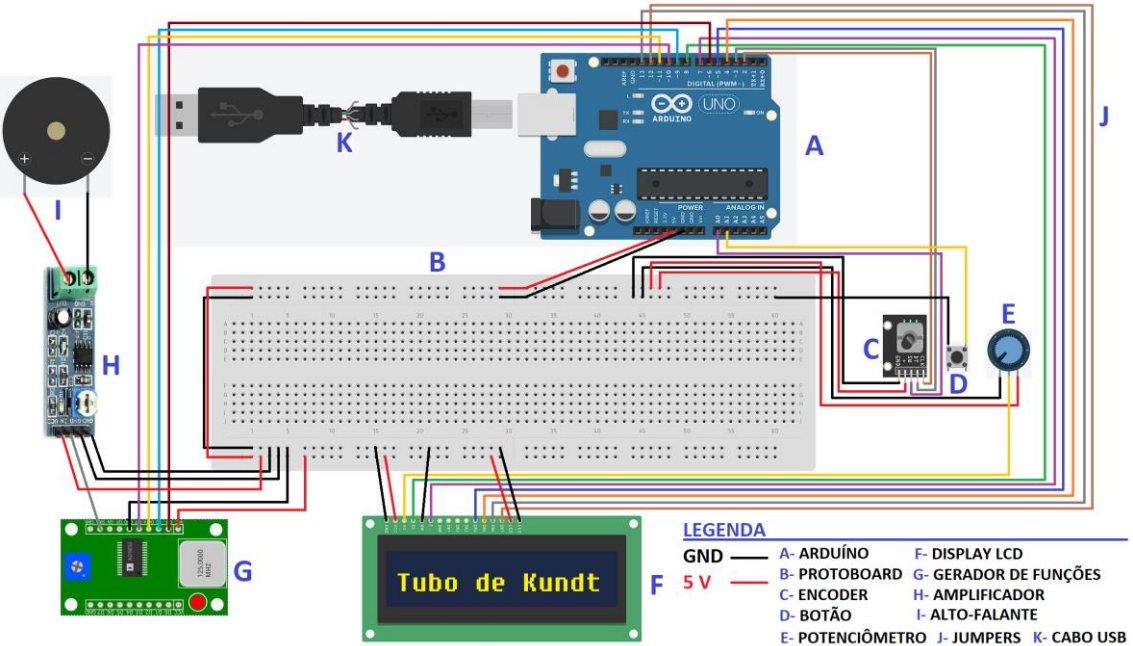
¹³ Disponível em: < <https://www.submarino.com.br/produto/4059483001/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

Alto-falante 3 W 5 Ω	Emitir a onda sonora amplificada dentro do tubo.	 Fonte: próprio autor
---	---	--

Todos os dispositivos utilizados para montagem do circuito podem ser encontrados em lojas de eletrônica ou em sites de vendas deste seguimento.

O circuito tem a finalidade de produzir ondas sonoras senoidais com frequências variadas que podem ser controladas pelo encoder e visualizadas pelo display LCD. A imagem 4.1.1 exibe a esquematização das ligações do circuito. Todas as ligações foram feitas através dos Jumpers.

Figura 4.1.1. Esquematização das ligações do circuito.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

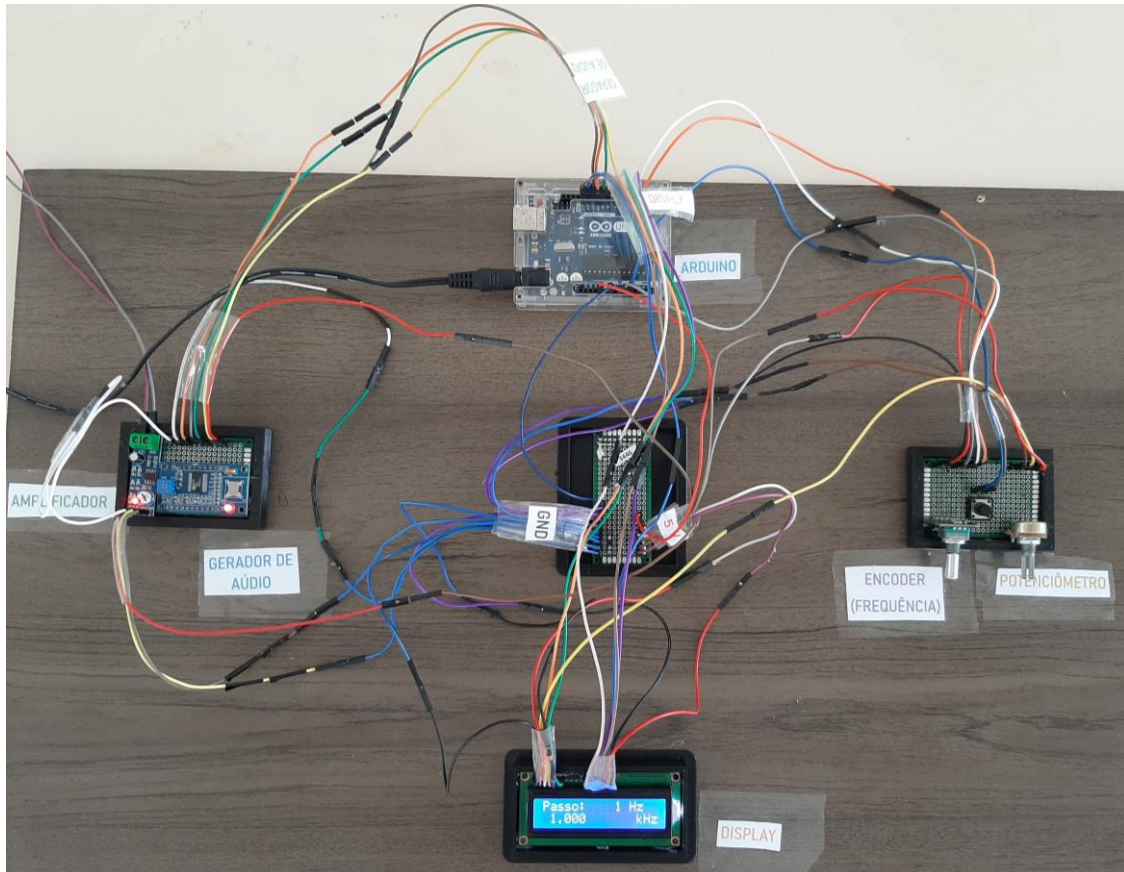
Para facilitar a visualização das conexões entre os dispositivos e os pinos do Arduino, foi elaborada a tabela 4.1.2.

Tabela 4.1.2. Conexões entre os dispositivos e o Arduino.

DISPOSITIVO	PINO DO DISPOSITIVO	PINO DO ARDUINO
Encoder Rotativo	CLK	2
	DT	3
	SW	A0
	+	5 V
	GND	GND
Botão	ESQUERDO	GND
	DIREITO	A1
Potenciômetro 10K	ESQUERDO	GND
	MEIO	V0 (PINO DO DISPLAY)
	DIREITO	5 V
Display LCD 16x2	GND	GND
	VCC	5 V
	V0	MEIO (PINO DO POTENCIÔMETRO)
	RS	8
	RW	GND
	E	7
	D4	5
	D5	4
	D6	13
	D7	12
	A	5 V
	K	GND
Gerador de áudio AD 9850	VCC	5 V
	W_CLK	6
	FU_UD	9
	DATA	11
	RESET	10
	GND	GND
	SINE OUTPUT 1	IN (PINO DO AMPLIFICADOR)
Amplificador LM 386	VCC	5V
	IN	SINE 1 (PINO DO GERADOR DE ÁUDIO)
	GND	GND

	GND	GND
Alto-falante 3 W 5 Ω	+	OUT (PINO DO AMPLIFICADOR)
	-	GND DO AMPLIFICADOR

Figura 4.1.2. Circuito montado.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Após a montagem do circuito (figura 4.1.2) é necessário instalar o software Arduino no computador, etapa descrita no subcapítulo 4.1.2 Instalação do software Arduino. Na sequência deve-se inserir o sketch no software para carregar a placa Arduino, esse processo está retratado no subtópico 4.1.3 Sketch do Arduino.

4.1.2 Instalação do software Arduino

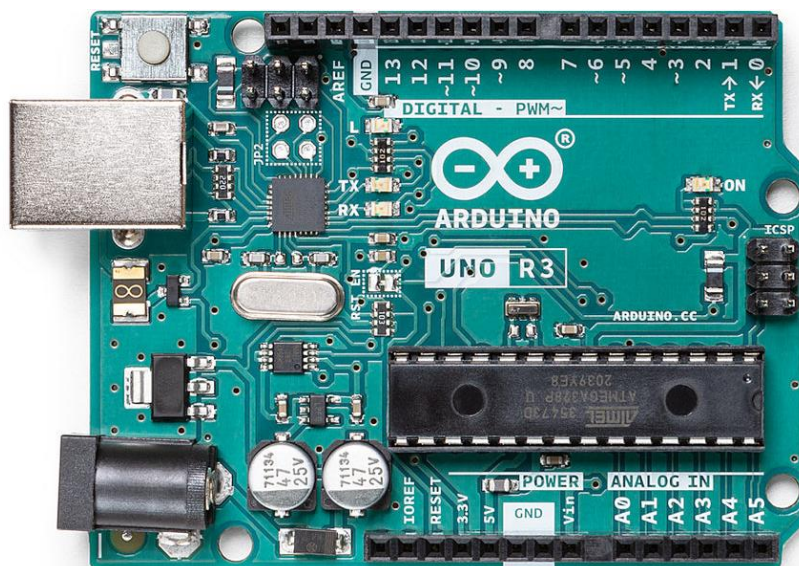
O Arduino é um microcontrolador de código aberto (hardware e software) que foi idealizado pelo italiano Massimo Banzi, juntamente com outros colaboradores, no Ivrea Interaction Design Institute, como um instrumento acessível de prototipagem rápida, dirigida a estudantes de design e artes sem nenhuma formação em eletrônica e

programação. Com ele é possível controlar diversos circuitos utilizando uma linguagem de programação Arduino (baseada em Wiring), e o Software Arduino (IDE), baseado em Processing (ARDUINO.CC, 2018).

O hardware da placa é constituído pelo microprocessador Atmega da Atmel de 8 bits, componentes de entrada e saída e memória. O software é uma IDE (Integrated Development Environment), baseado em uma linguagem de programação C++, usada para compilar pequenos programas denominados sketch, que são enviados para a placa Arduino utilizando uma comunicação serial. É o sketch que irá comandar as ações da placa em operação. Uma vez que o Arduino já esteja carregado com a programação, ele pode executar as tarefas de forma autônoma, sendo ligado diretamente a uma fonte de tensão (recomendada de 7 a 12 V).

Uma das grandes vantagens que levam a utilização do Arduino é o seu baixo custo, o modelo UNO R3 (figura 4.1.3), por exemplo, que foi utilizado neste produto, custa em média R\$ 60,00. Outro ponto interessante é que possui uma plataforma de código aberto, podendo compartilhar códigos e experiências com todos que estejam interessados. No site arduino.cc, existem vários projetos e possibilidades de utilização da placa disponíveis, além de vários fóruns à disposição para sanar dúvidas.

Figura 4.1.3. Arduino Uno é uma placa microcontroladora baseada no ATmega328P.



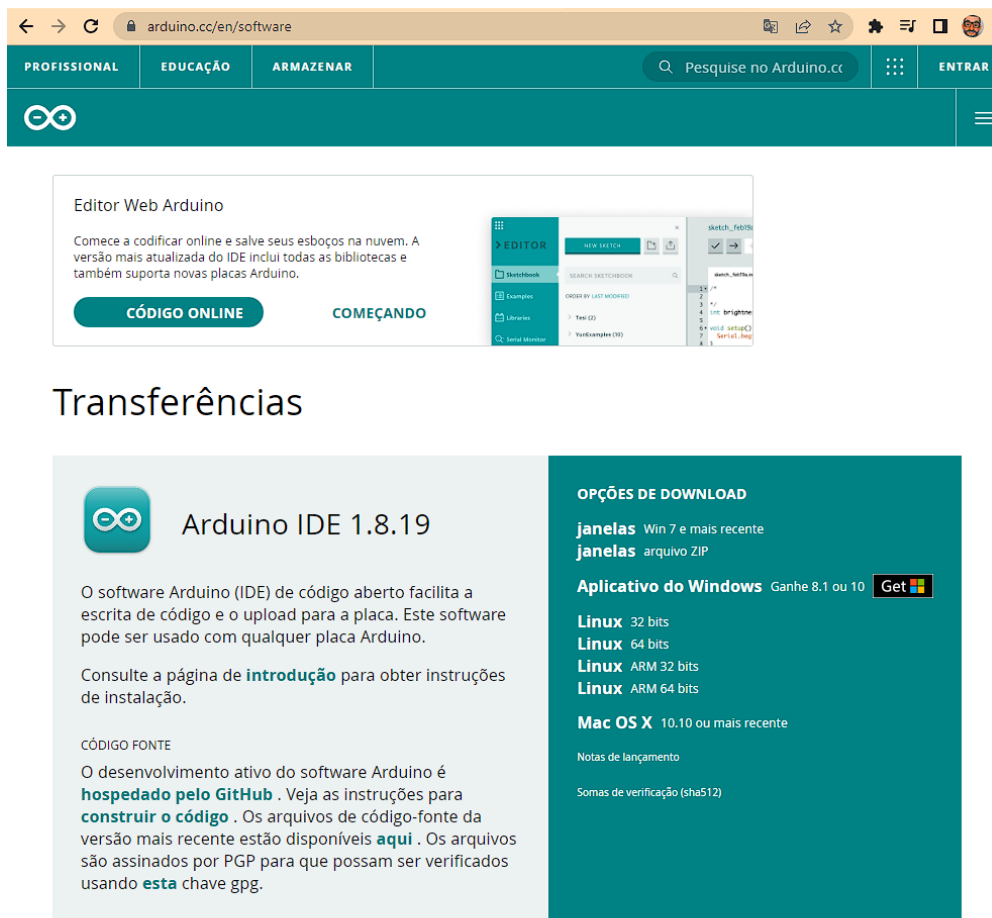
Fonte: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>

A plataforma Arduino possui uma infinidade de aplicações que podem ser úteis para o Ensino de Física, como utilização de sensores de temperatura, pressão, umidade,

luz, ultrassônicos (para medição de distâncias), de gases, entre outros. Com ele também é possível montar circuitos eletrônicos com leds, motores, resistores, capacitores e vários outros componentes. No trabalho em questão, o Arduino foi utilizado para criar um circuito gerador de ondas sonoras senoidais responsáveis pela formação das ondas estacionárias dentro de um tubo.

O download do software pode ser feito pelo site: <https://www.arduino.cc/en/software> (figura 4.1.4).

Figura 4.1.4. Página da internet para download do software Arduino.

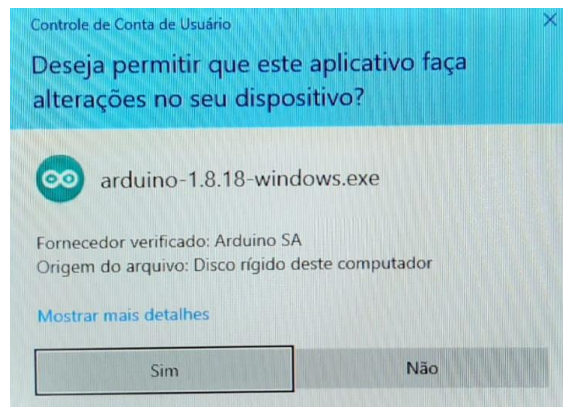


Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Após entrar no site indicado, faça o download do software de acordo com o seu sistema operacional. No momento do download da versão atual 1.8.19, o site foi direcionado para uma página solicitando uma doação para seguir com o download. Para não precisar realizar essa doação, pode-se baixar a versão anterior 1.8.18, que também irá funcionar perfeitamente.

Após o término do download, abra a pasta de destino e click no aplicativo para fazer a instalação no computador (figura 4.1.5).

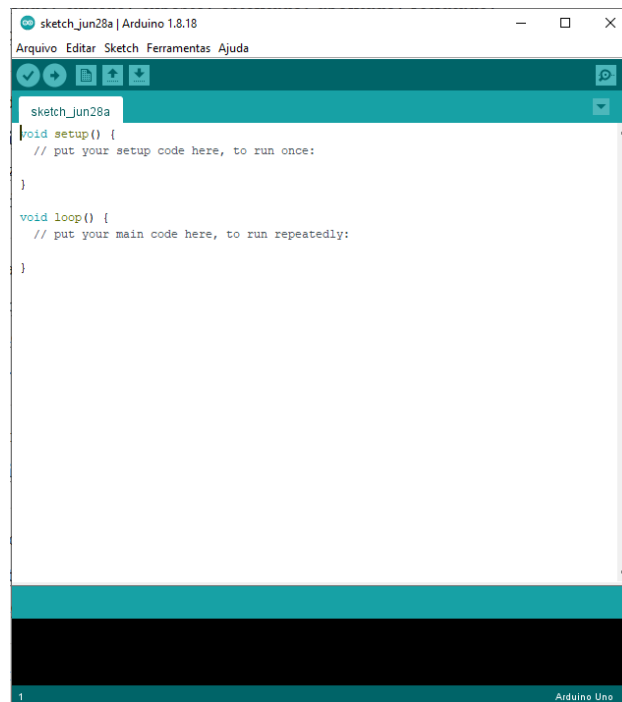
Figura 4.1.5. Instalação do software Arduino.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

O sistema pedirá solicitação para instalar alguns softwares adicionais, aceite todos para completar a instalação. Ao término, aparecerá um ícone do programa na área de trabalho. A figura 4.1.6 mostra a tela ao abrir o software, o Arduino IDE, que é a interface de comunicação entre o computador e a placa Arduino. Nele será colocado o sketch para iniciar o funcionamento do circuito, processo exposto na seção 4.1.3 Sketch do Arduino.

Figura 4.1.6. Tela inicial do Arduino IDE.



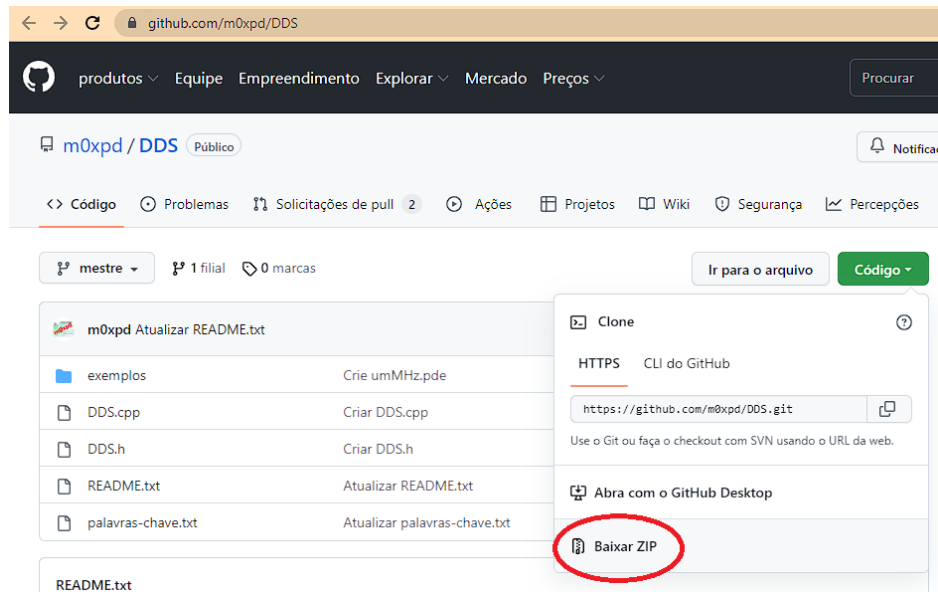
Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

4.1.3 Sketch do Arduino

O Sketch é o código (programação) que será utilizado para operar o circuito gerador de ondas sonoras e deverá ser escrito no Arduino IDE, onde será verificado e em seguida carregado para a placa Arduino.

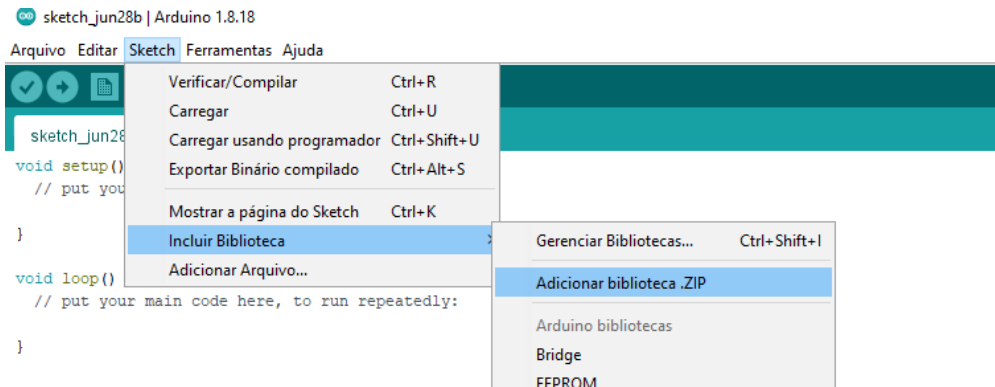
Para o funcionamento do código desenvolvido, há a necessidade de se utilizar **bibliotecas**, que são um conjunto de códigos responsáveis pela rotina de um determinado dispositivo que será gerenciado pelo Arduino. Algumas bibliotecas já estão presentes por padrão no Arduino IDE, já outras precisam ser instaladas. O método para instalação de novas bibliotecas consiste em realizar o seu download no formato compactado zip (figura 4.1.7) e depois incluí-la através do menu Sketch > Incluir Biblioteca > Adicionar biblioteca .ZIP, demonstrado na figura 4.1.8. Sempre que incluir uma nova biblioteca, deve-se fechar e reiniciar o Arduino IDE.

Figura 4.1.7. Como fazer o download de uma biblioteca no formato .ZIP.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Figura 4.1.8. Caminho para incluir uma nova biblioteca.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Para o projeto em questão, são utilizadas as seguintes bibliotecas:

- <DDS.h>: biblioteca responsável pelo gerador de áudio AD9850. A biblioteca está disponível para ser baixada no site: <https://github.com/m0xpd/DDS>;
- <Rotary.h>: biblioteca que gerencia o encoder rotativo. A biblioteca está disponível para download no site: <https://github.com/brianlow/Rotary>;
- <LiquidCrystal.h>: biblioteca atribuída ao gerenciamento do display LCD. A biblioteca já vem disponibilizada por padrão no Arduino IDE.

Após a inclusão das novas bibliotecas, o Sketch já pode ser escrito no Arduino IDE.

SKETCH

```
#include <DDS.h> //biblioteca do AD9850
// Pinos do módulo AD9850:
const int W_CLK = 6;
const int FQ_UD = 9;
const int DATA = 11;
const int RESET = 10;
//double freq = 0;
DDS dds(W_CLK, FQ_UD, DATA, RESET); // Associação a biblioteca

#include <LiquidCrystal.h> //Biblioteca do LCD
LiquidCrystal lcd(8, 7, 5, 4, 13, 12); // Pinagem do LCD (RS,E,D4,D5,D6,D7)

#include <Rotary.h> //Biblioteca do Encoder

// Interrupção para o botão
#define stepPin1 A0 // Definindo os Pinos de interrupção do encoder
#define stepPin2 A1

Rotary r = Rotary(2, 3); // Associando os pinos a interrupção

// Frequência inicial
long unsigned int freq = 1000;

// Preparando vetor para escrever as unidades de frequência no LCD
char* stepText[11] = {" 1 Hz", " 10 Hz", " 50 Hz", "100 Hz", "500 Hz", " 1 kHz", "2.5 kHz",
                     " 5 kHz", " 10 kHz", "100 kHz", "500 kHz"};

int stepPointer = 0; // Variável que indicará o passo de evolução da frequência
unsigned long incr = 0; //passo
String units = stepText[stepPointer];

void setup() {

  lcd.begin(16, 2); // Inicia o lcd de 16x2
  lcd.clear(); // Limpa o display

  dds.init();
  dds.trim(125000000); // Entra com a frequência do oscilador

  pinMode(2, INPUT_PULLUP); // Pinos direcionados a interrupção
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
```

```

pinMode(stepPin1, INPUT_PULLUP); //Pino para o botão de incremento do passo
no próprio encoder
pinMode(stepPin2, INPUT_PULLUP); //Pinos para o botão de decremento do passo

// Configura a interrupção do Encoder
PCICR |= (1 << PCIE2);
PCMSK2 |= (1 << PCINT18) | (1 << PCINT19);
sei();

//Atualiza o LCD
updateDisplay();
}
void loop()
{
    if (analogRead(stepPin1) <100 )
    {
        if (stepPointer < 10){ stepPointer++; delay(500);}
        updateDisplay(); }
    if (analogRead(stepPin2) <100) {
        if (stepPointer > 0){ stepPointer--; delay(500);}
        updateDisplay();
    } }
ISR(PCINT2_vect) {
    unsigned char result = r.process();
    if (result) {
        if (result == DIR_CW) {
            if ((freq + incr) <= 10000000) freq += incr;
        } else {
            if ((freq - incr) >= 10) freq -= incr;
        }
        if (freq <= 10) freq = 1000;
        if (freq >= 10000000) freq = 10000000;
    }
    dds.setFrequency(freq);
    updateDisplay();
}
void getStep() {
    switch (stepPointer) {
        case 0: incr = 1; break;
        case 1: incr = 10; break;
        case 2: incr = 50; break;
        case 3: incr = 100; break;
        case 4: incr = 500; break;
        case 5: incr = 1000; break;
        case 6: incr = 2500; break;
        case 7: incr = 5000; break;
        case 8: incr = 10000; break;
        case 9: incr = 100000; break;
        case 10: incr = 500000; break;
    } }
}

```

```

void updateDisplay() {
  getStep();
  units = stepText[stepPointer];

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Passo:");
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print(units);

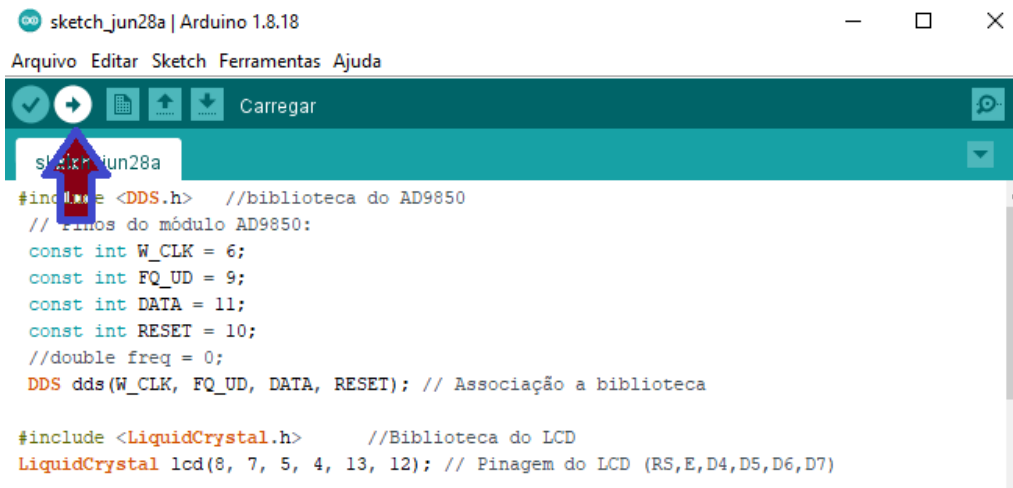
  if (freq < 1000)
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    if (freq < 1000) lcd.print(" ");
    if (freq < 100) lcd.print(" ");
    lcd.print(freq);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(" Hz");
  }
  else
  if (freq < 1000000) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    if (freq < 10000) lcd.print(" ");
    lcd.print((float)freq/1000, 3);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(" kHz");
  } else {
    format(freq);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(" MHz");
  }
}

void format(long value) {
  int M = (value/1000000);
  int T100 = ((value/100000)%10);
  int T10 = ((value/10000)%10);
  int T1 = ((value/1000)%10);
  int U100 = ((value/100)%10);
  int U10 = ((value/10)%10);
  int U1 = ((value/1)%10);
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print(M);lcd.print(".");lcd.print(T100);lcd.print(T10);lcd.print(T1);
  lcd.print(",");lcd.print(U100);lcd.print(U10);lcd.print(U1);
}

```

Com o Sketch escrito e a placa Arduino ligada ao computador via cabo USB, basta clicar no botão carregar (figura 4.1.9) no Arduino IDE para que o código seja enviado para o hardware e ele possa gerenciar todo o circuito.

Figura 4.1.9. Botão para carregar o sketch no Arduino.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Com o circuito montado e o Arduino carregado com o Sketch, o seu funcionamento pode ocorrer de forma autônoma, sem ter mais a necessidade do computador, sendo apenas ligado a uma fonte externa de 12 V (figura 4.1.10).

Figura 4.1.10. Fonte externa de 12 V.



Fonte: google.com.

4.1.4 Montagem do tubo de Kundt

A tabela 4.1.3 apresenta os materiais utilizados para a montagem do tubo de Kundt, juntamente com a descrição de cada um e sua imagem.

Tabela 4.1.3. Materiais utilizados na montagem do tubo de Kundt.

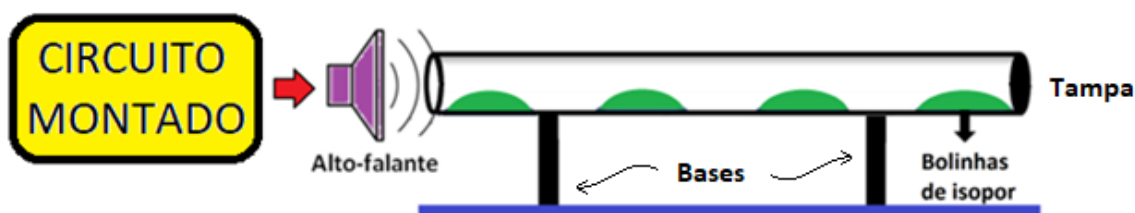
MATERIAL	DESCRIÇÃO	IMAGEM
Tubo de acrílico 1 m	Tubo de 1m de comprimento e diâmetro externo de 60 mm com 2 mm de parede.	 Fonte: próprio autor
Bolinhas de poliestireno	Bolinhas de isopor de aproximadamente 4,0 a 5,0 mm.	 Fonte: próprio autor
Acoplador do alto-falante/tubo	Peça utilizada para unir o alto-falante ao tubo de acrílico. As medidas dependeram do diâmetro do tubo e do alto-falante.	 Fonte: próprio autor
Tampa para o tubo	Peça utilizada para fechar uma das extremidades do tubo de acrílico. As medidas dependeram do diâmetro do tubo.	 Fonte: próprio autor
Fita métrica	Fita métrica com 1,5 m de comprimento.	 Fonte: próprio autor
Bases para o tubo	Duas peças utilizadas para apoiar o tubo mantendo toda sua extensão em um mesmo nível.	 Fonte: próprio autor

As bases para o tubo, o acoplador do alto-falante e a tampa para o tubo foram confeccionadas em uma impressora 3D. As medidas utilizadas estão no Apêndice H. Pode-se também utilizar madeira para produzir esses materiais, caso não tenha uma impressora 3D disponível.

As bolinhas de poliestireno e a fita métrica podem ser encontradas em armarinhos. Já o tubo de acrílico pode ser adquirido no site: <https://www.mercadolivre.com.br/>.

Para a montagem do experimento deve-se colocar uma pequena quantidade de bolinhas dentro tubo, espalhando uniformemente. A tampa é utilizada para fechar uma das extremidades do tubo enquanto na outra extremidade é colocado o acoplador juntamente com o alto-falante. O tubo tem que ficar apoiado nas duas bases evitando qualquer desnível. A figura 4.1.11 ilustra como deve ficar a montagem.

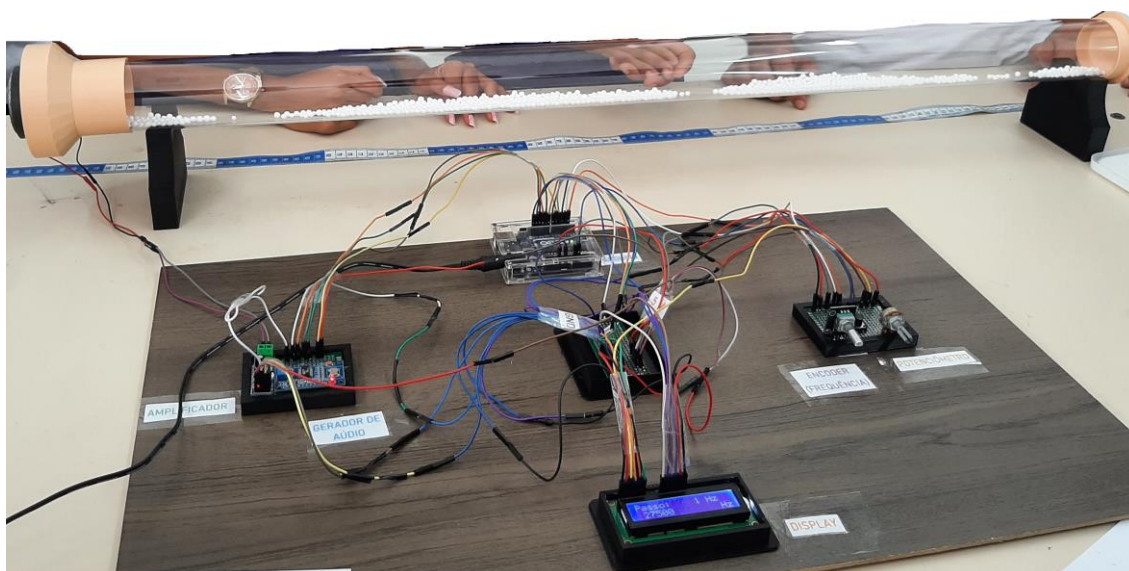
Figura 4.1.11. Esquematização do aparato experimental do tubo de Kundt.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A figura 4.1.12 apresenta o experimento do tubo de Kundt com o circuito montado.

Figura 4.1.12. Experimento do tubo de Kundt com o circuito montado.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

4.1.5 Sequência Didática

Para aplicação do experimento elaborou-se uma sequência didática com sete aulas de 50 minutos distribuídas em seis etapas. A separação em etapas deve-se ao fato de haver uma etapa com a necessidade duas aulas para realização. A tabela 4.1.4 exibe um cronograma das tarefas aplicadas em cada etapa do processo.

Tabela 4.1.4. Cronograma da sequência didática.

ETAPA	TAREFA	RESUMO	DURAÇÃO
01	Questionário Investigativo	Aplicação de um questionário (apêndice A) para avaliar os conceitos prévios da turma sobre o tema que será proposto.	50 min
02	Aula expositiva	Apresentação de slides (apêndice B) contendo os principais tópicos necessários para o andamento da sequência didática.	50 min
03	Montagem e manuseio do circuito	Demonstração dos dispositivos do circuito e instruções de seu funcionamento. Produção de ondas sonoras com frequências variadas.	50 min
04	Experimento do tubo de Kundt	Os alunos foram desafiados a montarem o experimento do tubo de Kundt e manuseá-lo, observando o comportamento das bolinhas.	50 min
05	Roteiro da Prática	Criação de ondas estacionárias com as frequências de ressonância e formação dos harmônicos. Cálculo do número do harmônico e da velocidade do som no ar dentro do tubo.	100 min
06	Resolução de um Problema Contextualizado e de uma Auto Avaliação	Resolução em grupo de um problema (Apêndice E) envolvendo os conceitos trabalhados. Aplicação de uma Auto Avaliação individual (Apêndice F).	50 min

Para implementação da sequência didática, é importante que o professor observe a descrição detalhada de cada etapa do produto e, caso julgue necessário, realize algumas adaptações visando sua realidade no meio escolar, moldando-se ao número de alunos da turma, recursos e espaço físico disponíveis, ou qualquer outra peculiaridade. Porém, não é recomendável que se faça alteração na ordem das etapas propostas.

ETAPA 01

A primeira etapa se inicia com a aplicação de um questionário investigativo, apresentado no Apêndice A, com o intuito de identificar quais são os conhecimentos prévios dos alunos acerca do tema que será trabalhado durante todo o projeto. Serão abordados os conceitos de onda, som, onda estacionária, ressonância e tubos sonoros. Após coleta das respostas, o professor deve discutir com os alunos sobre o que foi perguntado no questionário e já começar a introduzir de forma expositiva os principais conceitos que serão trabalhados durante o processo. Ao final faz-se uma avaliação qualitativa sobre o conhecimento factual obtidos pelos alunos durante a aula através de uma breve arguição.

ETAPA 02

Após análise das respostas do questionário aplicado na primeira etapa, realiza-se uma aula expositiva explicando os principais assuntos que serão abordados durante o experimento, focando nos pontos de maior déficit apresentados pela turma. A aula terá a utilização de slides (apêndice B), expondo as características das ondas sonoras, suas qualidades fisiológicas, a definição de ondas estacionárias, a formação de ventres e vales, harmônicos nos tubos sonoros, o experimento do tubo de Kundt e aplicação da equação da velocidade da onda. Também deve-se apresentar um vídeo demonstrando o funcionamento do experimento de Kundt (disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=qUiB_zd9M0k). Ao término da aula podem ser feitos alguns exemplos da aplicação da equação da velocidade da onda para verificação do aprendizado.

ETAPA 03

Para essa fase a sala de aula ou laboratório (caso tenha na escola) deve estar preliminarmente preparado com o circuito previamente montado (figura 4.1.13), formado por um gerador de funções (áudio), um amplificador, um potenciômetro, um botão, um

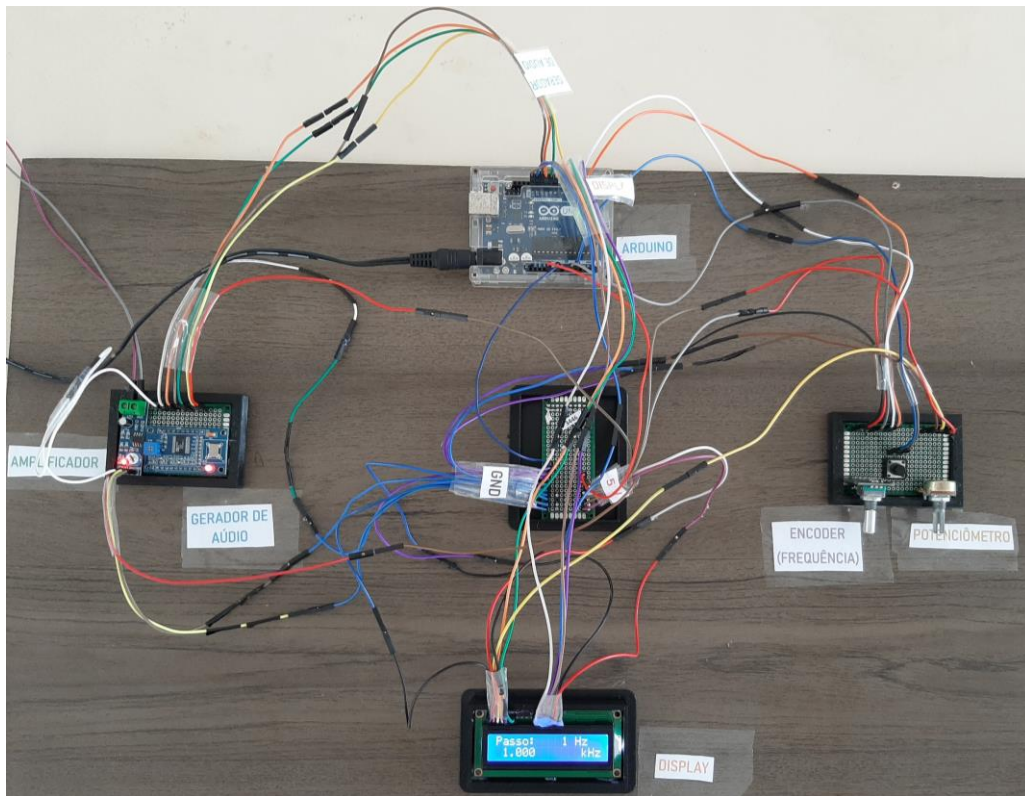
microcontrolador Arduino, um encoder rotativo, um display LCD e uma fonte de 12V. Deverão ser formados grupos de 5 ou 6 alunos, preferencialmente montados pelo professor para deixá-los o mais heterogêneo possível. Cada grupo receberá um circuito, caso não haja circuitos suficientes para todos os grupos, poderá ser feito um rodízio entre eles. Também será entregue separadamente um alto-falante (figura 4.1.14). O professor irá apresentar todos os dispositivos e passar as instruções necessárias para seu funcionamento. Em seguida pede-se que cada grupo faça a conexão entre o circuito e o alto falante, ligando corretamente os fios e a fonte de energia para dar início ao experimento.

Os componentes dos grupos precisam ser instruídos a manipular o circuito gerando ondas sonoras com frequências a partir de 50 Hz, aumentando gradativamente esse valor para ter a percepção do quão agudo o som vai ficando. Solicita-se que continuem aumentando a frequência do som até que ele não seja mais audível, registrando esse valor. A intenção é mostrar a relação entre a frequência da onda sonora e a altura do som.

Espera-se que ao final desta etapa, os alunos já estejam conseguindo ter um bom domínio no funcionamento do circuito, tendo a habilidade de gerar ondas sonoras de variadas frequências. Durante todo o processo, o professor deve mediar e orientar os grupos no manuseio, mas sem mostrar exatamente como fazê-lo, justamente para fomentar o trabalho em equipe e a investigação de cada um.

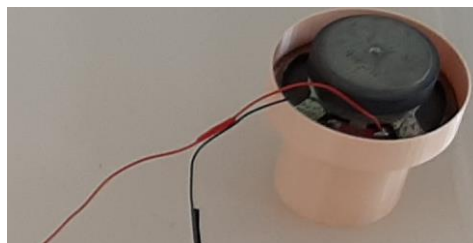
Como forma de verificar o avanço dos alunos nesta etapa, pode ser pedido um resumo escrito no final da aula sobre o funcionamento do circuito e a relação entre a altura do som e a frequência emitida.

Figura 4.1.13. Circuito previamente montado.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Figura 4.1.14. Alto-falante.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

ETAPA 04

Nessa etapa os grupos devem receber um tubo cilíndrico de acrílico com 1 m de comprimento, dois suportes, uma tampa (conexão cega), uma fita métrica, bolinhas de poliestireno e um alto falante com acoplador (figura 4.1.15).

Figura 4.1.15. Materiais para montagem do experimento.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Com posse dos materiais e do circuito utilizado na etapa anterior, os alunos serão desafiados a montarem o experimento do tubo de Kundt. Deve-se sugerir que eles investiguem os materiais e façam as conexões.

Em seguida deve-se solicitar que os alunos comecem a emitir ondas sonoras de diferentes frequências, e verifiquem o comportamento das bolinhas de poliestireno com as modificações dessas frequências. Deve haver nesse momento uma mediação do professor sobre as frequências próximas da ressonância, que possuem a capacidade de fazer com que as bolinhas fiquem mais “agitadas” e comecem a se deslocar para formar a onda estacionária.

O propósito nesse estágio é que os alunos entendam como ocorre a ressonância e como se forma a onda estacionária para determinadas frequências específicas do som. Deseja-se que eles adquiram a habilidade de criar essas ondas estacionárias utilizando o aparato experimental construído.

ETAPA 05

Nesse encontro, as equipes utilizarão o experimento já montado na etapa anterior para criar ondas estacionárias (figura 4.1.16), procurando as frequências de ressonância que formam os harmônicos dentro de um intervalo de frequência previamente estabelecido. Para cada frequência de ressonância, eles deverão medir a distância entre os nós formados, obter o comprimento de onda e, posteriormente, calcular a velocidade do som dentro do tubo com a equação da velocidade da onda (equação 3.3.1).

Também deverão calcular o harmônico da onda estacionária gerada, utilizando a equação que relaciona a frequência de ressonância com o número do harmônico (equação

3.3.8) e comparar esse valor com o número de nós observado no experimento. Todos esses passos serão apresentados em um Roteiro da Prática, mostrado no Apêndice C. Será entregue também uma Tabela de Anotações onde deverão ser registrados todos os valores obtidos durante a prática, Apêndice D.

Essa é a etapa mais crucial do processo, pois é nela que serão postos em prática todas as habilidades que pretendem-se ser desenvolvidas. Os alunos deverão criar as ondas estacionárias, observar o harmônico gerado, fazer as medições dos comprimentos de onda, calcular a velocidade do som e o número do harmônico e comparar os valores obtidos com o que foi visualizado na prática experimental.

A avaliação desta etapa será realizada verificando a forma como os alunos conseguem criar as ondas estacionárias, fazer as medições no experimento e os cálculos solicitados. Deve-se verificar os resultados encontrados e compará-los com os valores teóricos esperados.

Figura 4.1.16. Ondas estacionárias formadas dentro do tubo.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

ETAPA 06

Para finalizar o ciclo didático, será proposto para os grupos um problema contextualizado (Apêndice E), com o intuito de abordar os conceitos e conhecimentos trabalhados em toda a sequência proposta e verificar o quanto eles foram assimilados. Também deverá ser aplicado individualmente um questionário auto avaliativo (Apêndice F), para ser respondido em casa, com a finalidade de coletar informações pessoais sobre a satisfação em participar do processo de ensino apresentado dentro da perspectiva sociointeracionista.

A avaliação se dará pelas respostas apresentadas pelos alunos ao problema contextualizado proposto.

5 – Resultados e Discussões

O produto educacional foi aplicado na turma do 2º CM no mês de novembro de 2021, no Colégio Estadual Dr. José Carvalho Baptista, localizado no município de Rio Real/BA, sendo trabalhada em seis aulas de 50 min. Foi escolhida uma turma do 2º ano do Ensino Médio pois o estudo das ondas sonoras se encontra dentro do conteúdo programático desta série. A escola em questão foi escolhida por já fazer parte do quadro efetivo de docentes desde 2019.

5.1 Aplicação do Produto Educacional

Para avaliar o impacto do produto foram utilizados dois instrumentos, o questionário investigativo (etapa 01) e o auto avaliativo (etapa 06), preenchidos pelos alunos antes e após a aplicação do produto, respectivamente.

5.1.1 ETAPA 01 - Questionário investigativo

A aula teve início com a apresentação da proposta didática (experimento do tubo de Kundt), fazendo um levantamento oral sobre a familiaridade da turma com alguns instrumentos que seriam utilizados durante as aulas seguintes, e com a aplicação do Questionário Investigativo (apêndice A) para avaliação dos conhecimentos prévios dos 22 alunos que participaram da atividade. As respostas as dez perguntas ajudaram a preparar a abordagem necessária para a aula inicial do produto.

Questão 1:

Defina o que é uma onda no seu entendimento.

Apenas 3 responderam algo próximo do conceito de onda, o que corresponde a 13,6 % do total de alunos. O resultado traduz a falta de conhecimento da turma sobre a definição de onda e suas concepções.

Questão 2:

Para você, o som é uma onda?

() certo () errado

Todos os alunos responderam que sim, evidenciando assim que todos já tinham o conhecimento da natureza do som. Embora não conceituassem ondas corretamente,

sabiam que o som é uma onda, o que nos leva a concluir que esse tópico exerce uma certa atração entre os discentes, talvez pelo papel que a música representa em nossa cultura.

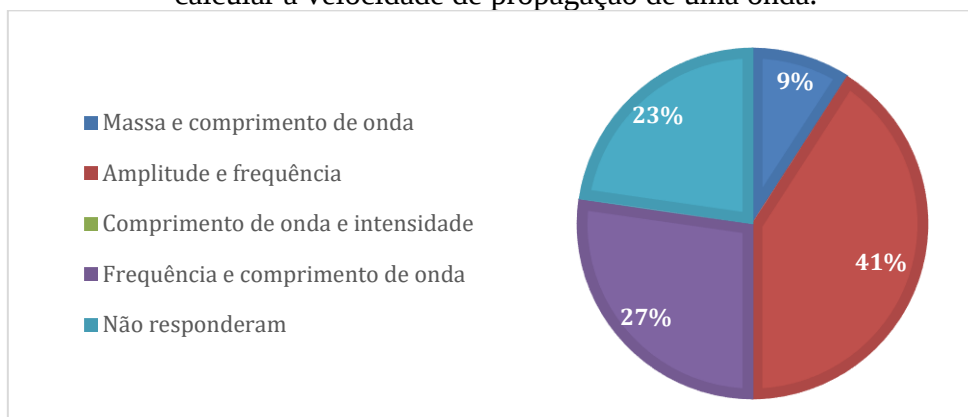
Questão 3:

Podemos calcular a velocidade de propagação de uma onda conhecendo as seguintes grandezas dela:

- a) Massa e comprimento de onda;**
- b) Amplitude e frequência;**
- c) Comprimento de onda e intensidade;**
- d) Frequência e comprimento de onda.**

As respostas são expressas no gráfico 5.1.1

Gráfico 5.1.1. Conhecimento sobre grandezas que necessitariam ser conhecidas para se calcular a velocidade de propagação de uma onda.



Embora todos soubessem o que é uma onda, havia 73% dos alunos não sabiam como calcular a velocidade de propagação da onda. Algo compreensível já que nenhum dos alunos tinham sido expostos ao assunto.

Questão 4:

A altura do som define:

- a) Seu volume;**
- b) Sua velocidade;**
- c) Seu alcance;**
- d) O quão agudo ele é.**

Somente 2 alunos (9,1% do total) conseguiram responder corretamente que a altura está relacionada com o quão agudo é o som. O senso comum tem a tendência de confundir altura do som com o volume.

Questão 5:

A característica do som que define sua altura é:

- a) Sua frequência;**
- b) Sua amplitude;**
- c) Sua velocidade;**
- d) Sua intensidade.**

Foram obtidas seis respostas corretas, ou seja, 27% da turma. Esses resultados deixaram claro que havia uma falta de conhecimento acerca das qualidades fisiológicas do som, por tanto, esse conteúdo deveria ser apresentado na sequência da aplicação.

Questão 6:

Com relação a reflexão do som, podemos afirmar que:

- a) Ocorre quando ele se propaga passando de um meio material para outro alterando sua velocidade;**
- b) Ocorre quando ele encontra um obstáculo e retorna para o meio de origem de propagação sem alterar sua velocidade;**
- c) Ocorre quando ele encontra um obstáculo e retorna para o meio de origem de propagação alterando sua velocidade;**
- d) Ocorre quando ele se propaga passando de um meio material para outro sem alterar sua velocidade;**

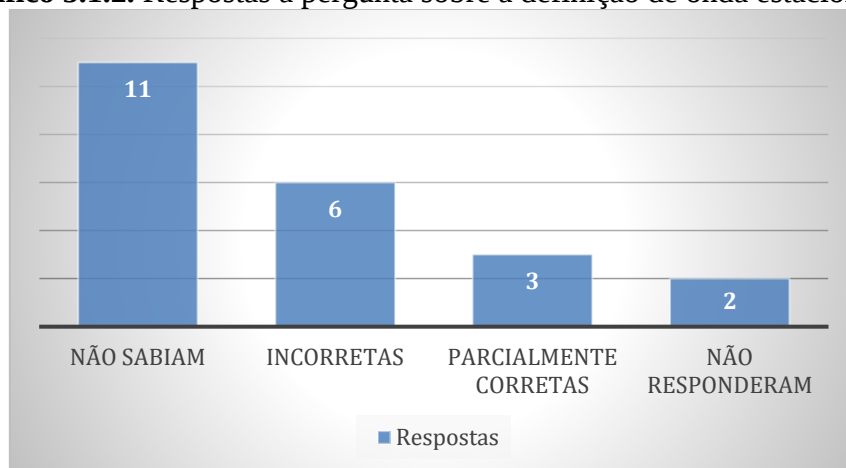
Nenhum dos alunos respondeu de forma correta, revelando uma grande deficiência do alunado em relação aos fenômenos ondulatórios e colocando esse tema como um dos principais tópicos a ser abordado na etapa subsequente.

Questão 7:

Você sabe o que é uma onda estacionária? Em caso afirmativo, descreva sua definição.

Os resultados são apresentados no gráfico 5.1.2.

Gráfico 5.1.2. Respostas à pergunta sobre a definição de onda estacionária.



Não houve nenhuma resposta totalmente satisfatória, apenas 13,6% (3 estudantes) apresentou respostas com algo relacionado a onda estacionária.

Questão 8:

Você sabe o que é ressonância e quais as condições para que ela ocorra?

Nenhum aluno respondeu corretamente a essa questão.

Questão 9:

Você sabe o que são tubos sonoros? Poderia dar um exemplo?

Foram 16 respostas equivocadas e 6 respostas com alguma coerência (27%), inclusive com citações de instrumentos de sopro, como a flauta, por exemplo.

Questão 10:

Você tem alguma noção de eletrônica? Já manuseou algum circuito eletrônico?

Treze alunos alegaram não terem nenhum conhecimento em eletrônica e os outros nove, apesar de responderem que já haviam manuseado um circuito elétrico, citaram aparelhos eletrônicos, como celular ou aparelho de som, demonstrando não terem entendido o que seriam circuitos elétricos.

A tabela 5.1.1 mostra um resumo das informações obtidas pelo questionário investigativo. Ele demonstra que os alunos tem nenhum, ou muito pouco, conhecimento do conteúdo educacional proposto, o que propicia uma oportunidade muito boa para revelar o impacto que o produto tem no aprendizado.

Tabela 5.1.1. Resumo do domínio dos alunos sobre os conteúdos específicos necessários ao entendimento do tubo Kundt, revelados pelo questionário investigativo.

Conhecimento sobre natureza do(a):	Nível de domínio (0-100%)
Conceito de som	100
Conceito de onda	13,6
Velocidade da onda	27
Altura do som	9
Reflexão do som	0
Onda estacionária	0
Ressonância	0
Tubos sonoros	27
Noção de eletrônica	0

Cabe ressaltar que o resultado apresentado na tabela 5.1.1 era esperado para o nível que os alunos se encontravam, o que torna o conteúdo da aula expositiva apresentada útil e um bom ponto de partida para o professor que deseja aplicar o produto.

5.1.2 ETAPA 02 – Aula expositiva

Na segunda etapa, houve uma aula expositiva, com apresentação de slides (apêndice B) contendo os principais tópicos necessários para o andamento da sequência didática que foram levantados a partir da análise das respostas do Questionário investigativo aplicado na etapa anterior. Também foi apresentado um vídeo demonstrando o funcionamento do experimento de Kundt (disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=qUiB_zd9M0k). Ao término da aula foram feitos alguns exemplos da aplicação da equação da velocidade da onda.

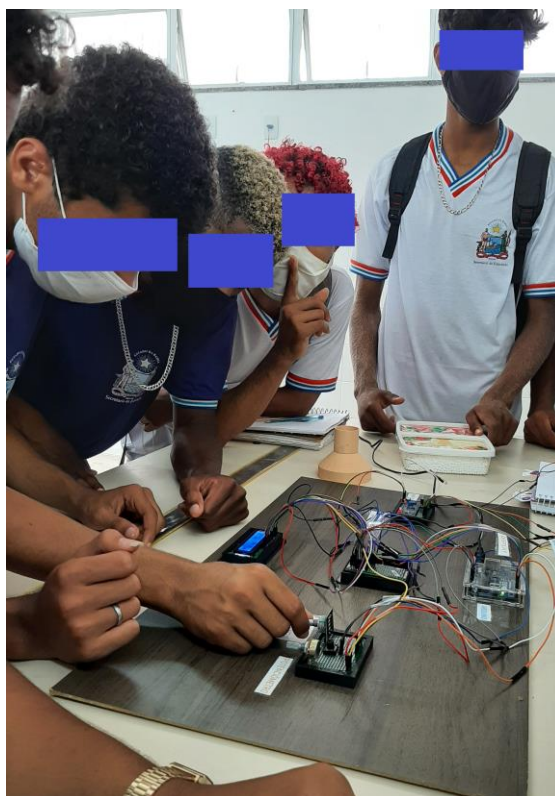
5.1.3 ETAPA 03 – Montagem e manuseio do circuito

Foi realizada no laboratório, com grupos de 5 ou 6 alunos. Cada grupo recebeu um circuito, previamente montado, formado por um gerador de funções (áudio), um amplificador, um potenciômetro, um botão, um microcontrolador Arduino, um encoder rotativo e um display LCD. Também foi entregue separadamente um alto-falante. Inicialmente foram apresentados todos os dispositivos do circuito e passadas as instruções de seu funcionamento pelo professor. Em seguida, foi pedido para que cada grupo conectasse o alto-falante ao circuito e o ligasse para iniciar o experimento.

Os componentes dos grupos foram instruídos a manipular o circuito (figura 5.1.1), gerando ondas sonoras com frequências partindo de 50 Hz. Alguns alunos entenderam

rapidamente o funcionamento do aparato e começaram a instruir os outros colegas do grupo, evidenciando uma aprendizagem sociointeracionista. Durante a adaptação dos alunos com o dispositivo, foi pedido que gerassem ondas com frequências cada vez maiores, trazendo a percepção do quão agudo o som ficava com esse aumento. Também foi solicitado que fizessem a verificação da maior frequência audível por eles, que na média, ficou em 18 kHz.

Figura 5.1.1. Alunos manuseando o circuito.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Ao fim, foi observado que os alunos já estavam conseguindo ter um bom domínio no funcionamento do circuito, gerando ondas sonoras de variadas frequências.

5.1.4 ETAPA 04 – Experimento do tubo de Kundt

Os grupos receberam um tubo cilíndrico de acrílico com 1 m de comprimento, dois suportes, uma tampa (conexão cega), uma fita métrica, bolinhas de poliestireno e um alto falante com acoplador.

Com posse dos materiais e do circuito utilizado na etapa anterior, os alunos foram desafiados a montarem o experimento do tubo de Kundt. Foi sugerido que eles investigassem os materiais e lembrassem do vídeo apresentado na etapa 2. O resultado

foi muito bom, apenas com algumas tentativas e questionamentos direcionados ao professor, os grupos conseguiram montar e colocar o experimento em funcionamento (figura 5.1.2).

Figura 5.1.2. Montagem do experimento.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Dando seguimento ao experimento, foi solicitado que gerassem ondas sonoras de diferentes frequências, verificando o comportamento das bolinhas de poliestireno com as modificações dessas frequências. Após alguns testes, os alunos começaram a perceber que existiam frequências que “agitavam” mais as bolinhas, nesse momento, houve uma mediação do professor para abordar que essas seriam as frequências próximas da ressonância, fazendo uma revisitação a conceito abordado na aula 2.

5.1.5 ETAPA 05 – Roteiro da Prática

Retornando ao laboratório e com o experimento já montado na etapa anterior, os grupos receberam um Roteiro da Prática (apêndice C) com instruções para criar ondas estacionárias e procurar as frequências de ressonância, formando os harmônicos. Para cada frequência de ressonância, eles mediram a distância entre os nós formados, obtiveram o comprimento de onda e, posteriormente, calcularam a velocidade do som dentro do tubo utilizando a equação da velocidade da onda (equação 3.3.1). Também calcularam o harmônico da onda estacionária gerada, utilizando a equação que relaciona

a frequência de ressonância com o número do harmônico (equação 3.3.8). Após o cálculo, foi pedido que comparassem esse valor encontrado com o número de nós observado no experimento. Todos os dados encontrados na prática foram registrados em uma Tabela de Anotações (Apêndice D). O resultado dos dados colhidos pelos grupos durante esse procedimento é resumido na tabela 5.1.2. As tabelas originais elaboradas pelos alunos estão no Apêndice G.

Tabela 5.1.2. Dados colhidos pelos alunos durante execução do experimento.

Grupo	Frequência (Hz)	Nº de nós (vistos)	Distância entre nós (cm)	Comprimento de onda (m)	Velocidade do som (m/s)	Nº de harmônico
01	276	2	49	0,98	270,48	2,04
	392	3	41	0,82	321,44	2,43
	710	4	27	0,54	383,40	3,40
02	400	2	37	0,74	296,00	2,70
	514	3	38	0,76	390,64	2,63
	704	4	27	0,54	380,16	3,70
03	177	3	38	0,76	134,52	2,64
	280	3	52	1,04	291,20	1,92
	400	3	46	0,92	368,00	2,17

Inicialmente foram formados quatro grupos, porém nas aulas destinadas a coleta de dados com o experimento, houve ausência de grande parte dos alunos de um dos grupos, impossibilitando que este conseguisse realizar as medições. Por isso, a tabela 5.1.2 apresenta apenas os resultados de três grupos.

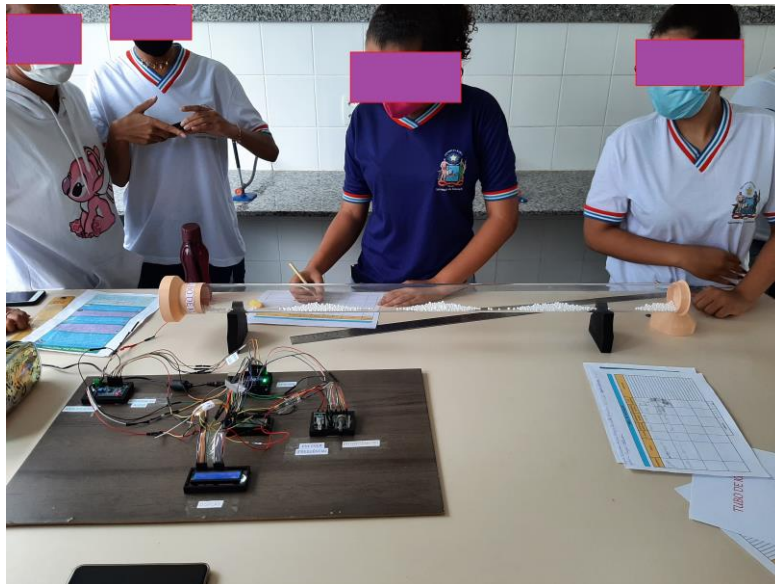
O grupo 02 realizou quatro medições, entretanto duas delas tiveram valores bem semelhantes, motivo pelo qual a tabela 5.1.2 apresenta apenas 3 resultados para este grupo, tendo sido suprimida a medida com valor mais distante do esperado teoricamente.

Os grupos 01 e 02 conseguiram visualizar harmônicos diferentes ao varrerem uma amplitude maior de frequências sonoras. Já o grupo 03 teve maior dificuldade em encontrar diferentes frequências de ressonância, com isso apresentaram apenas dados para 3 nós visualizados.

Para facilitar a dinâmica nesta etapa e fazer com que cada integrante participasse de todas as etapas da prática, os grupos foram instruídos a delegar uma função para cada componente. Por exemplo, um integrante controlava a frequência da onda sonora gerada, outro observava a agitação das bolinhas, outro media a distância entre os nós, outro fazia os cálculos e o quinto fazia as anotações na tabela. Após uma medição, essas funções eram trocadas entre os componentes, fazendo com que participassem de todas as etapas

do experimento. Foi possível verificar que essas trocas faziam com que os alunos se ajudassem, compartilhando suas experiências da função que havia exercido, notabilizando assim uma aprendizagem colaborativa (figura 5.1.3).

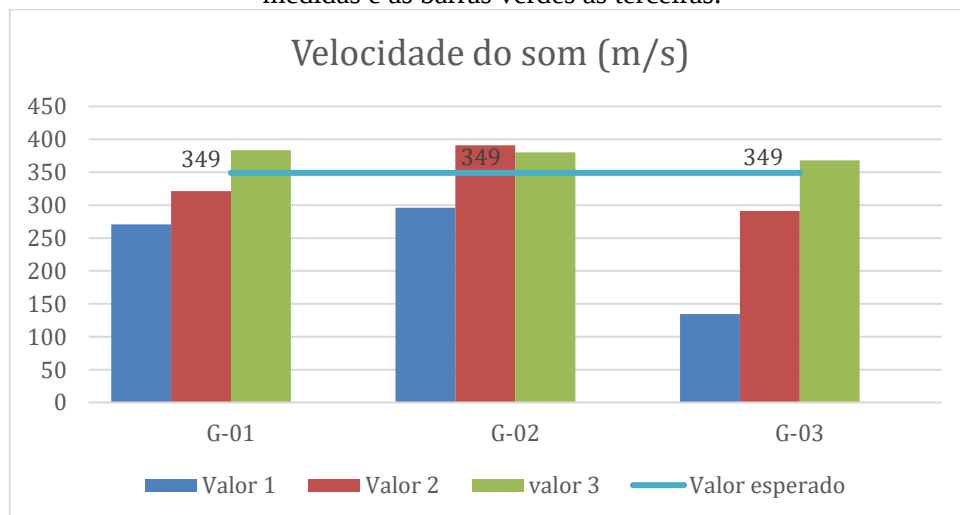
Figura 5.1.3. Prática experimental.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Utilizando os valores encontrados pelos grupos para a velocidade do som no ar dentro do tubo, construiu-se o gráfico 5.1.3 para analisar a proximidade desses valores com o valor esperado teoricamente.

Gráfico 5.1.3. Comparação entre os valores da velocidade do som encontrados no experimento e o valor esperado de 349 m/s para o som no ar a temperatura de 30 °C. A linha azul representa o valor teórico da velocidade do som no ar para uma temperatura de 30 °C. As barras azuis simbolizam as primeiras medições de cada grupo, as barras vermelhas expressam as segundas medidas e as barras verdes as terceiras.



É possível notar que os primeiros valores encontrados por cada grupo foram os que tiveram maior divergência com o valor esperado, com exceção do grupo 02. Já o terceiro valor de cada grupo foi o que mais se aproximou do previsto, levando a crer que a prática e a adaptação com o experimento acarretou em uma precisão maior na aferição das medidas e visualização dos nós formados pelas ondas estacionárias.

O resultado mais discrepante foi de 134 m/s, encontrado pelo grupo 03, um valor 61,6% abaixo do valor esperado. Esse resultado acabou ficando comprometido devido a uma desregulagem do experimento nesta 1ª medição. Nas outras medições o problema já havia sido percebido e corrigido. Desconsiderando esse valor comprometido, os resultados encontrados nos experimentos ficaram com uma discrepância média de 15% do valor teórico, valores considerados satisfatórios, visto que já era esperado que houvesse essa diferença devido aos erros de medição causados pelos instrumentos utilizados e pela acuidade dos alunos na aferição das distâncias entre os nós.

Os gráficos 5.1.4, 5.1.5 e 5.1.6 trazem uma comparação entre os números dos harmônicos calculados pelos grupos e os nós visualizados pelos alunos durante a prática experimental.

Gráfico 5.1.4. Comparação entre o nº do harmônico calculado (em azul) e o nº de nós visualizados (em vermelho) pelo Grupo 01.

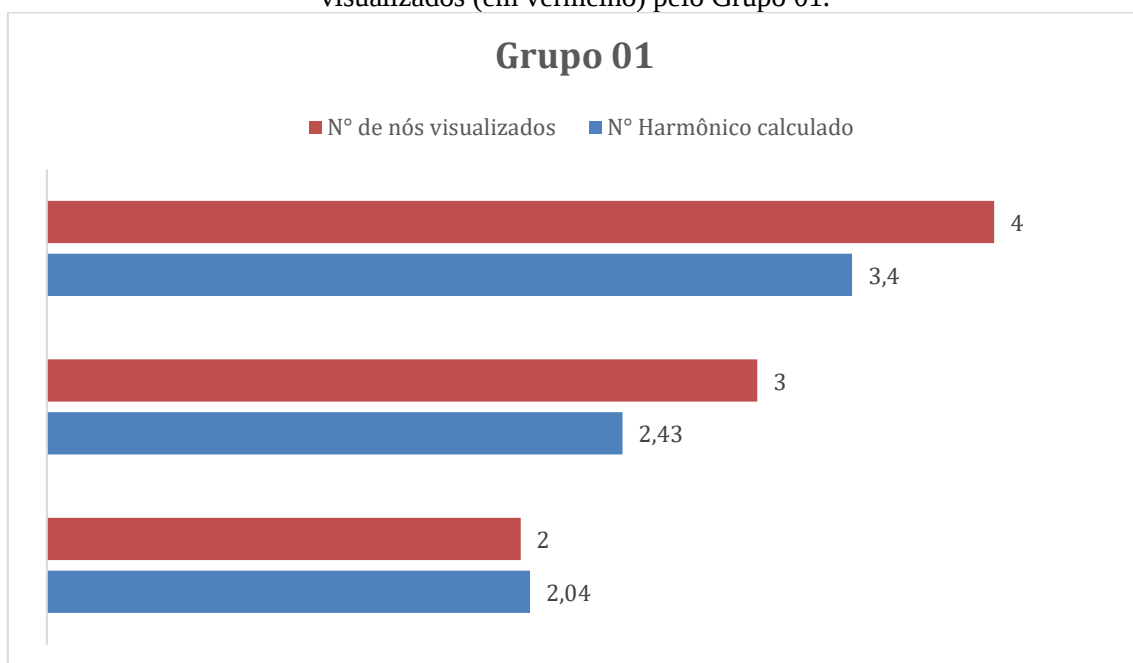


Gráfico 5.1.5. Comparação entre o nº do harmônico calculado (em laranja) e o nº de nós visualizados (em azul) pelo Grupo 02.

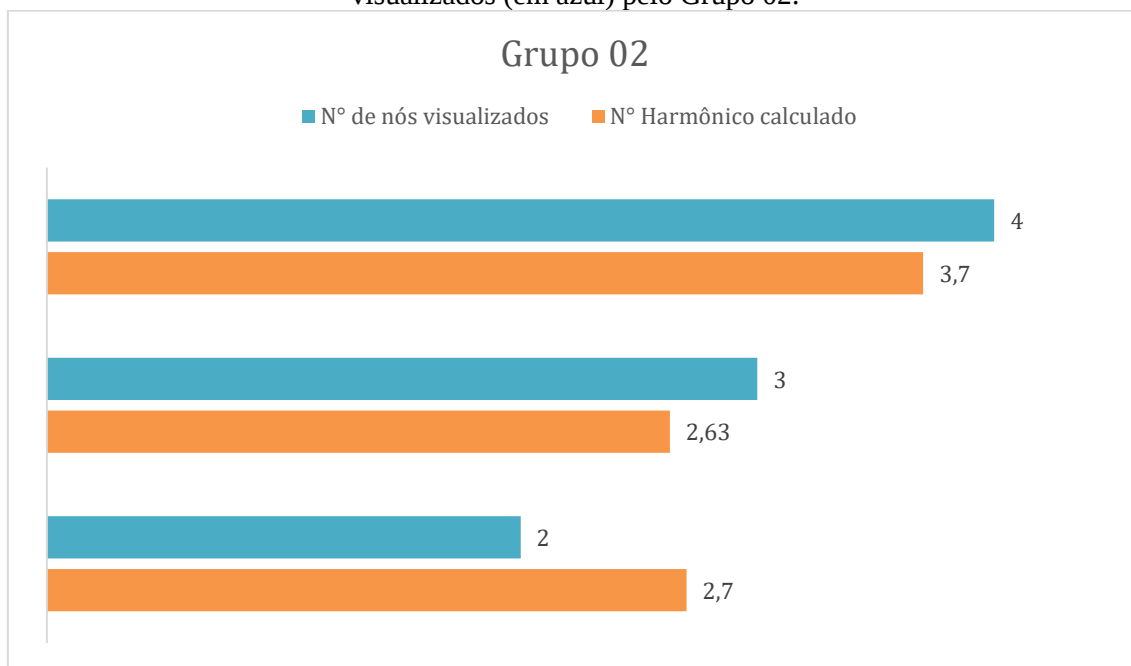
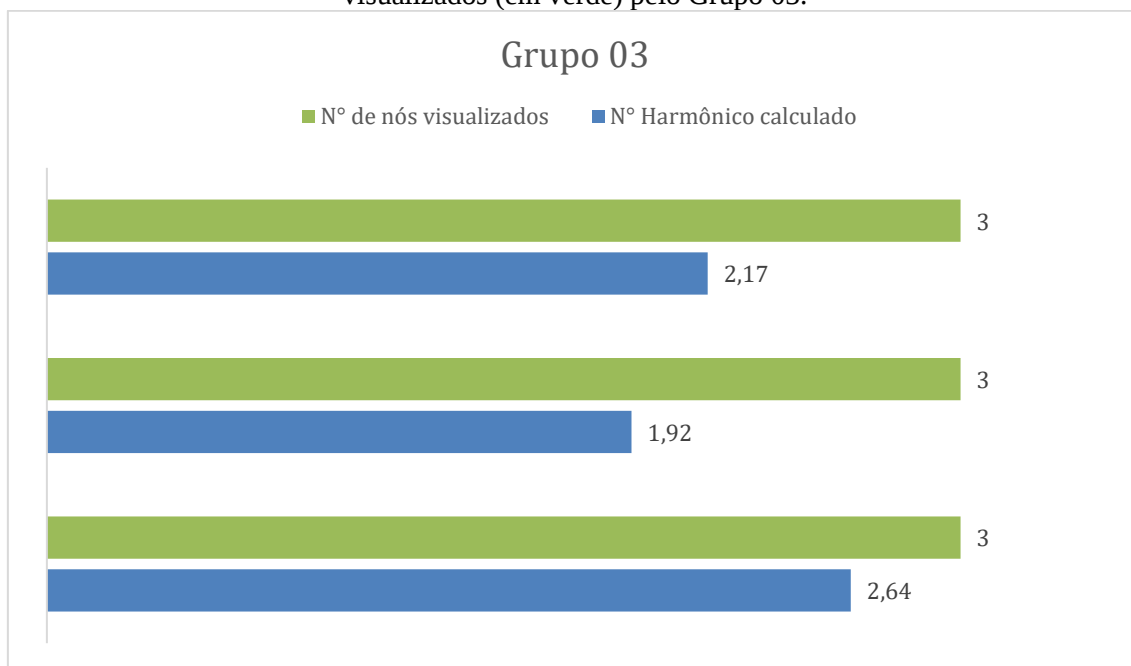


Gráfico 5.1.6. Comparação entre o nº do harmônico calculado (em azul) e o nº de nós visualizados (em verde) pelo Grupo 03.



Averiguando os resultados apresentados, podemos considerar que os valores foram bem satisfatórios, visto a proximidade entre o que foi visualizado no experimento e aquilo que foi calculado pelos alunos. O grupo 03 foi o que mais se afastou dos valores previstos, ainda que alguns deles tenham se aproximado da expectativa. Pelas

observações feitas pelo professor, isso ocorreu devido a uma maior dificuldade no manuseio do experimento, provavelmente em razão da falta de hábito com práticas experimentais e com o uso de instrumentos de medição, acarretando essa imprecisão nas aferições realizadas por parte dos integrantes dessa equipe.

5.1.6 ETAPA 06 – Problema Contextualizado e Questionário Auto

Avaliativo

Nesta última etapa do ciclo didático, foi proposto um problema contextualizado, Apêndice E, para cada equipe solucionar.

Problema Contextualizado

Você mora ao lado de um grupo que constrói seus próprios instrumentos musicais de sopro. Os instrumentos consistem em vários canos de PVC, de comprimentos variados. Um dia você resolve ir observar os instrumentos e percebe algumas diferenças entre eles. Em alguns, uma das pontas dos canos é mantida fechada por uma membrana enquanto a outra é mantida aberta. Já em outros, não existe essa membrana, tendo as duas pontas do cano abertas. Nesse momento, você lembra-se dos tubos sonoros que estudara em Física e fala para um dos artistas, que ali se trata de um tubo sonoro aberto e o outro de um tubo sonoro fechado. O artista então lhe faz uma indagação: “Já que você é bom em Física, me diga qual desses dois instrumentos, que possuem o mesmo comprimento de 50 cm, vai emitir um som mais agudo ao serem tocados no mesmo harmônico?”.

Durante a aplicação ficou perceptível a grande dificuldade dos alunos em interpretar o problema e em entender o que estava sendo cobrado por ele, sendo preciso a mediação do professor para direcionar a solução do problema, relacionando o mesmo com o que eles haviam feito durante a execução do experimento. Após a mediação, todos os grupos conseguiram resolver corretamente o problema. Essa necessidade de mediar o aprendizado, quando o indivíduo não consegue resolver o problema sozinho, está previsto dentro da teoria sociointeracionista. Há sempre uma interação para que os alunos aprendam a fazer o que eles não poderiam fazer sem ajuda, aprendendo a reproduzir em um primeiro momento, para depois fazerem de forma independente. Inclusive, ao continuarem sozinhos após a mediação, o resultado demonstra que houve uma interação assertiva do professor, provavelmente uma ação dentro da zona de desenvolvimento proximal, permitindo assim, chegar na solução do problema.

Próximo ao término da aula foi aplicado individualmente um Questionário Auto Avaliativo (Apêndice F) para coletar informações pessoais sobre todo o processo de ensino e aprendizagem dentro da perspectiva sociointeracionista.

O Questionário Auto Avaliativo aplicado era composto por 7 perguntas relacionadas as impressões que os alunos tiveram da sequência didática trabalhada. A seguir são apresentadas as perguntas juntamente com um gráfico trazendo as porcentagens de cada resposta.

Pergunta 1: Como você avalia a sua participação e a dos outros integrantes da sua equipe em todo o projeto?

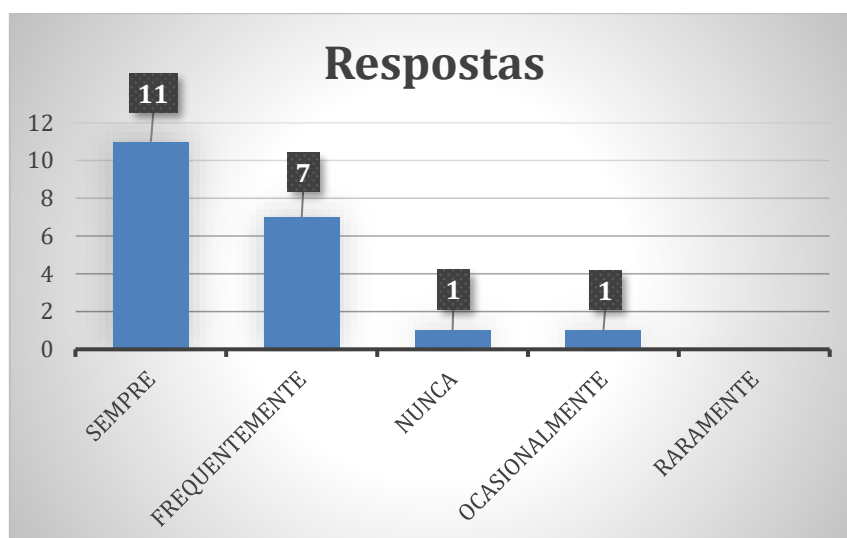
Gráfico 5.1.7. Respostas da Pergunta 1.



Analisando o gráfico 5.1.7, percebe-se que os alunos se sentiram ativos na participação em todo o projeto. Esse retorno corrobora com a percepção obtida durante todo o andamento da prática experimental, em que os alunos estavam sempre querendo manusear o experimento e participar ativamente de todo o processo.

Pergunta 2: Você acredita que, durante a atividade, o trabalho em grupo favoreceu no seu aprendizado?

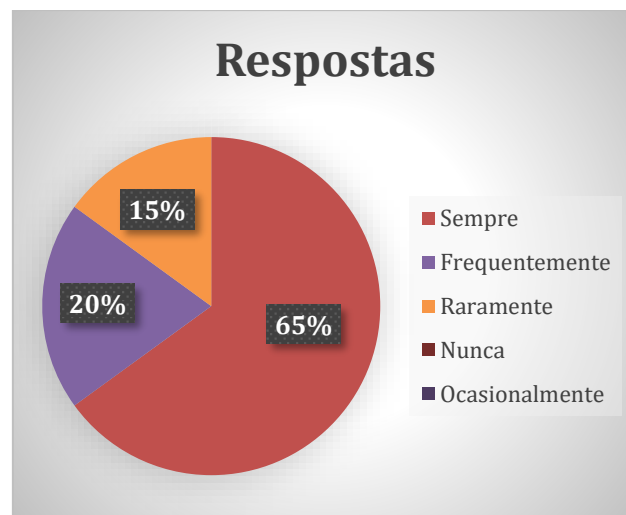
Gráfico 5.1.8. Respostas da Pergunta 2.



Os resultados apresentados apontam que o trabalho em grupo favoreceu a maioria dos discentes. O alcance de uma melhor aprendizagem se deu justamente porque houve uma forte interação entre os integrantes do grupo, como mostra o gráfico 5.1.8. A teoria interacionista de Vygostky vai ao encontro desses resultados, visto que a interação facilita a mediação entre os alunos que mais dominam o conteúdo com aqueles que possuem mais dificuldades, apresentando ainda uma transmissão de conhecimento utilizando elementos do seu meio de convívio.

Pergunta 3: Houve satisfação na realização do experimento e na forma como o conhecimento foi transmitido em todo o trabalho?

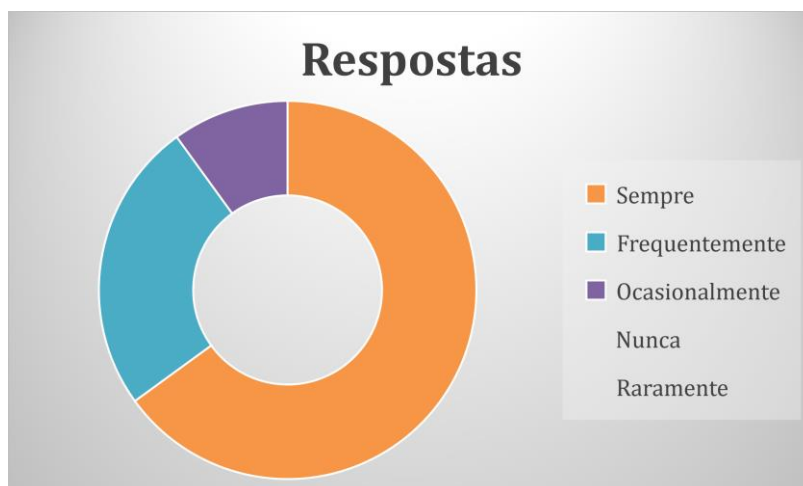
Gráfico 5.1.9. Respostas da Pergunta 3.



As respostas indicam que 85% da turma ficou satisfeita com o procedimento da atividade, uma demonstração clara que o método empregado os deixou confortável.

Pergunta 4: Você gostaria que os conteúdos de Física fossem trabalhados mais vezes com essa metodologia?

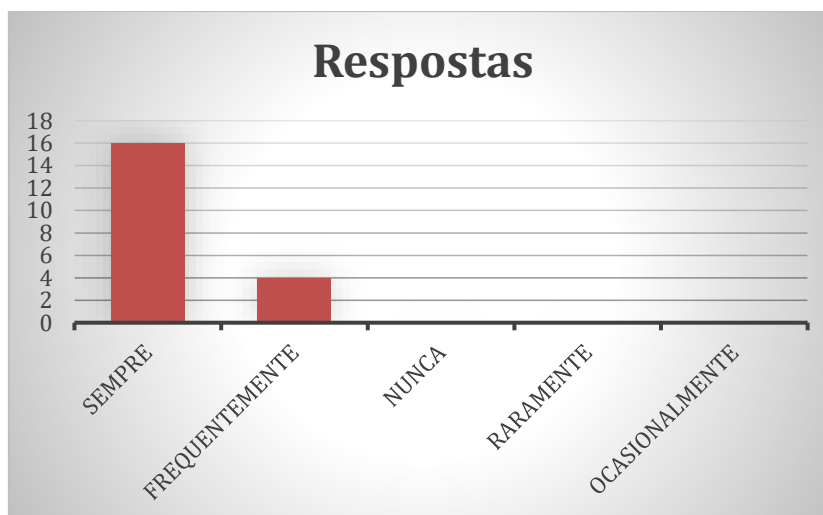
Gráfico 5.1.10. Respostas da Pergunta 4.



Explorando os dados do gráfico 5.1.10, é possível afirmar que os alunos aprovaram o método aplicado no produto e que gostariam que essa abordagem fosse utilizada com maior frequência.

Pergunta 5: Na sua avaliação, você acredita que houve ganho de aprendizado na disciplina de Física durante a elaboração do projeto?

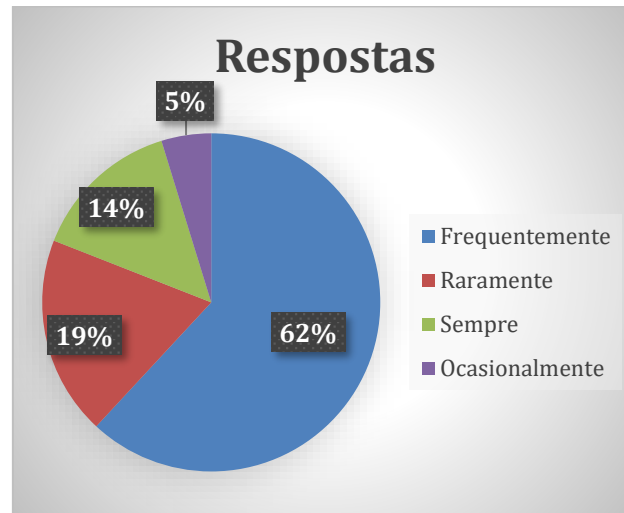
Gráfico 5.1.11. Respostas da Pergunta 5.



De acordo com o retorno apresentado, todos os alunos declararam um aprendizado positivo através da proposta executada, demonstrando uma boa eficácia da prática apresentada.

Pergunta 6: Após a realização da atividade, você conseguiria relacionar as frequências de ressonância com os harmônicos formados em um tubo sonoro?

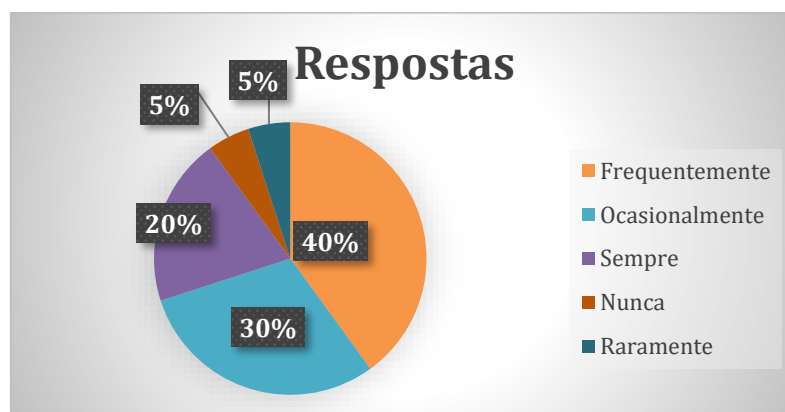
Gráfico 5.1.12. Respostas da Pergunta 6.



Analisando as respostas, percebe-se que a maioria acredita ser capaz de relacionar as frequências de ressonância com os harmônicos, apenas um quantitativo considerado (24%) não consegue ter essa certeza. Uma possível solução para diminuir essa porcentagem em uma próxima aplicação, seria abordar mais efusivamente o conceito da frequência de ressonância e a sua relação com os harmônicos durante a realização da prática experimental.

Pergunta 7: Após a realização do projeto, você se julga capaz de calcular a velocidade de uma onda sonora conhecendo sua frequência e a distância entre 2 nós formados pela onda estacionária?

Gráfico 5.1.13. Respostas da Pergunta 7.



Os resultados retratados revelam que os alunos ainda demonstram algum receio no cálculo da velocidade da onda a partir das características da onda estacionária. A percepção do professor é que isso ocorreu devido a pouca afinidade de grande parte dos discentes com operações básicas de matemática, visto que durante a realização da prática experimental, era comum o aluno que estava na função de calcular a velocidade e o número do harmônico solicitar auxílio dos colegas ou até mesmo do professor.

Com o objetivo de ter uma maior veracidade no resultado, o questionário Auto Avaliativo foi aplicado sem a presença do professor e de forma anônima, deixando assim os alunos mais confortáveis em suas respostas.

6 – Conclusão

Após análise dos resultados, podemos obter alguns indicadores de que a sequência didática apresentada desperta um maior engajamento e satisfação dos conhecimentos de Física abordados frente aos métodos tradicionais de aulas expositivas. Os alunos demonstraram e avaliaram que a metodologia aplicada traz um ganho de aprendizagem e que pode ser utilizada com maior frequência no ensino de Física.

Os objetivos que guiaram este trabalho foram alcançados de forma satisfatória. A montagem do aparato experimental se mostrou capaz de medir a velocidade do som no ar de forma satisfatória, bem como observar as condições de ressonância e formação de ondas estacionárias. Ainda pôde-se relacionar de forma prática os conceitos de ondas e acústica, levando para os alunos um instrumento mais dinâmico de aprendizagem.

Durante a aplicação do produto, ficou evidente o interesse dos alunos em saber como o experimento funcionava e em manuseá-lo, sempre questionando o que era cada dispositivo e sua função. Isso mostra que o ensino baseado na experimentação, com o uso de tecnologias atuais e dispositivos eletrônicos, juntamente a uma abordagem integradora STEM, propicia um maior entusiasmo dos alunos em aprender, dando novos significados aos conhecimentos adquiridos.

A utilização do Arduino junto com o circuito montado se revelou um potencial instrumento para aproximar os discentes dos princípios da eletrônica, preenchendo um importante requisito do Ensino Médio, que é o de estreitar os conhecimentos aprendidos na Educação Básica com uma formação técnica e profissional. Apresenta-se ainda a possibilidade de poder trabalhar com o Arduino e vários outros dispositivos eletrônicos em um projeto de maior duração, dentro de um Itinerário Formativo, por exemplo.

Algumas dificuldades foram se apresentando durante o andamento do projeto, como a ausência de alunos nas aulas práticas, que acabou prejudicando as medições de uma das equipes e a deficiência de alguns alunos em cálculos básicos, que foi contornada com o auxílio do professor e posteriormente pelos próprios colegas que compartilharam o aprendizado entre os integrantes do grupo.

Outro ponto importante a ser destacado, foi a efetiva participação e colaboração dos estudantes na realização do roteiro da prática e no preenchimento da tabela de anotações, foi perceptível como eles se empenharam em conseguir as frequências de ressonância e em ajudar os companheiros em cada etapa do experimento, deixando claro o aprendizado via interação social descrita por Vygotsky.

A sensação final deixada após toda a aplicação do produto foi de que é possível tornar o ensino de Física mais atrativo e afável ao apresentar metodologias diversificadas, com aulas práticas utilizando a experimentação para tornar os alunos personagens principais dentro do processo de ensino e aprendizagem.

Referências Bibliográficas

- 3BSCIENTIFIC. **Tubo de Kundt.** Disponível em: <https://www.3bscientific.com/br/tubo-de-kundt-e-1017339-u8498308-3b-scientific,p_837_25748.html>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- ARDUINO.CC. **O que é Arduíno?** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CP nº 11/2009**, publicado no DOU 25/08/2009, Seção 1, p. 11.
- BRASIL. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular.** Brasília, 2018a.
- CAVENAGHI, A. R. A.; BZUNECK, J. A. A motivação de alunos adolescentes enquanto desafio na formação do professor. **IX Congresso Nacional De Educação**, p. 1478–1489, 2009.
- DEWEY, J. **A escola e a sociedade e a criança e o currículo.** Lisboa: Relógio d'Água, 2002.
- DOS SANTOS, L. F. F.; DE OLIVEIRA, A. L. Experimento em tubo sonoro: aprendendo a usar o Sweep Gen com o tubo de Kundt. **Revista Ciências & Ideias ISSN: 2176-1477**, v. 8, n. 3, p. 145–156, 2018.
- ECKMAN, E. W.; WILLIAMS, M. A.; SILVER-THORN, M. B. An Integrated Model for STEM Teacher Preparation: The Value of a Teaching Cooperative Educational Experience. **Journal of STEM Teacher Education**, v. 51, n. 1, p. 71–82, 2016.
- FÉLIX, R. C. V. R. **STEM no ensino do som: um estudo com alunos do 8 .º ano.** Lisboa: Universidade de Lisboa, 2021.
- FERNANDES, J.; TEODORO, V. D. **Ambientes de Aprendizagem Activa para a Educação STEM — Algumas Tendências no Uso de Tecnologias.** p. 46–48, 2007.
- GUEDES, F. C. M. C. **STEM na Aprendizagem de Física : um estudo com alunos do 3 .º ciclo do ensino básico.** Lisboa: Universidade de Lisboa, 2019.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação Ondas e Termodinâmica.** 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. v. 2
- HECK, C. **Integração de tecnologia no ensino de física na educação básica : um estudo de caso utilizando a experimentação remota móvel.** Araranguá-SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.
- KITSLAB. **Kit de Física - Tubo de Kundt.** Disponível em:

<<https://www.kitslab.com.br/kit-de-fisica-tubo-de-kundt>>. Acesso em: 23 jun. 2022.

LIMA, V. V. Espiral construtivista: Uma metodologia ativa de ensino-aprendizagem. **Interface: Communication, Health, Education**, v. 21, n. 61, p. 421–437, 2017.

LORENZIN, M.; ASSUMPÇÃO, C. M.; BIZERRA, A. 9 - Desenvolvimento do currículo STEAM no ensino Médio: a formação de professores em movimento. In: **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico prática**. Porto Alegre: Penso, 2018. p. 369–373.

MESQUITA, A. F. S. *et al.* Aprendendo a organização da tabela periódica e o uso cotidiano dos elementos químicos. **Pedagogia em Foco**, v. 14, n. 12, p. 168–179, 2019.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOTA, A. R.; ROSA, C. T. W. DA. Ensaio sobre metodologias ativas: reflexões e propostas. **Revista Espaço Pedagógico**, v. 25, n. 2, p. 261–276, 2018.

NUNES, R. H. G. **Uma proposta didática de ensino de ondas auxiliada pela construção de um tubo de Kundt**. Mossoró: Universidade Federal do Semi Árido, 2019.

PIFFERO, E. *et al.* Metodologias Ativas e o ensino de Biologia: desafios e possibilidades no novo Ensino Médio. **Revista Ensino & Pesquisa**, v. 18, n. 2, p. 48–63, 2020.

PUGLIESE, G. O. **Os modelos pedagógicos de ensino de ciências em dois programas educacionais baseados em STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics)**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2017.

SAAB, S. DA C.; CÁSSARO, F. A. M.; BRINATTI, A. M. Laboratório Caseiro : Tubo Adaptado Como Tubo De Kundt. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, p. 112–120, 2005.

SANTOS, A. M. T. B. DOS; SILVA, I. T. DA. Forma Engenharia: Projeto Scada incentivo para estudantes de Ensino Médio a cursarem Engenharia. p. 1–21, 2015.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física: Oscilações, Ondas e Termodinâmica**. 5ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. v. 2

SILVA, A. F. DA. **RoboEduc: Uma Metodologia de Aprendizado com Robótica Educacional**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.

SILVA, P. **Uso do programa STEM como alternativa de aprendizagem para alunos de 9º ano em escola pública e privada da rede de ensino no município de Joinville - Santa Catarina**. p. 1–21, 2017.

SOUSA, I. C. *et al.* ForGirls: Incentivando meninas para a Área de Exatas através da Metodologia STEM. **2020**, p. 224–228, jun. 2020.

VASCONCELOS, R. D. DE. **As Políticas Públicas de Educação Integral, a Escola**

Unitária e a Formação Onilateral. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente.** 4ª ed. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem.** Versão para eBook: Ridendo Castigat Mores, 2001.

YOUNG, H. D. .; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e Ondas.** 14ª ed. São Paulo: Pearson, 2015.

Apêndice A

Questionário Investigativo

01. Defina o que é uma onda no seu entendimento.

R. _____

02. Para você, o som é uma onda?

() Sim () Não

03. Podemos calcular a velocidade de propagação de uma onda conhecendo as seguintes grandezas dela:

- a) Massa e comprimento de onda;
- b) Amplitude e frequência;
- c) Comprimento de onda e intensidade;
- d) Frequência e comprimento de onda.

04. A altura do som define:

- a) Seu volume;
- b) Sua velocidade;
- c) Seu alcance;
- d) O quão agudo ele é.

05. A característica do som que define sua altura é:

- a) Sua frequência;
- b) Sua amplitude;
- c) Sua velocidade;
- d) Sua intensidade.

06. Com relação a reflexão do som, podemos afirmar que:

- a) Ocorre quando ele se propaga passando de um meio material para outro alterando sua velocidade;
- b) Ocorre quando ele encontra um obstáculo e retorna para o meio de

origem de propagação sem alterar sua velocidade;

c) Ocorre quando ele encontra um obstáculo e retorna para o meio de origem de propagação alterando sua velocidade;

d) Ocorre quando ele se propaga passando de um meio material para outro sem alterar sua velocidade;

07. Você sabe o que é uma onda estacionária? Em caso afirmativo, descreva sua definição.

R. _____

08. Você sabe o que é ressonância e quais as condições para que ela ocorra?

R. _____

09. Você sabe o que são tubos sonoros? Poderia dar um exemplo?

R. _____

10. Você tem alguma noção de eletrônica? Já manuseou algum circuito eletrônico?

R. _____

Apêndice B

Slides Ondas Sonoras



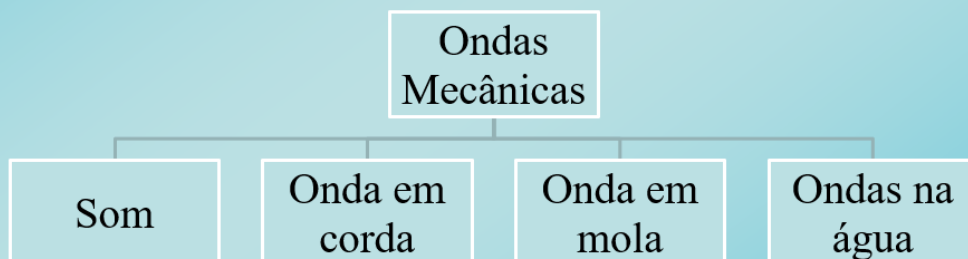
Um meio em perfeito equilíbrio sofre uma perturbação quando pelo menos uma das propriedades de um ou mais de seus pontos é alterada em relação aos demais pontos do meio.

Onda

É Uma perturbação que se propaga em um meio, determinando a transferência de energia, sem transporte de matéria.

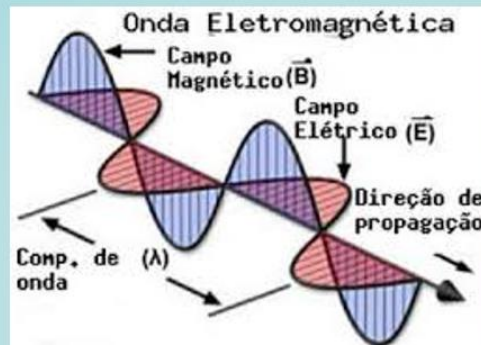
NATUREZA DAS ONDAS:

Mecânicas: são ondas que se propagam através das vibrações das moléculas de um meio material.



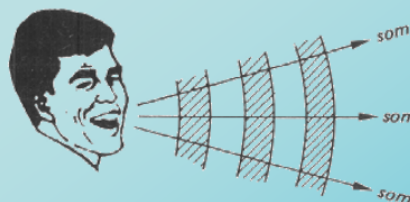
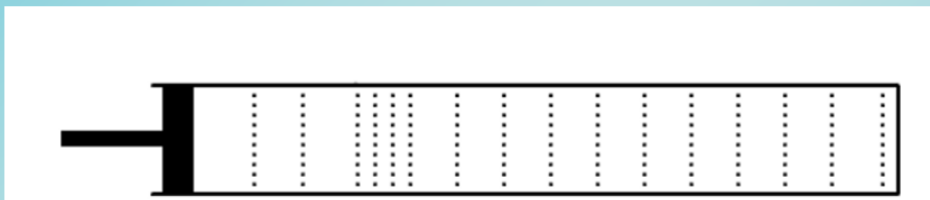
Eletromagnéticas: são ondas que se propagam através das vibrações de seus campos elétricos e magnéticos. Propagam-se no vácuo.

Ex: ondas de radio AM e FM, ondas TV, microondas (celular), infravermelho (calor), luz, UV, raio X e raio γ etc.

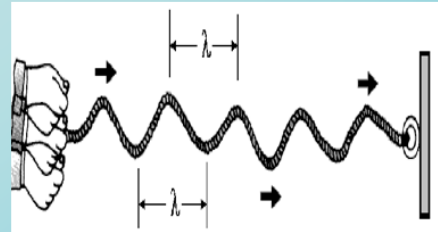
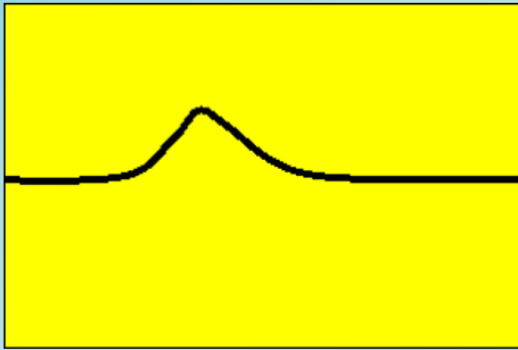


TIPOS DE ONDAS QUANTO À DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO

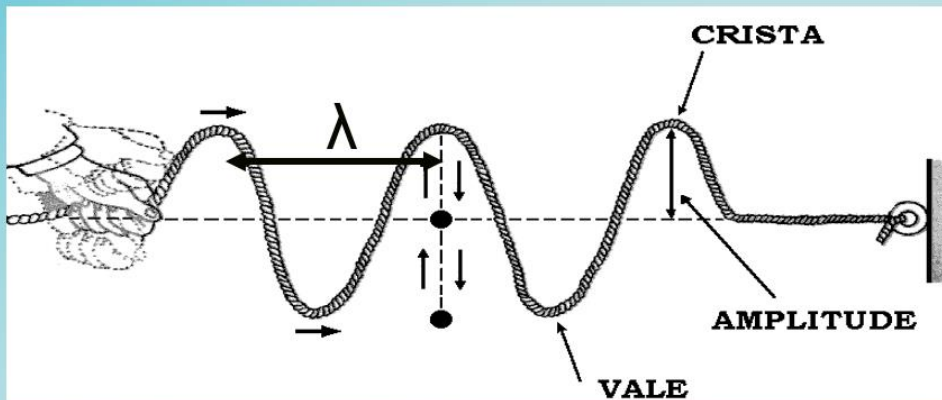
LONGITUDINAL: são as ondas que vibram ao longo da direção de propagação. Ex: som nos fluidos, uma mola tracionada etc.



Transversais: são ondas que vibram perpendicularmente a direção de propagação. Ex: Todas as ondas eletromagnéticas, ondas em cordas etc.



Elementos de uma onda



Comprimento de onda (λ): é distância entre duas cristas ou dois vales. Ou também a distância em que a onda se repete.



Relação da velocidade de propagação da onda, o comprimento de onda e o período :

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

Período

ou

$$v = \lambda f$$

Comprimento de onda

Frequência

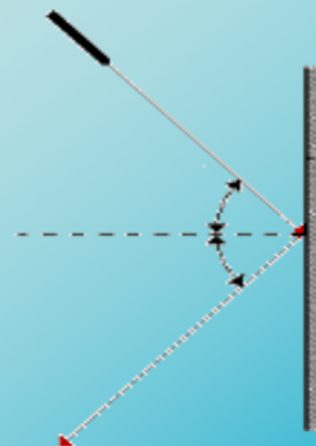
FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

Reflexão

É o fenômeno em que uma onda propaga-se por um meio e ao encontrar um obstáculo retorna ao mesmo meio

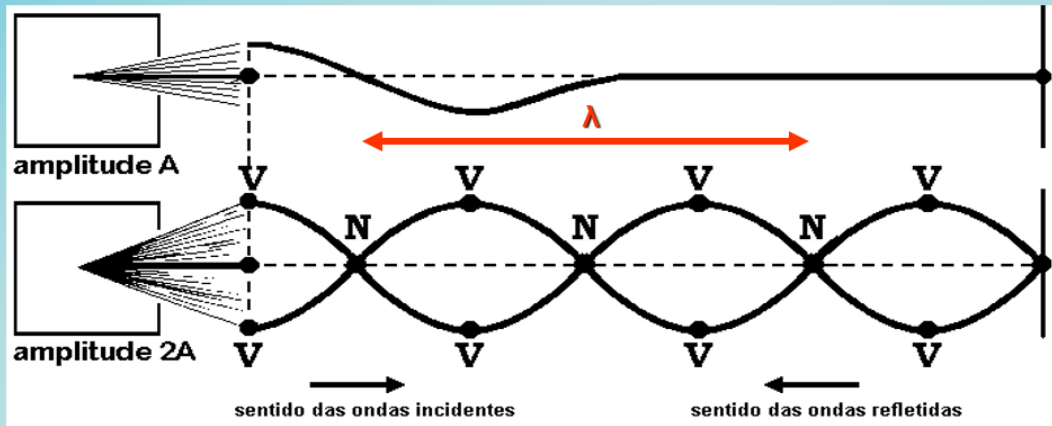
Não é alterada:

- frequência(f),
- período(T),
- comprimento de onda (λ),
- velocidade(v)



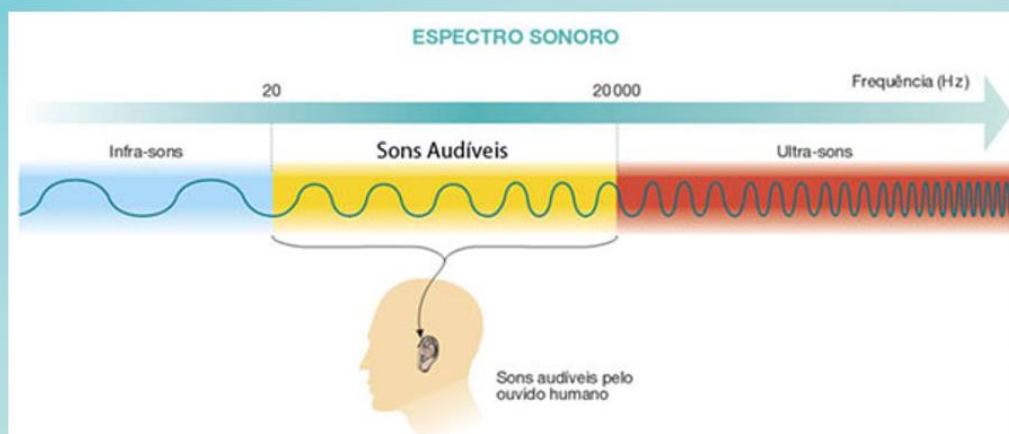
ONDAS ESTACIONARIAS

É o fenômeno de um trem de ondas que incidem sobre um obstáculo e apresentam interferência das ondas incidentes com as ondas refletidas



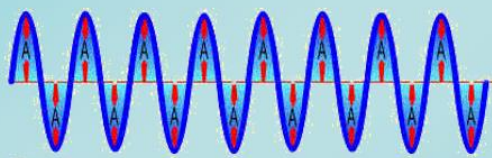
A distância entre dois nós consecutivos é $\lambda/2$

FREQUÊNCIA AUDÍVEL

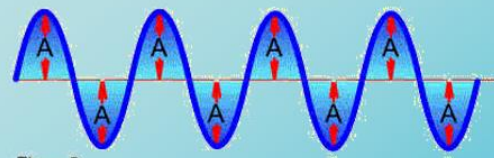


ALTURA: Diferencia sons graves (baixo) de sons agudos (alto).

Está relacionado a freqüência da onda



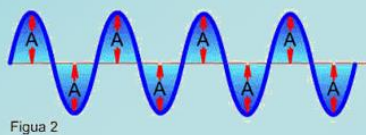
agudo



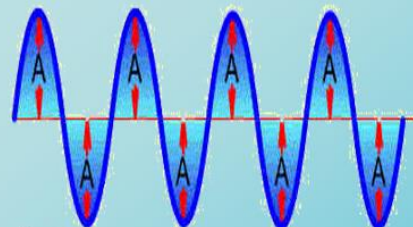
grave

INTENSIDADE (VOLUME): Diferencia sons fortes de sons fracos.

Está relacionado a Amplitude da onda



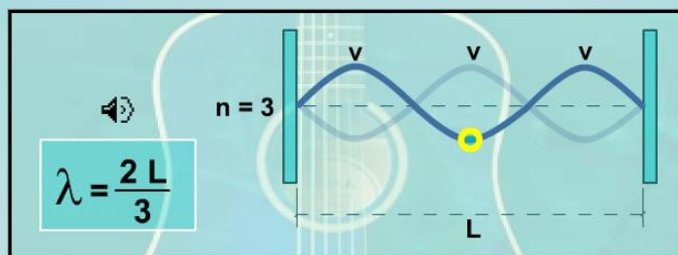
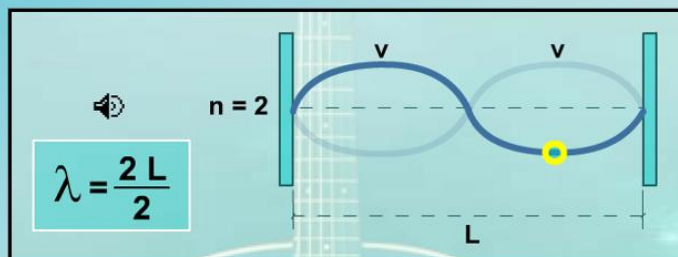
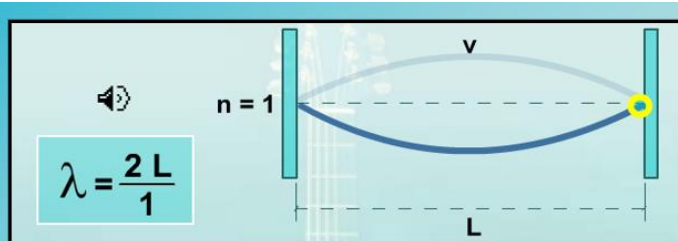
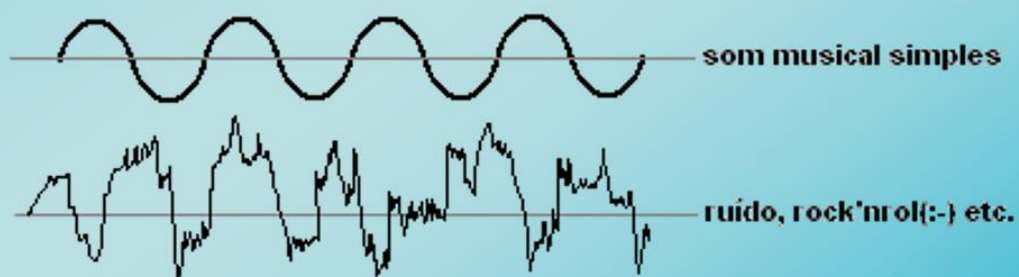
Fraco



Forte

TIMBRE: Diferencia sons de mesma altura, mesma intensidade tocados em instrumentos diferentes.

Esta relacionado com a forma da onda.



Cordas Vibrantes

- Instrumentos Musicais
- Corda fixa em seus extremos
- Propagação nas duas extremidades
- Modos de vibração

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

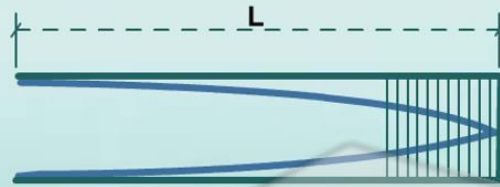
$$f_n = n \frac{v}{2L}$$

Para $n = 1, 2, 3, \dots$

Tubos Sonoros Fechados

$$L = 1 \cdot \frac{\lambda}{4}$$

1º harmônico



$n=1$ ventre ou um nodo

$$\lambda_n = \frac{4L}{n}$$

$$f_n = n \frac{v}{4L}$$

Para $n = 1, 3, 5, \dots$

$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{4}$$

3º harmônico



$n=2$ ventres ou 2 nodos

$$L = 5 \cdot \frac{\lambda}{4}$$

5º harmônico

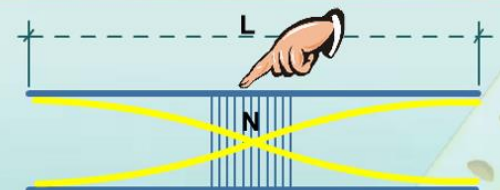


$n=3$ ventres ou 3 nodos

Tubos Sonoros Abertos

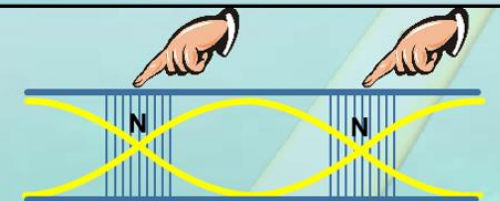
$$L = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$n=1$ (1º harmônico - som fundamental)



$$L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$n=2$ (2º harmônico)



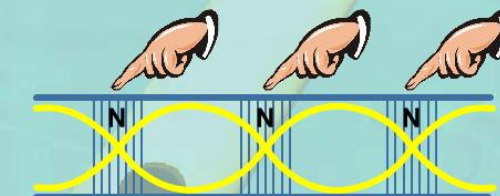
$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$f_n = n \frac{v}{2L}$$

Para $n = 1, 2, 3, \dots$

$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$n=3$ (3º harmônico)



Apêndice C

Roteiro da Prática

ROTEIRO DA PRÁTICA

VAMOS COMEÇAR!

**SOUND
ON**



Utilizando o encoder rotativo, comece emitindo um som de 50Hz e vá aumentando a frequência gradativamente, de 10 em 10 Hz, até que perceba uma vibração mais intensa das bolinhas. Para um ajuste mais fino, utilize incrementos de 1Hz em torno da frequência encontrada de maior vibração (frequência de ressonância).



Após encontrar a frequência de ressonância, aguarde um instante até verificar a formação de nó(s). Faça um esboço da onda estacionária formada e anote o número de nó(s) na tabela de anotações.



Meça a distância entre dois nós consecutivos, encontre o comprimento de onda e calcule a velocidade do som dentro do tubo. Anote os valores encontrados na tabela.



Com a velocidade encontrada, calcule o número do harmônico utilizando a equação que o relaciona com a frequência de ressonância (veja tabela). Registre o valor calculado na tabela.



Compare o número do harmônico calculado com os nós visualizados no experimento. O que se pode observar? Descreva os comentários no campo específico na tabela.



PROCURE MAIS FREQUÊNCIAS DE RESSONÂNCIA!



Repita os passos anteriores e encontre outras frequências de ressonância. Não esqueça de registrar os novos valores na tabela.

Apêndice D

Tabela de Anotações

[illegible]

Apêndice E

Problema Contextualizado

Você mora ao lado de um grupo que constrói seus próprios instrumentos musicais de sopro. Os instrumentos consistem em vários canos de PVC, de comprimentos variados. Um dia você resolve ir observar os instrumentos e percebe algumas diferenças entre eles. Em alguns, uma das pontas dos canos é mantida fechada por uma membrana enquanto a outra é mantida aberta. Já em outros, não existe essa membrana, tendo as duas pontas do cano abertas. Nesse momento, você lembra-se dos tubos sonoros que estudara em Física e fala para um dos artistas, que ali se trata de um tubo sonoro aberto e o outro de um tubo sonoro fechado. O artista então lhe faz uma indagação: “Já que você é bom em Física, me diga qual desses dois instrumentos, que possuem o mesmo comprimento de 50 cm, vai emitir um som mais agudo ao serem tocados no mesmo harmônico?”.

RESOLUÇÃO:

Passo 1:

Frase: Qual a diferença de um tubo sonoro aberto para um tubo sonoro fechado?

Ideias físicas: qualidades fisiológicas do som, ressonância, tubos sonoros, velocidade do som no ar.

Abordagem: Precisaremos encontrar qual a frequência do 1º harmônico para um tubo sonoro fechado e para um tubo sonoro aberto, ambos com 50 cm de comprimento.

Passo 2:

$$\text{Temos: } V_{\text{som ar}} = 340 \frac{m}{s}, L = 50 \text{ cm}, n = 1.$$

$$\text{Equação utilizada: } f = \frac{nv}{2L}; \quad f = \frac{nv}{4L}$$

Passo 3:

Aplicamos a equação da frequência para os tubos sonoros e comparamos em qual deles encontramos o maior valor para poder classificar em qual o som será mais agudo.

Passo 4:

Aplicando as equações, temos:

TUBO FECHADO

$$f_1 = \frac{1 \cdot 340}{4 \cdot 0,5} = 170 \text{ Hz}$$

TUBO ABERTO

$$f_1 = \frac{1 \cdot 340}{2 \cdot 0,5} = 340 \text{ Hz}$$

Passo 5:

Comparando os resultados, percebemos que o tubo sonoro aberto emitirá um som mais agudo.

Apêndice F

Questionário Auto Avaliativo

01. Como você avalia a sua participação e a dos outros integrantes da sua equipe em todo o projeto?

(☐) Ótima (☐) Boa (☐) Regular (☐) Ruim (☐) Péssima.

02. Você acredita que, durante a atividade, o trabalho em grupo favoreceu no seu aprendizado?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

03. Houve satisfação na realização do experimento e na forma como o conhecimento foi transmitido em todo o trabalho?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

04. Você gostaria que os conteúdos de Física fossem trabalhados mais vezes com essa metodologia?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

05. Na sua avaliação, você acredita que houve ganho de aprendizado na disciplina de Física durante a elaboração do projeto?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

06. Após a realização da atividade, você conseguiria relacionar as frequências de ressonância com os harmônicos formados em um tubo sonoro?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

07. Após a realização do projeto, você se julga capaz de calcular a velocidade de uma onda sonora conhecendo sua frequência e a distância entre 2 nós formados pela onda estacionária?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

Tabelas originais dos grupos

[illegible]

FREQUÊNCIA	ESBOÇO	Nº DE NÓS	DISTÂNCIA ENTRE NÓS	COMPRIMENTO DE ONDA	VELOCIDADE DO SOM	Nº DE HARMONICO	OBSERVAÇÕES
295 Hz		3	40cm	2.40 = 80	$v = 08.275$ $v = 220$	$275 = \frac{v \cdot 220}{2 \cdot 1}$ $275 = 110m$ $n = \frac{215}{110}$ $n = 2.5$	
514 Hz		3	38cm	2.38 = 76	$V = 076.54$ $V = 390.64$	$514 = \frac{V \cdot 390.64}{2 \cdot 1}$ $514 = 390.64m$ $514 = 195.32m$ $N = \frac{514}{263.32}$ $N = 2.5$	
704 Hz		4	27cm	2.27 = 54	$v = 054.704$ $v = 380.16$	$704 = \frac{v \cdot 380.16}{2 \cdot 1}$ $704 = 190.08m$ $n = \frac{704}{263.32}$ $n = 3.70$	
400 Hz		2	57cm	2.57 = 74	$V = 074.00$ $V = 296$	$400 = \frac{v \cdot 296}{2 \cdot 1}$ $400 = 148m$ $n = \frac{400}{148}$ $n = 3.30$	
				FÓRMULAS	$v = \lambda \cdot f$	$f = \frac{n \cdot v}{2L}$	

Dados levantados pelo Grupo-03.

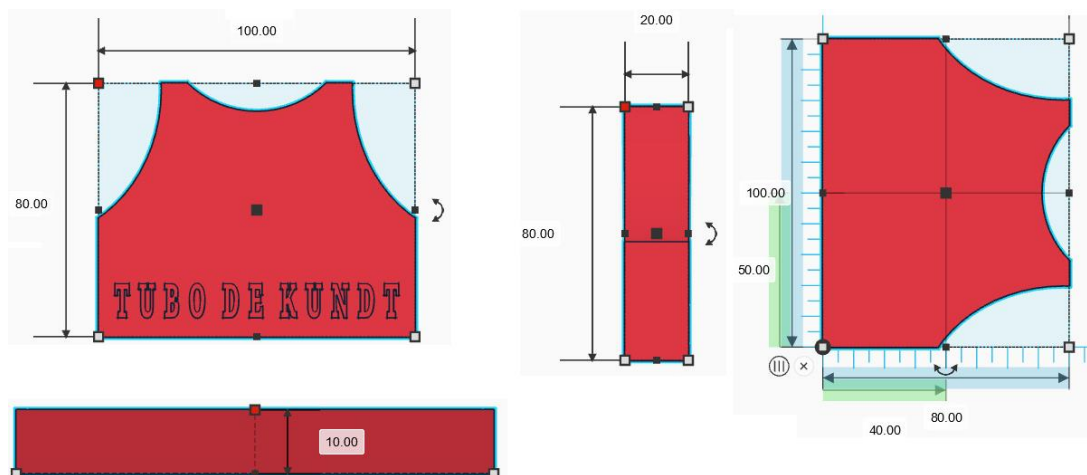
TABELA DE ANOTAÇÕES

[illegible]

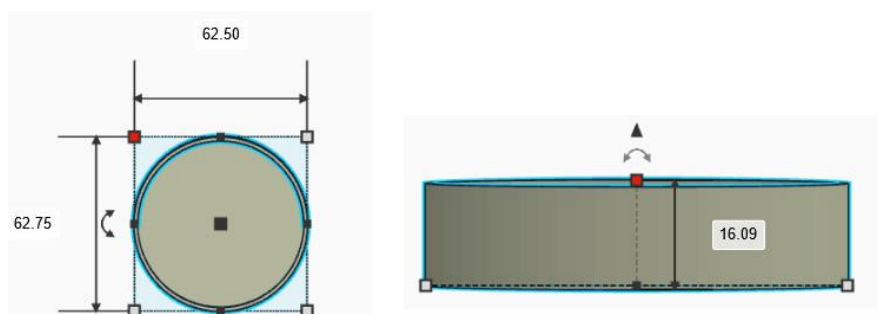
Apêndice H

Medidas dos materiais confeccionados

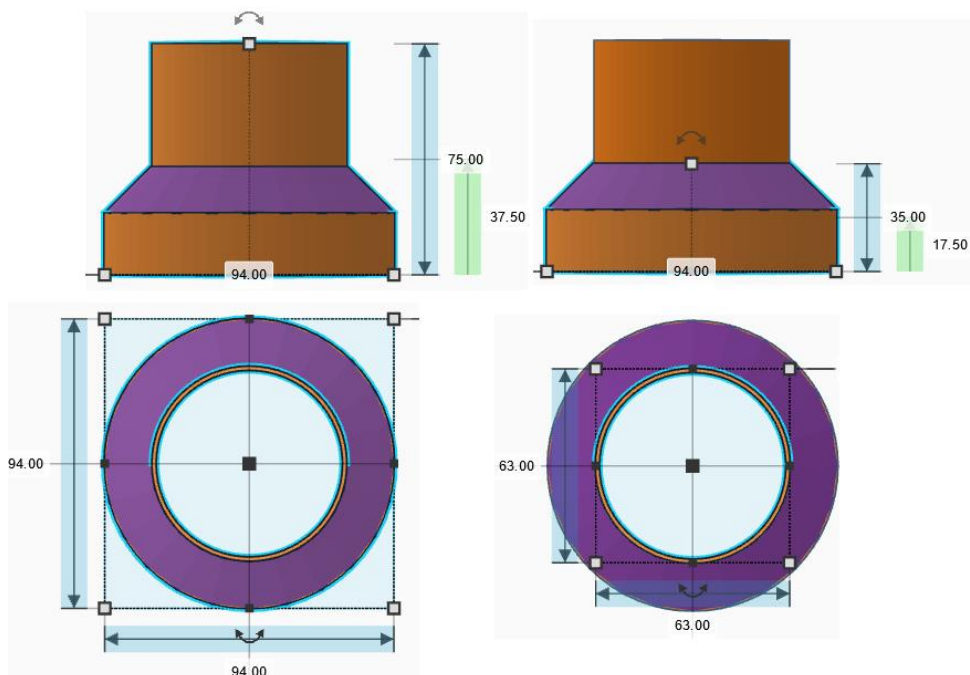
BASE PARA O TUBO



TAMPA PARA O TUBO



ACOPLADOR DO ALTO-FALANTE/TUBO



MEDIDAS EM MILÍMETROS

Apêndice I

Produto Educacional



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA - NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

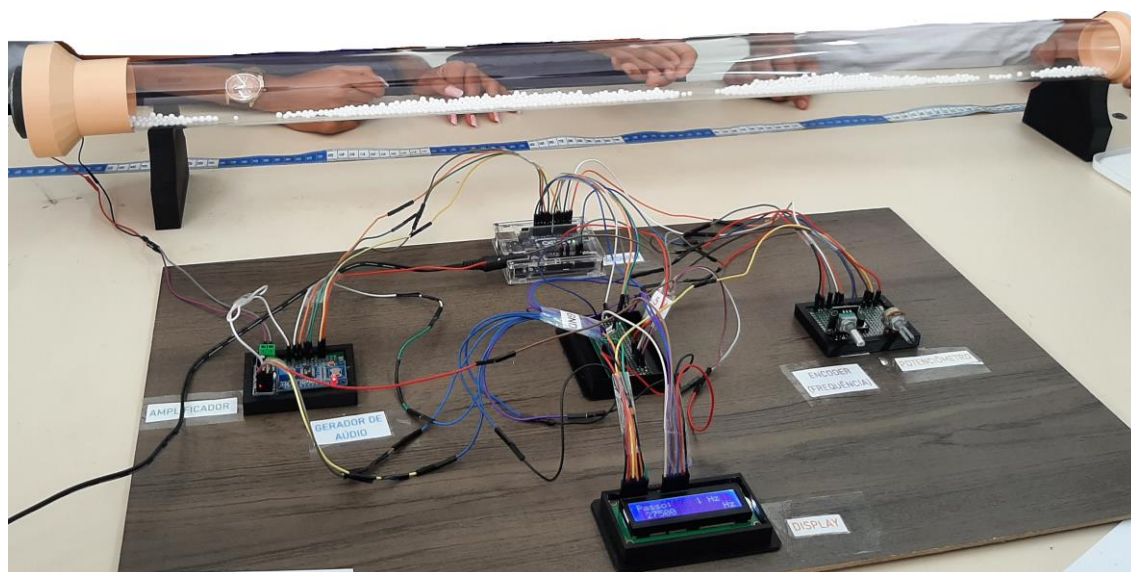


Figura 1. Experimento do tubo de Kundt

**CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT CONTROLADO POR ARDUINO
PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS**

SILVIO OLIVEIRA COSTA SILVA

São Cristóvão - SE
Julho/2022

CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT CONTROLADO POR ARDUINO PARA O ENSINO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

SILVIO OLIVEIRA COSTA SILVA

Produto Educacional de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Sergipe no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Edvaldo Alves de Souza Junior

São Cristóvão - SE
Julho/2022

Sumário

Apresentação.....	86
Produto Educacional.....	87
Montagem do Circuito.....	87
Instalação do Software Arduino	92
Sketch do Arduino.....	96
Montagem do Tubo de Kundt.....	101
Sequência Didática	103
Apêndice A Questionário Investigativo	110
Apêndice B Slides Ondas Sonoras	111
Apêndice C Roteiro da Prática	119
Apêndice D Tabela de Anotações	120
Apêndice E Problema Contextualizado.....	121
Apêndice F Questionário Auto Avaliativo	122
Apêndice G Medidas dos materiais confeccionados	123
Referências Bibliográficas.....	124

Apresentação

O produto educacional apresentado na sequência é fruto da dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Sociedade Brasileira de Física, polo UFS em São Cristóvão/SE, denominada “Construção de um tubo de Kundt controlado por Arduino para o ensino de ondas estacionárias”.

O projeto proposto tem como finalidade a construção do experimento tubo de Kundt, utilizando uma linguagem via Arduino, para o estudo de ondas estacionárias e frequências de ressonância, tendo em vista a produção de uma aprendizagem colaborativa e construtivista que propicie um ensino de Física mais atraente e eficaz. Toda sua elaboração, inclusive a sugestão de uma sequência didática, estão descritas nos tópicos seguintes.

O experimento foi idealizado com o intuito de servir como instrumento para favorecer o desenvolvimento das funções mentais superiores dos alunos, na busca de alcançar a Zona de Desenvolvimento Proximal. Essa Zona deve ser acionada através das interações entre eles e seus signos já internalizados e diante da mediação do professor para obtenção de uma aprendizagem contextualizada, baseada na teoria Sociointeracionista de Vygotsky.

O produto desenvolvido pode ser aplicado utilizando uma abordagem STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), propiciando o desenvolvimento de habilidades e competências ao abordar os conteúdos de forma integrada com as novas tecnologias e contextualizada com suas aplicações nas carreiras afins.

Com isso, este material se apresenta como uma ferramenta interessante para os professores de Física na contribuição do processo de ensino e aprendizagem, sendo passível de adequações para as suas realidades. Cabe salientar que este produto foi aplicado em sala de aula, obtendo resultados que atestam sua viabilidade para os professores que se disponham a utilizá-lo no Ensino Médio.

Produto Educacional

O produto educacional consiste em uma sequência didática para aplicação do experimento tubo de Kundt utilizando a plataforma Arduino para o estudo de ondas estacionárias e frequências de ressonância de forma interativa.

A elaboração do experimento será descrita nos seguintes subtópicos:

- **Montagem do circuito**, com a indicação de todos os dispositivos utilizados e suas ligações com o Arduino;
- **Instalação do software Arduino**, demonstra como instalar o programa que carregará o microprocessador;
- **Sketch do Arduino**, descreve o código criado para a geração de ondas sonoras senoidais e demonstra como executá-lo no software e carregá-lo na placa Arduino;
- **Montagem do tubo de Kundt**, apresenta os materiais utilizados e o passo a passo da armação do experimento e seu acoplamento com o circuito montado.

A sequência didática de implementação do experimento é descrita na seção **Sequência Didática**, apresentando como deve ser feita a aplicação em sala de aula.

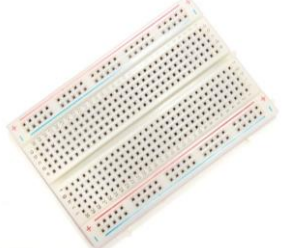
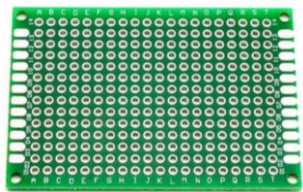
Montagem do circuito

A tabela 1 apresenta os dispositivos utilizados para montagem do circuito responsável pela geração de ondas sonoras senoidais, com o detalhamento de suas funções.

Tabela 1. Dispositivos utilizados na montagem do circuito com suas funções e ilustrações.

DISPOSITIVO	FUNÇÃO	ILUSTRAÇÃO
Arduino UNO R3	Controlar todos os dispositivos enviando os comandos inseridos no Sketch (programação).	 Fonte: Arduino.cc ¹

¹ Disponível em: <<https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>>. Acesso em: 15 jul. 2022.

Cabo USB Arduino	Fazer a ligação (comunicação) entre a placa Arduino e o computador.	 Fonte: arduinoeletronica²
Protoboard	Fazer uma extensão da saída de 5V e do GND da placa Arduino para serem ligadas aos outros componentes do circuito.	 Fonte: shopee³
Placa de circuito interno	Alternativa mais barata para substituir a protoboard. A desvantagem é que as trilhas nessa placa devem ser feitas com o uso de um ferro de solda.	 Fonte: institutodigital⁴
Jumpers	Fazer as ligações entre os dispositivos.	 Fonte: filipeflop⁵
Encoder Rotativo	Utilizado para selecionar as frequências que serão emitidas pelo gerador de áudio. Ele possui um botão (pressionando o eixo central) que servirá para adiantar o passo na seleção das frequências.	 Fonte: arduinoecia⁶

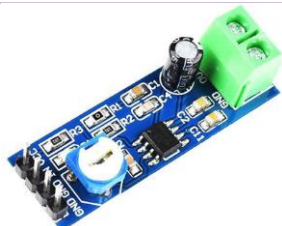
² Disponível em: <<https://www.arduinoeletronica.com.br/produto/cabo-usb-tipo-a-b-perfeito-para-arduino-uno-mega-e-leonardo/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

³ Disponível em: <<https://shopee.com.br/Protoboard-Breadboard-De-400-Pontos-Furos-i.303566966.5953677982>>. Acesso em: 19 set. 2022.

⁴ Disponível em: <<https://www.institutodigital.com.br/produto/placa-de-circuito-impresso-ilhada-de-fibra-de-vidro-5x7-cm/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

⁵ Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/jumpers-macho-macho-x40-unidades/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

⁶ Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/como-usar-encoder-rotativo-ky-040-arduino/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

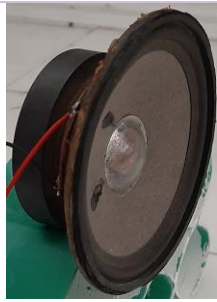
Botão	Reduzir o passo na seleção das frequências emitidas pelo gerador de áudio.	 Fonte: vidadesilicio⁷
Potenciômetro 10K	Usado para controlar o contraste do LCD, e deve ser ajustado sempre que ligar o display para poder visualizar bem cada caractere.	 Fonte: fermarc⁸
Display LCD 16x2	Utilizado para visualizar as frequências que estão sendo emitidas e o passo utilizado para suas variações.	 Fonte: próprio autor
Gerador de áudio AD 9850	Produzir ondas sonoras senoidais de frequências variadas. Ele é capaz de produzir frequências de 0 a 30 Mhz.	 Fonte: curtocircuito⁹
Amplificador LM 386	Amplificar e enviar o sinal de áudio do gerador para ser reproduzido no alto-falante.	 Fonte: submarino¹⁰

⁷ Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/produto/chave-tactil-12x12/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

⁸ Disponível em: < <https://www.fermarc.com/potenciometro-linear-10k-l20>>. Acesso em: 19 set. 2022.

⁹ Disponível em: < <https://www.curtocircuito.com.br/modulo-gerador-de-frequencia-ate-40mhz-ad9850.html>>. Acesso em: 19 set. 2022.

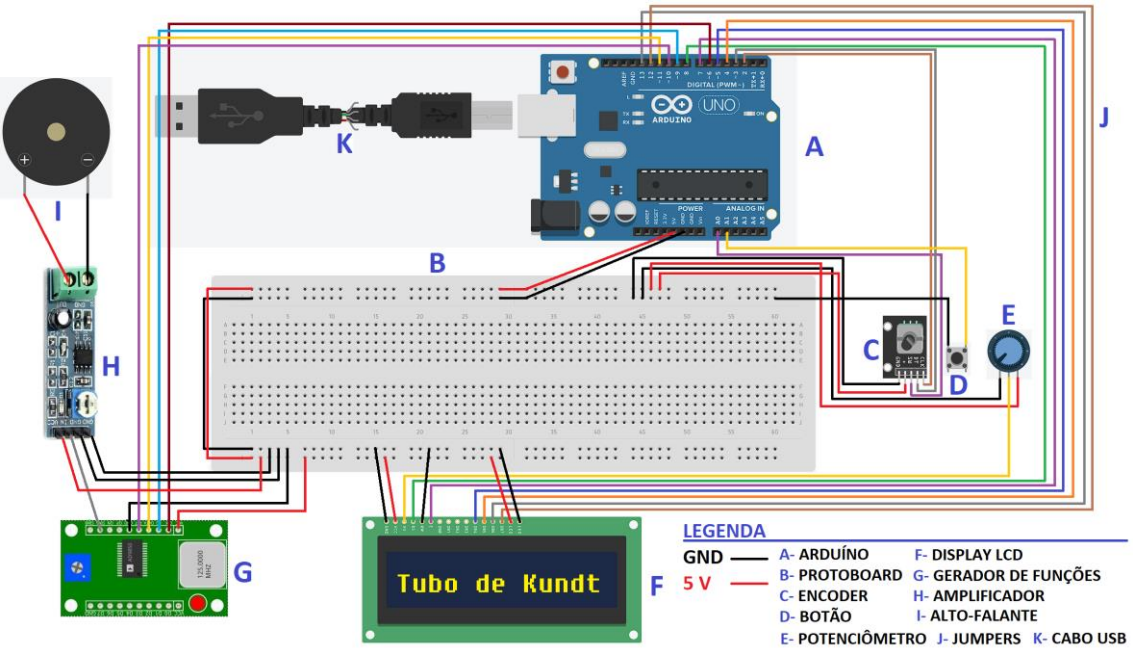
¹⁰ Disponível em: < <https://www.submarino.com.br/produto/4059483001>>. Acesso em: 19 set. 2022.

Alto-falante 3 W 5 Ω	Emitir a onda sonora amplificada dentro do tubo.	 Fonte: próprio autor
---	---	--

Todos os dispositivos utilizados para montagem do circuito podem ser encontrados em lojas de eletrônica ou em sites de vendas deste seguimento.

O circuito tem a finalidade de produzir ondas sonoras senoidais com frequências variadas que podem ser controladas pelo encoder e visualizadas pelo display LCD. A figura 2 exhibe a esquematização das ligações do circuito. Todas as ligações foram feitas através dos Jumpers.

Figura 2. Esquematização das ligações do circuito.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

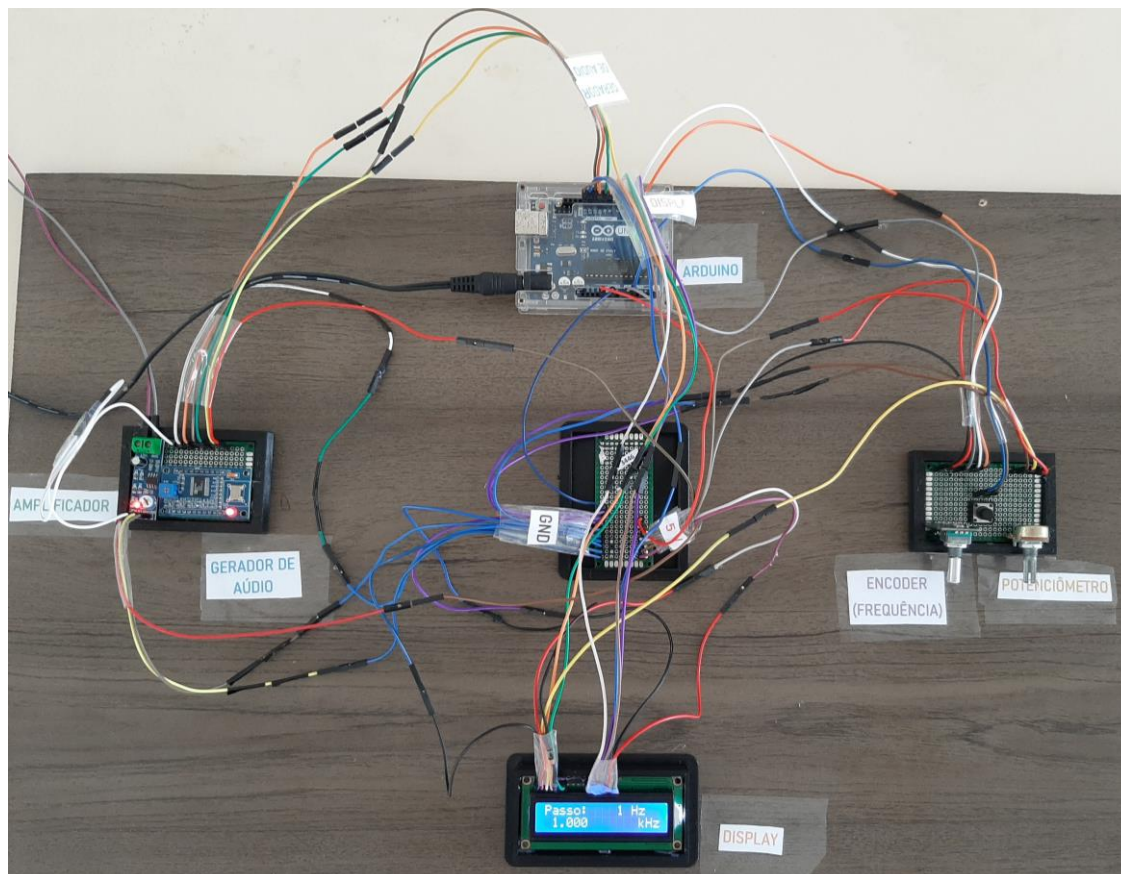
Para facilitar a visualização das conexões entre os dispositivos e os pinos do Arduino, foi elaborada a tabela 2.

Tabela 2. Conexões entre os dispositivos e o Arduino.

DISPOSITIVO	PINO DO DISPOSITIVO	PINO DO ARDUINO
Encoder Rotativo	CLK	2
	DT	3
	SW	A0
	+	5 V
	GND	GND
Botão	ESQUERDO	GND
	DIREITO	A1
Potenciômetro 10K	ESQUERDO	GND
	MEIO	V0 (PINO DO DISPLAY)
	DIREITO	5 V
Display LCD 16x2	GND	GND
	VCC	5 V
	V0	MEIO (PINO DO POTENCIÔMETRO)
	RS	8
	RW	GND
	E	7
	D4	5
	D5	4
	D6	13
	D7	12
	A	5 V
	K	GND
Gerador de áudio AD 9850	VCC	5 V
	W_CLK	6
	FU_UD	9
	DATA	11
	RESET	10
	GND	GND
	SINE OUTPUT 1	IN (PINO DO AMPLIFICADOR)
Amplificador LM 386	VCC	5V
	IN	SINE 1 (PINO DO GERADOR DE ÁUDIO)
	GND	GND

	GND	GND
Alto-falante 3 W 5 Ω	+	OUT (PINO DO AMPLIFICADOR)
	-	GND DO AMPLIFICADOR

Figura 3. Circuito montado.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Após a montagem do circuito (figura 3) é necessário instalar o software Arduino no computador, etapa descrita no tópico **Instalação do software Arduino**. Na sequência deve-se inserir o sketch no software para carregar a placa Arduino, esse processo está retratado na seção **Sketch do Arduino**.

Instalação do software Arduino

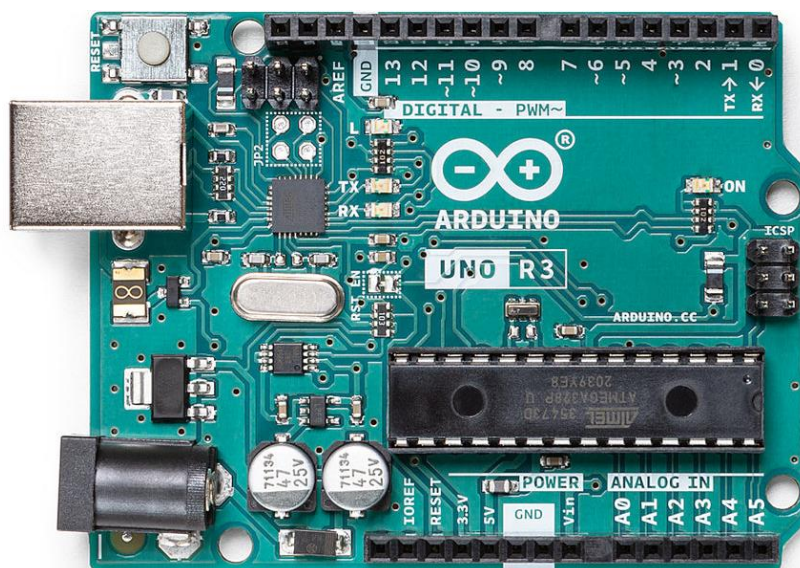
O Arduino é um microcontrolador de código aberto (hardware e software) que foi idealizado pelo italiano Massimo Banzi, juntamente com outros colaboradores, no Ivrea Interaction Design Institute, como um instrumento acessível de prototipagem rápida, dirigida a estudantes de design e artes sem nenhuma formação em eletrônica e programação. Com ele é possível controlar diversos circuitos utilizando uma linguagem

de programação Arduino (baseada em Wiring), e o Software Arduino (IDE), baseado em Processing (ARDUINO.CC, 2018).

O hardware da placa é constituído pelo microprocessador Atmega da Atmel de 8 bits, componentes de entrada e saída e memória. O software é uma IDE (Integrated Development Environment), baseado em uma linguagem de programação C++, usada para compilar pequenos programas denominados sketch, que são enviados para a placa Arduino utilizando uma comunicação serial. É o sketch que irá comandar as ações da placa em operação. Uma vez que o Arduino já esteja carregado com a programação, ele pode executar as tarefas de forma autônoma, sendo ligado diretamente a uma fonte de tensão (recomendada de 7 a 12 V).

Uma das grandes vantagens que levam a utilização do Arduino é o seu baixo custo, o modelo UNO R3 (figura 4), por exemplo, que foi utilizado neste produto, custa em média R\$ 60,00. Outro ponto interessante é que possui uma plataforma de código aberto, podendo compartilhar códigos e experiências com todos que estejam interessados. No site arduino.cc, existem vários projetos e possibilidades de utilização da placa disponíveis, além de vários fóruns à disposição para sanar dúvidas.

Figura 4. Arduino Uno é uma placa microcontroladora baseada no ATmega328P.



Fonte: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>

A plataforma Arduino possui uma infinidade de aplicações que podem ser úteis para o Ensino de Física, como utilização de sensores de temperatura, pressão, umidade, luz, ultrassônicos (para medição de distâncias), de gases, entre outros. Com ele também

é possível montar circuitos eletrônicos com leds, motores, resistores, capacitores e vários outros componentes. No trabalho em questão, o Arduino foi utilizado para criar um circuito gerador de ondas sonoras senoidais responsáveis pela formação das ondas estacionárias dentro de um tubo.

O download do software pode ser feito pelo site: <https://www.arduino.cc/en/software> (figura 5).

Figura 5. Página da internet para download do software Arduino.



Transferências



Arduino IDE 1.8.19

O software Arduino (IDE) de código aberto facilita a escrita de código e o upload para a placa. Este software pode ser usado com qualquer placa Arduino.

Consulte a página de [introdução](#) para obter instruções de instalação.

CÓDIGO FONTE

O desenvolvimento ativo do software Arduino é [hospedado pelo GitHub](#). Veja as instruções para [construir o código](#). Os arquivos de código-fonte da versão mais recente estão disponíveis [aqui](#). Os arquivos são assinados por PGP para que possam ser verificados usando [esta](#) chave gpg.

OPÇÕES DE DOWNLOAD

janelas Win 7 e mais recente
janelas arquivo ZIP

Aplicativo do Windows Ganhe 8.1 ou 10 [Get](#)

Linux 32 bits
Linux 64 bits
Linux ARM 32 bits
Linux ARM 64 bits

Mac OS X 10.10 ou mais recente

[Notas de lançamento](#)

[Somos de verificação \(sha512\)](#)

Builds por hora

Baixe uma **prévia da nova versão** com os recursos e correções de bugs mais atualizados.

OPÇÕES DE DOWNLOAD

janelas
Mac OS 10.10 ou mais recente
Linux: 32 bits, 64 bits, BRAÇO, ARM64

ÚLTIMA ATUALIZAÇÃO : 25 de abril de 2022, 03:52:49 GMT

Versões anteriores

Faça o download da versão anterior da versão atual, da versão clássica 1.0.x ou das versões beta antigas.

OPÇÕES DE DOWNLOAD

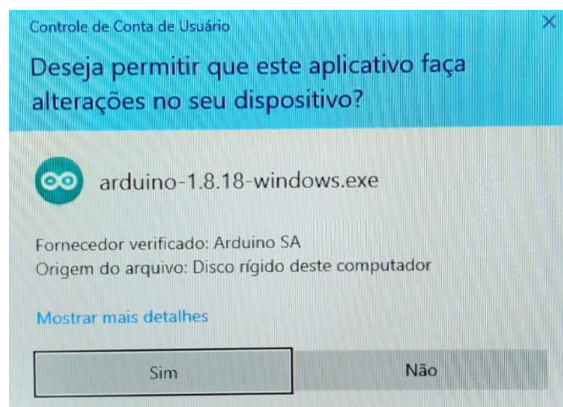
Versão anterior 1.8.18
Arduino 1.0.x
Arduino 1.5.x beta
Arduino 1.9.x beta

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Após entrar no site indicado, faça o download do software de acordo com o seu sistema operacional. No momento do download da versão atual 1.8.19, o site foi direcionado para uma página solicitando uma doação para seguir com o download. Para não precisar realizar essa doação, pode-se baixar a versão anterior 1.8.18, que também irá funcionar perfeitamente.

Após o término do download, abra a pasta de destino e click no aplicativo para fazer a instalação no computador (figura 6).

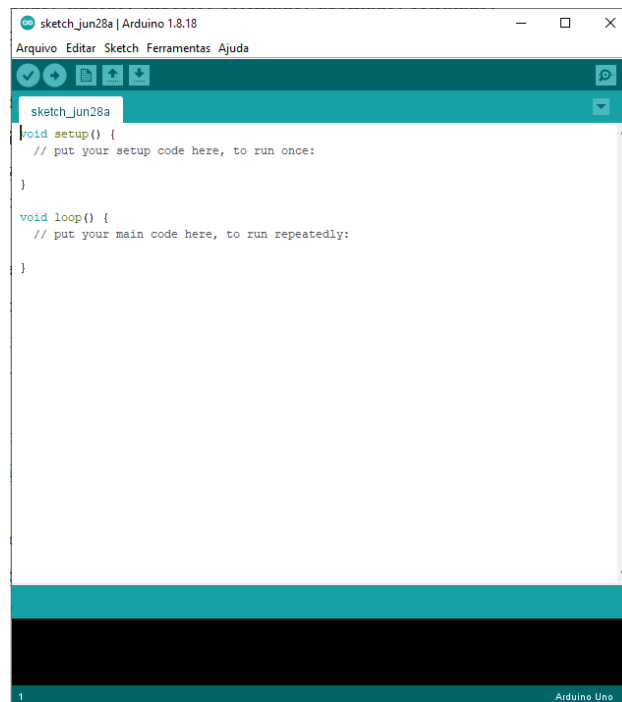
Figura 6. Instalação do software Arduino.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

O sistema pedirá solicitação para instalar alguns softwares adicionais, aceite todos para completar a instalação. Ao término, aparecerá um ícone do programa na área de trabalho. A figura 7 mostra a tela ao abrir o software, o Arduino IDE, que é a interface de comunicação entre o computador e a placa Arduino. Nele será colocado o sketch para iniciar o funcionamento do circuito, processo exposto na seção **Sketch do Arduino**.

Figura 7. Tela inicial do Arduino IDE.



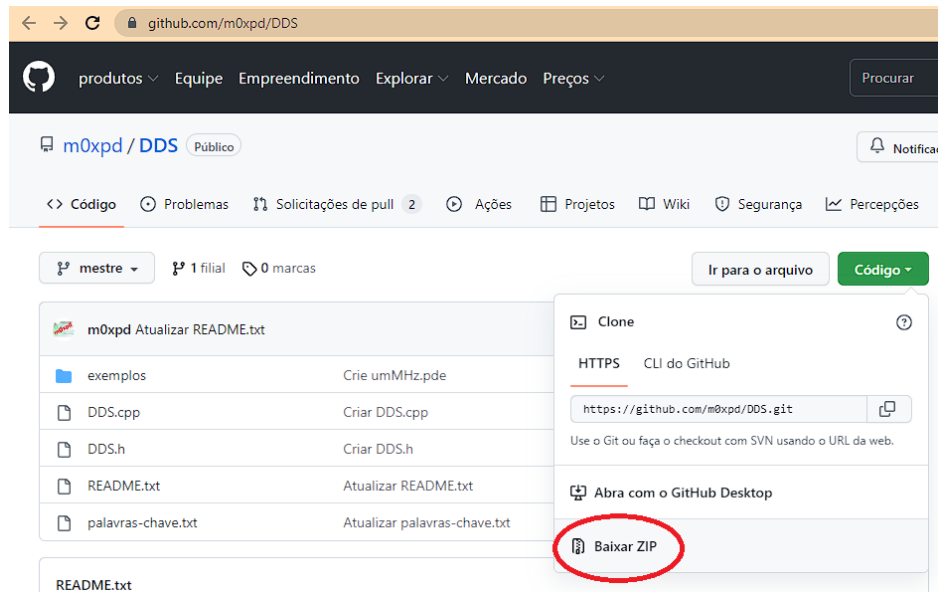
Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Sketch do Arduino

O Sketch é o código (programação) que será utilizado para operar o circuito gerador de ondas sonoras e deverá ser escrito no Arduino IDE, onde será verificado e em seguida carregado para a placa Arduino.

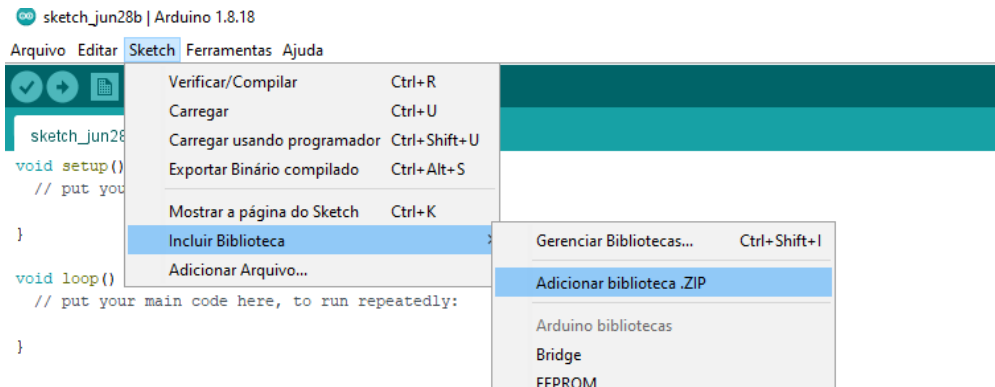
Para o funcionamento do código desenvolvido, há a necessidade de se utilizar **bibliotecas**, que são um conjunto de códigos responsáveis pela rotina de um determinado dispositivo que será gerenciado pelo Arduino. Algumas bibliotecas já estão presentes por padrão no Arduino IDE, já outras precisam ser instaladas. O método para instalação de novas bibliotecas consiste em realizar o seu download no formato compactado zip (figura 8) e depois incluí-la através do menu Sketch > Incluir Biblioteca > Adicionar biblioteca .ZIP, demonstrado na figura 9. Sempre que incluir uma nova biblioteca, deve-se fechar e reiniciar o Arduino IDE.

Figura 8. Como fazer o download de uma biblioteca no formato .ZIP.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Figura 9. Caminho para incluir uma nova biblioteca.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Para o projeto em questão, são utilizadas as seguintes bibliotecas:

- <DDS.h>: biblioteca responsável pelo gerador de áudio AD9850. A biblioteca está disponível para ser baixada no site: <https://github.com/m0xpd/DDS>;
- <Rotary.h>: biblioteca que gerencia o encoder rotativo. A biblioteca está disponível para download no site: <https://github.com/brianlow/Rotary>;
- <LiquidCrystal.h>: biblioteca atribuída ao gerenciamento do display LCD. A biblioteca já vem disponibilizada por padrão no Arduino IDE.

Após a inclusão das novas bibliotecas, o Sketch já pode ser escrito no Arduino IDE.

SKETCH

```
#include <DDS.h> //biblioteca do AD9850
// Pinos do módulo AD9850:
const int W_CLK = 6;
const int FQ_UD = 9;
const int DATA = 11;
const int RESET = 10;
//double freq = 0;
DDS dds(W_CLK, FQ_UD, DATA, RESET); // Associação a biblioteca

#include <LiquidCrystal.h> //Biblioteca do LCD
LiquidCrystal lcd(8, 7, 5, 4, 13, 12); // Pinagem do LCD (RS,E,D4,D5,D6,D7)

#include <Rotary.h> //Biblioteca do Encoder

// Interrupção para o botão
#define stepPin1 A0 // Definindo os Pinos de interrupção do encoder
#define stepPin2 A1

Rotary r = Rotary(2, 3); // Associando os pinos a interrupção

// Frequência inicial
long unsigned int freq = 1000;

// Preparando vetor para escrever as unidades de frequência no LCD
char* stepText[11] = {" 1 Hz", " 10 Hz", " 50 Hz", "100 Hz", "500 Hz", " 1 kHz", "2.5 kHz",
    " 5 kHz", " 10 kHz", "100 kHz", "500 kHz"};

int stepPointer = 0; // Variável que indicará o passo de evolução da frequência
unsigned long incr = 0; //passo
String units = stepText[stepPointer];

void setup() {

    lcd.begin(16, 2); // Inicia o lcd de 16x2
    lcd.clear(); // Limpa o display

    dds.init();
    dds.trim(125000000); // Entra com a frequência do oscilador

    pinMode(2, INPUT_PULLUP); // Pinos direcionados a interrupção
    pinMode(3, INPUT_PULLUP);
```

```

pinMode(stepPin1, INPUT_PULLUP); //Pino para o botão de incremento do passo
no próprio encoder
pinMode(stepPin2, INPUT_PULLUP); //Pinos para o botão de decremento do passo

// Configura a interrupção do Encoder
PCICR |= (1 << PCIE2);
PCMSK2 |= (1 << PCINT18) | (1 << PCINT19);
sei();

//Atualiza o LCD
updateDisplay();
}
void loop()
{
    if (analogRead(stepPin1) <100 )
    {
        if (stepPointer < 10){ stepPointer++; delay(500);}
        updateDisplay(); }
    if (analogRead(stepPin2) <100) {
        if (stepPointer > 0){ stepPointer--; delay(500);}
        updateDisplay();
    } }
ISR(PCINT2_vect) {
    unsigned char result = r.process();
    if (result) {
        if (result == DIR_CW) {
            if ((freq + incr) <= 10000000) freq += incr;
        } else {
            if ((freq - incr) >= 10) freq -= incr;
        }
        if (freq <= 10) freq = 1000;
        if (freq >= 10000000) freq = 10000000;
    }
    dds.setFrequency(freq);
    updateDisplay();
}
void getStep() {
    switch (stepPointer) {
        case 0: incr = 1; break;
        case 1: incr = 10; break;
        case 2: incr = 50; break;
        case 3: incr = 100; break;
        case 4: incr = 500; break;
        case 5: incr = 1000; break;
        case 6: incr = 2500; break;
        case 7: incr = 5000; break;
        case 8: incr = 10000; break;
        case 9: incr = 100000; break;
        case 10: incr = 500000; break;
    } }

```

```

void updateDisplay() {
  getStep();
  units = stepText[stepPointer];

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Passo:");
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print(units);

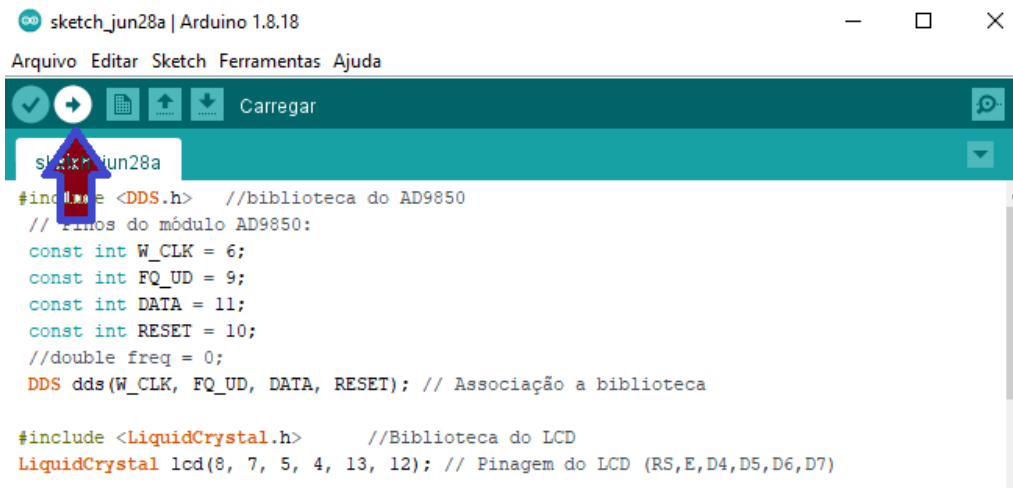
  if (freq < 1000)
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    if (freq < 1000) lcd.print(" ");
    if (freq < 100) lcd.print(" ");
    lcd.print(freq);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(" Hz");
  }
  else
  if (freq < 1000000) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    if (freq < 10000) lcd.print(" ");
    lcd.print((float)freq/1000, 3);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(" kHz");
  } else {
    format(freq);
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(" MHz");
  }
}

void format(long value) {
  int M = (value/1000000);
  int T100 = ((value/100000)%10);
  int T10 = ((value/10000)%10);
  int T1 = ((value/1000)%10);
  int U100 = ((value/100)%10);
  int U10 = ((value/10)%10);
  int U1 = ((value/1)%10);
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print(M);lcd.print(".");lcd.print(T100);lcd.print(T10);lcd.print(T1);
  lcd.print(",");lcd.print(U100);lcd.print(U10);lcd.print(U1);
}

```

Com o Sketch escrito e a placa Arduino ligada ao computador via cabo USB, basta clicar no botão carregar (figura 10) no Arduino IDE para que o código seja enviado para o hardware e ele possa gerenciar todo o circuito.

Figura 10. Botão para carregar o sketch no Arduino.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Com o circuito montado e o Arduino carregado com o Sketch, o seu funcionamento pode ocorrer de forma autônoma, sem ter mais a necessidade do computador, sendo apenas ligado a uma fonte externa de 12 V (figura 11).

Figura 11. Fonte externa de 12 V.



Fonte: google.com.

Montagem do tubo de Kundt

A tabela 3 apresenta os materiais utilizados para a montagem do tubo de Kundt, juntamente com a descrição de cada um e sua imagem.

Tabela 3. Materiais utilizados na montagem do tubo de Kundt.

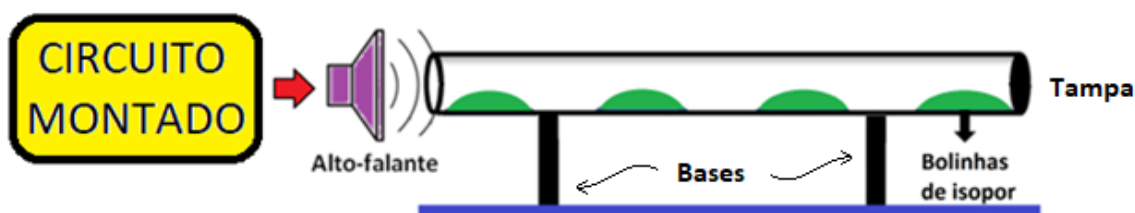
MATERIAL	DESCRIÇÃO	IMAGEM
Tubo de acrílico 1 m	Tubo de 1m de comprimento e diâmetro externo de 60 mm com 2 mm de parede.	 Fonte: próprio autor
Bolinhas de poliestireno	Bolinhas de isopor de aproximadamente 4,0 a 5,0 mm.	 Fonte: próprio autor
Acoplador do alto-falante/tubo	Peça utilizada para unir o alto-falante ao tubo de acrílico. As medidas dependeram do diâmetro do tubo e do alto-falante.	 Fonte: próprio autor
Tampa para o tubo	Peça utilizada para fechar uma das extremidades do tubo de acrílico. As medidas dependeram do diâmetro do tubo.	 Fonte: próprio autor
Fita métrica	Fita métrica com 1,5 m de comprimento.	 Fonte: próprio autor
Bases para o tubo	Duas peças utilizadas para apoiar o tubo mantendo toda sua extensão em um mesmo nível.	 Fonte: próprio autor

As bases para o tubo, o acoplador do alto-falante e a tampa para o tubo foram confeccionadas em uma impressora 3D. As medidas utilizadas estão no Apêndice G. Pode-se também utilizar madeira para produzir esses materiais, caso não tenha uma impressora 3D disponível.

As bolinhas de poliestireno e a fita métrica podem ser encontradas em armarinhos. Já o tubo de acrílico pode ser adquirido no site: <https://www.mercadolivre.com.br/>.

Para a montagem do experimento deve-se colocar uma pequena quantidade de bolinhas dentro do tubo, espalhando uniformemente. A tampa é utilizada para fechar uma das extremidades do tubo enquanto na outra extremidade é colocado o acoplador juntamente com o alto-falante. O tubo tem que ficar apoiado nas duas bases evitando qualquer desnível. A figura 12 ilustra como deve ficar a montagem.

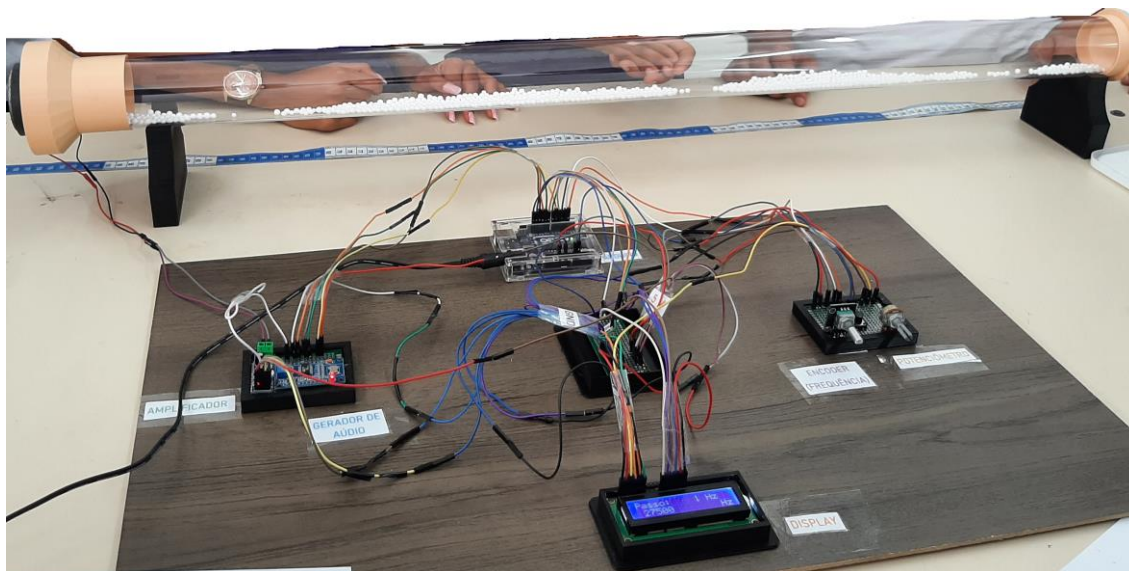
Figura 12. Esquematização do aparato experimental do tubo de Kundt.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A figura 13 apresenta o experimento do tubo de Kundt com o circuito montado.

Figura 13. Experimento do tubo de Kundt com o circuito montado.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Sequência Didática

Para aplicação do experimento elaborou-se uma sequência didática com sete aulas de 50 minutos distribuídas em seis etapas. A separação em etapas deve-se ao fato de haver

uma etapa com a necessidade duas aulas para realização. A tabela 4 exibe um cronograma das tarefas aplicadas em cada etapa do processo.

Tabela 4. Cronograma da sequência didática.

ETAPA	TAREFA	RESUMO	DURAÇÃO
01	Questionário Investigativo	Aplicação de um questionário (apêndice A) para avaliar os conceitos prévios da turma sobre o tema que será proposto.	50 min
02	Aula expositiva	Apresentação de slides (apêndice B) contendo os principais tópicos necessários para o andamento da sequência didática.	50 min
03	Montagem e manuseio do circuito	Demonstração dos dispositivos do circuito e instruções de seu funcionamento. Produção de ondas sonoras com frequências variadas.	50 min
04	Experimento do tubo de Kundt	Os alunos foram desafiados a montarem o experimento do tubo de Kundt e manuseá-lo, observando o comportamento das bolinhas.	50 min
05	Roteiro da Prática	Criação de ondas estacionárias com as frequências de ressonância e formação dos harmônicos. Cálculo do número do harmônico e da velocidade do som no ar dentro do tubo.	100 min
06	Resolução de um Problema Contextualizado e de uma Auto Avaliação	Resolução em grupo de um problema (Apêndice E) envolvendo os conceitos trabalhados. Aplicação de uma Auto Avaliação individual (Apêndice F).	50 min

Para implementação da sequência didática, é importante que o professor observe a descrição detalhada de cada etapa do produto e, caso julgue necessário, realize algumas adaptações visando sua realidade no meio escolar, moldando-se ao número de alunos da

turma, recursos e espaço físico disponíveis, ou qualquer outra peculiaridade. Porém, não é recomendável que se faça alteração na ordem das etapas propostas.

ETAPA 01

A primeira etapa se inicia com a aplicação de um questionário investigativo, apresentado no Apêndice A, com o intuito de identificar quais são os conhecimentos prévios dos alunos acerca do tema que será trabalhado durante todo o projeto. Serão abordados os conceitos de onda, som, onda estacionária, ressonância e tubos sonoros. Após coleta das respostas, o professor deve discutir com os alunos sobre o que foi perguntado no questionário e já começar a introduzir de forma expositiva os principais conceitos que serão trabalhados durante o processo. Ao final faz-se uma avaliação qualitativa sobre o conhecimento factual obtidos pelos alunos durante a aula através de uma breve arguição.

ETAPA 02

Após análise das respostas do questionário aplicado na primeira etapa, realiza-se uma aula expositiva explicando os principais assuntos que serão abordados durante o experimento, focando nos pontos de maior déficit apresentados pela turma. A aula terá a utilização de slides (apêndice B), expondo as características das ondas sonoras, suas qualidades fisiológicas, a definição de ondas estacionárias, a formação de ventres e vales, harmônicos nos tubos sonoros, o experimento do tubo de Kundt e aplicação da equação da velocidade da onda. Também deve-se apresentar um vídeo demonstrando o funcionamento do experimento de Kundt (disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=qUiB_zd9M0k). Ao término da aula podem ser feitos alguns exemplos da aplicação da equação da velocidade da onda para verificação do aprendizado.

ETAPA 03

Para essa fase a sala de aula ou laboratório (caso tenha na escola) deve estar preliminarmente preparado com o circuito previamente montado (figura 14), formado por um gerador de funções (áudio), um amplificador, um potenciômetro, um botão, um microcontrolador Arduino, um encoder rotativo, um display LCD e uma fonte de 12V. Deverão ser formados grupos de 5 ou 6 alunos, preferencialmente montados pelo professor para deixá-los o mais heterogêneo possível. Cada grupo receberá um circuito,

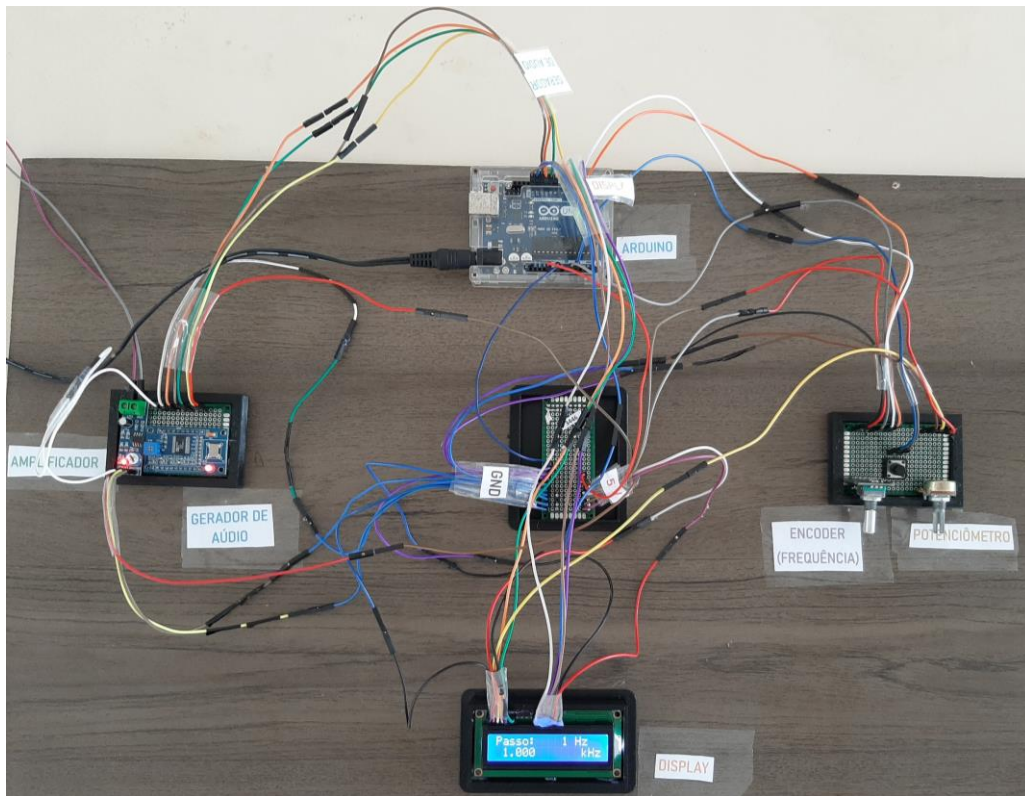
caso não haja circuitos suficientes para todos os grupos, poderá ser feito um rodízio entre eles. Também será entregue separadamente um alto-falante (figura 15). O professor irá apresentar todos os dispositivos e passar as instruções necessárias para seu funcionamento. Em seguida pede-se que cada grupo faça a conexão entre o circuito e o alto falante, ligando corretamente os fios e a fonte de energia para dar início ao experimento.

Os componentes dos grupos precisam ser instruídos a manipular o circuito gerando ondas sonoras com frequências a partir de 50 Hz, aumentando gradativamente esse valor para ter a percepção do quão agudo o som vai ficando. Solicita-se que continuem aumentando a frequência do som até que ele não seja mais audível, registrando esse valor. A intenção é mostrar a relação entre a frequência da onda sonora e a altura do som.

Espera-se que ao final desta etapa, os alunos já estejam conseguindo ter um bom domínio no funcionamento do circuito, tendo a habilidade de gerar ondas sonoras de variadas frequências. Durante todo o processo, o professor deve mediar e orientar os grupos no manuseio, mas sem mostrar exatamente como fazê-lo, justamente para fomentar o trabalho em equipe e a investigação de cada um.

Como forma de verificar o avanço dos alunos nesta etapa, pode ser pedido um resumo escrito no final da aula sobre o funcionamento do circuito e a relação entre a altura do som e a frequência emitida.

Figura 14. Circuito previamente montado.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Figura 15. Alto-falante.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

ETAPA 04

Nessa etapa os grupos devem receber um tubo cilíndrico de acrílico com 1 m de comprimento, dois suportes, uma tampa (conexão cega), uma fita métrica, bolinhas de poliestireno e um alto falante com acoplador (figura 16).

Figura 16. Materiais para montagem do experimento.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Com posse dos materiais e do circuito utilizado na etapa anterior, os alunos serão desafiados a montarem o experimento do tubo de Kundt. Deve-se sugerir que eles investiguem os materiais e façam as conexões.

Em seguida deve-se solicitar que os alunos comecem a emitir ondas sonoras de diferentes frequências, e verifiquem o comportamento das bolinhas de poliestireno com as modificações dessas frequências. Deve haver nesse momento uma mediação do professor sobre as frequências próximas da ressonância, que possuem a capacidade de fazer com que as bolinhas fiquem mais “agitadas” e comecem a se deslocar para formar a onda estacionária.

O propósito nesse estágio é que os alunos entendam como ocorre a ressonância e como se forma a onda estacionária para determinadas frequências específicas do som. Deseja-se que eles adquiram a habilidade de criar essas ondas estacionárias utilizando o aparato experimental construído.

ETAPA 05

Nesse encontro, as equipes utilizarão o experimento já montado na etapa anterior para criar ondas estacionárias (figura 17), procurando as frequências de ressonância que formam os harmônicos dentro de um intervalo de frequência previamente estabelecido. Para cada frequência de ressonância, eles deverão medir a distância entre os nós formados, obter o comprimento de onda e, posteriormente, calcular a velocidade do som dentro do tubo com a equação da velocidade da onda (equação 3.3.1).

Também deverão calcular o harmônico da onda estacionária gerada, utilizando a equação que relaciona a frequência de ressonância com o número do harmônico (equação

3.3.8) e comparar esse valor com o número de nós observado no experimento. Todos esses passos serão apresentados em um Roteiro da Prática, mostrado no Apêndice C. Será entregue também uma Tabela de Anotações onde deverão ser registrados todos os valores obtidos durante a prática, Apêndice D.

Essa é a etapa mais crucial do processo, pois é nela que serão postos em prática todas as habilidades que pretendem-se ser desenvolvidas. Os alunos deverão criar as ondas estacionárias, observar o harmônico gerado, fazer as medições dos comprimentos de onda, calcular a velocidade do som e o número do harmônico e comparar os valores obtidos com o que foi visualizado na prática experimental.

A avaliação desta etapa será realizada verificando a forma como os alunos conseguem criar as ondas estacionárias, fazer as medições no experimento e os cálculos solicitados. Deve-se verificar os resultados encontrados e compará-los com os valores teóricos esperados.

Figura 17. Ondas estacionárias formadas dentro do tubo.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

ETAPA 06

Para finalizar o ciclo didático, será proposto para os grupos um problema contextualizado (Apêndice E), com o intuito de abordar os conceitos e conhecimentos trabalhados em toda a sequência proposta e verificar o quanto eles foram assimilados. Também deverá ser aplicado individualmente um questionário auto avaliativo (Apêndice F), para ser respondido em casa, com a finalidade de coletar informações pessoais sobre a satisfação em participar do processo de ensino apresentado dentro da perspectiva sociointeracionista.

A avaliação se dará pelas respostas apresentadas pelos alunos ao problema contextualizado proposto.

Apêndice A

Questionário Investigativo

01. Defina o que é uma onda no seu entendimento.

R. _____

02. Para você, o som é uma onda?

() Sim () Não

03. Podemos calcular a velocidade de propagação de uma onda conhecendo as seguintes grandezas dela:

- a) Massa e comprimento de onda;
- b) Amplitude e frequência;
- c) Comprimento de onda e intensidade;
- d) Frequência e comprimento de onda.

04. A altura do som define:

- a) Seu volume;
- b) Sua velocidade;
- c) Seu alcance;
- d) O quão agudo ele é.

05. A característica do som que define sua altura é:

- a) Sua frequência;
- b) Sua amplitude;
- c) Sua velocidade;
- d) Sua intensidade.

06. Com relação a reflexão do som, podemos afirmar que:

- a) Ocorre quando ele se propaga passando de um meio material para outro alterando sua velocidade;
- b) Ocorre quando ele encontra um obstáculo e retorna para o meio de

origem de propagação sem alterar sua velocidade;

c) Ocorre quando ele encontra um obstáculo e retorna para o meio de origem de propagação alterando sua velocidade;

d) Ocorre quando ele se propaga passando de um meio material para outro sem alterar sua velocidade;

07. Você sabe o que é uma onda estacionária? Em caso afirmativo, descreva sua definição.

R. _____

08. Você sabe o que é ressonância e quais as condições para que ela ocorra?

R. _____

09. Você sabe o que são tubos sonoros? Poderia dar um exemplo?

R. _____

10. Você tem alguma noção de eletrônica? Já manuseou algum circuito eletrônico?

R. _____

Apêndice B

Slides Ondas Sonoras

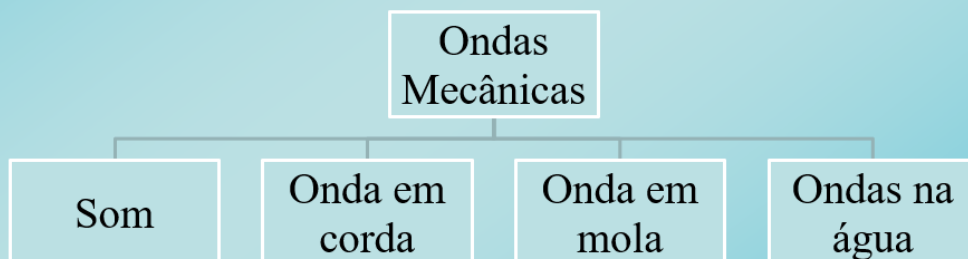


Onda

É Uma perturbação que se propaga em um meio, determinando a transferência de energia, sem transporte de matéria.

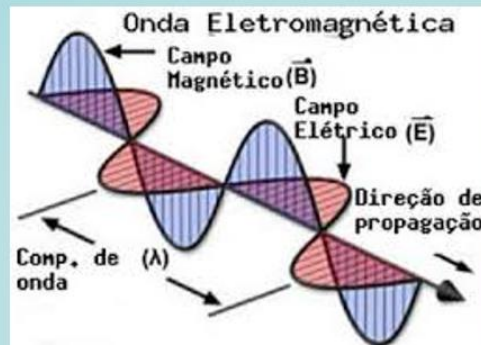
NATUREZA DAS ONDAS:

Mecânicas: são ondas que se propagam através das vibrações das moléculas de um meio material.



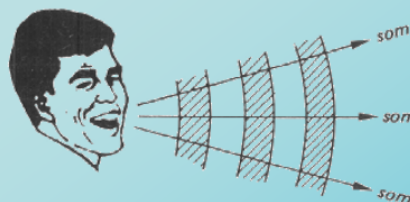
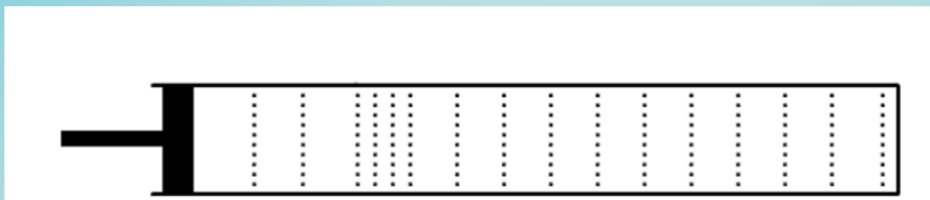
Eletromagnéticas: são ondas que se propagam através das vibrações de seus campos elétricos e magnéticos. Propagam-se no vácuo.

Ex: ondas de radio AM e FM, ondas TV, microondas (celular), infravermelho (calor), luz, UV, raio X e raio γ etc.

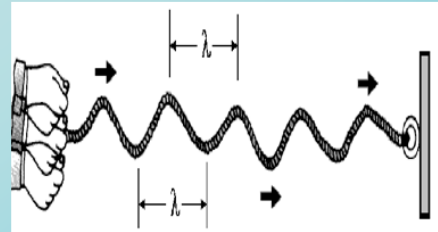
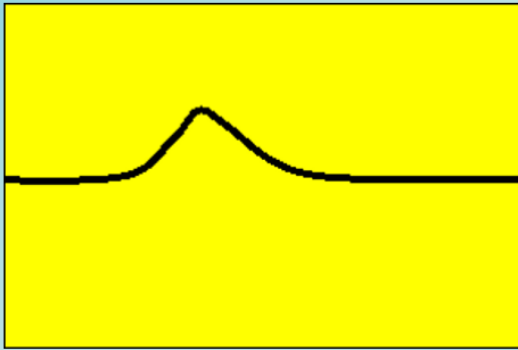


TIPOS DE ONDAS QUANTO À DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO

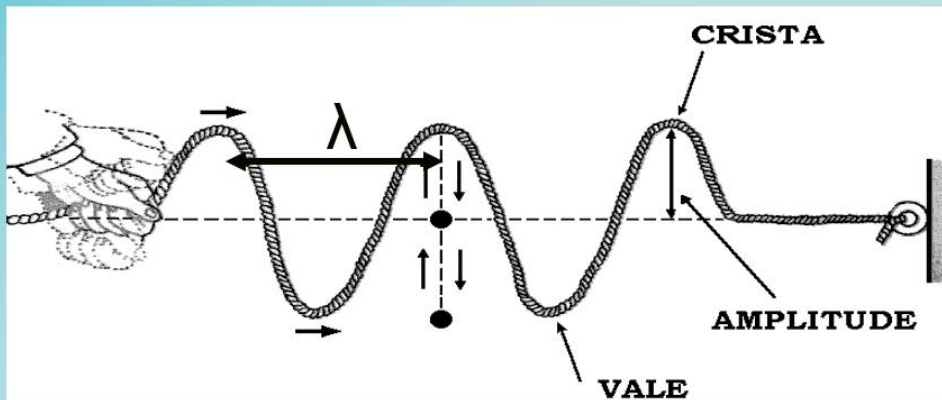
LONGITUDINAL: são as ondas que vibram ao longo da direção de propagação. Ex: som nos fluidos, uma mola tracionada etc.



Transversais: são ondas que vibram perpendicularmente a direção de propagação. Ex: Todas as ondas eletromagnéticas, ondas em cordas etc.



Elementos de uma onda



Comprimento de onda (λ): é distância entre duas cristas ou dois vales. Ou também a distância em que a onda se repete.



Relação da velocidade de propagação da onda, o comprimento de onda e o período :

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

Período

ou

$$v = \lambda f$$

Comprimento de onda

Frequência

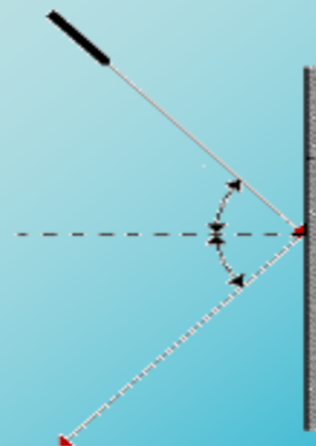
FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

Reflexão

É o fenômeno em que uma onda propaga-se por um meio e ao encontrar um obstáculo retorna ao mesmo meio

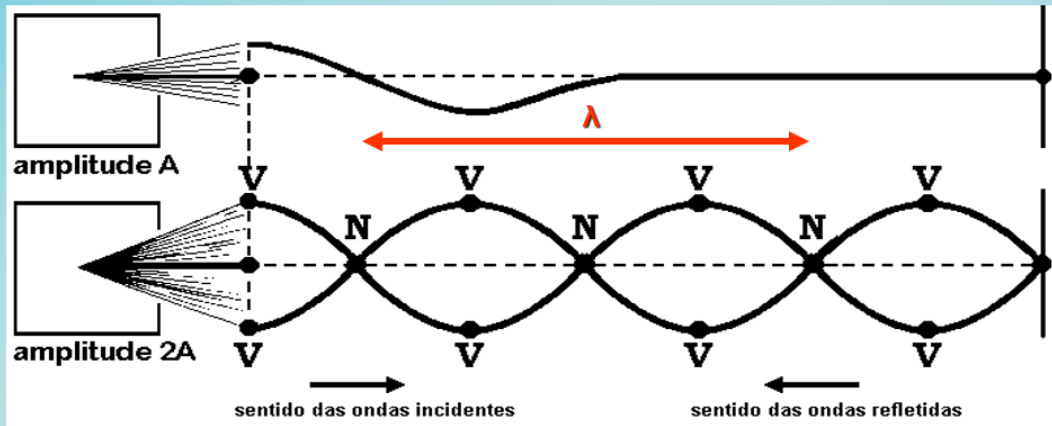
Não é alterada:

- frequência(f),
- período(T),
- comprimento de onda (λ),
- velocidade(v)



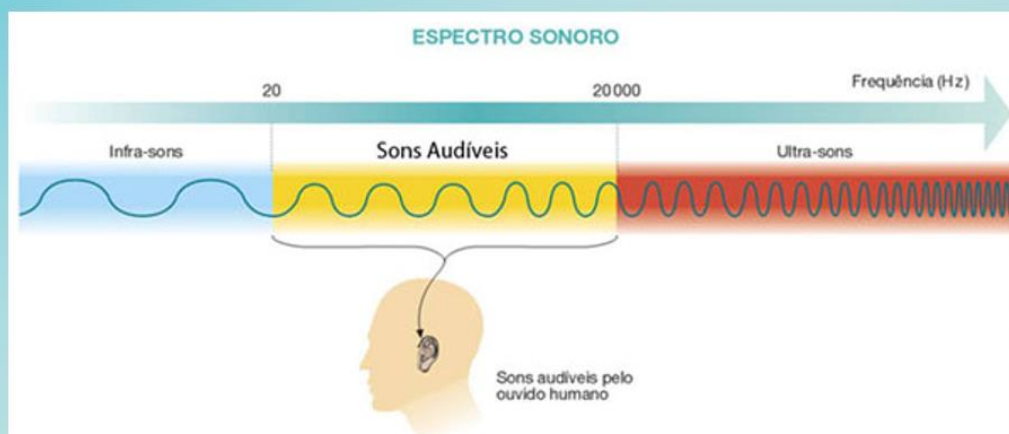
ONDAS ESTACIONARIAS

É o fenômeno de um trem de ondas que incidem sobre um obstáculo e apresentam interferência das ondas incidentes com as ondas refletidas



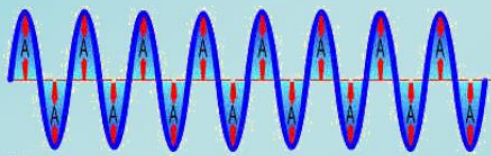
A distância entre dois nós consecutivos é $\lambda/2$

FREQUÊNCIA AUDÍVEL

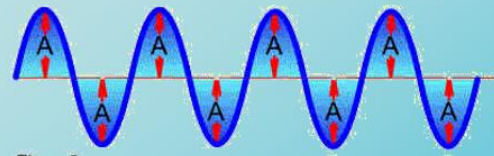


ALTURA: Diferencia sons graves (baixo) de sons agudos (alto).

Está relacionado a freqüência da onda



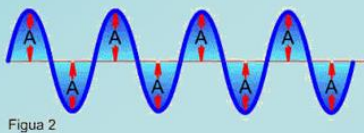
agudo



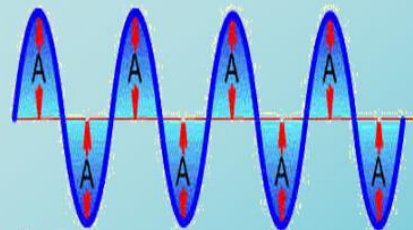
grave

INTENSIDADE (VOLUME): Diferencia sons fortes de sons fracos.

Está relacionado a Amplitude da onda



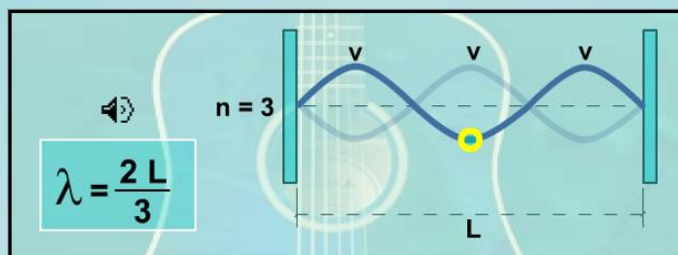
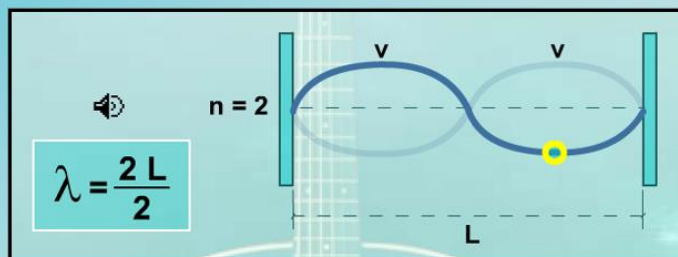
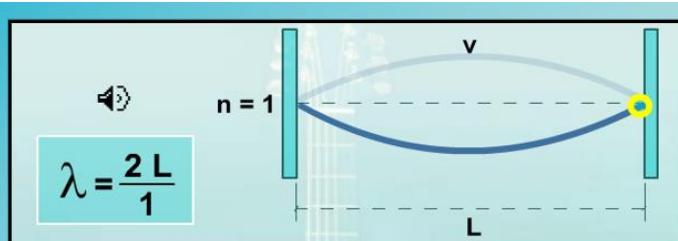
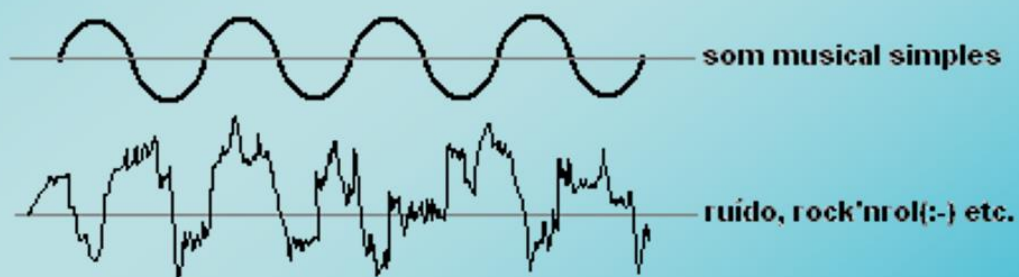
Fraco



Forte

TIMBRE: Diferencia sons de mesma altura, mesma intensidade tocados em instrumentos diferentes.

Esta relacionado com a forma da onda.



Cordas Vibrantes

- Instrumentos Musicais
- Corda fixa em seus extremos
- Propagação nas duas extremidades
- Modos de vibração

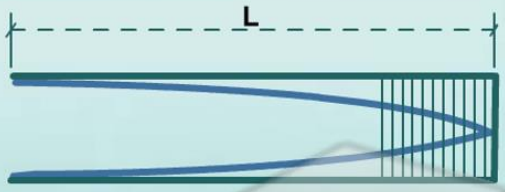
$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$f_n = n \frac{v}{2L}$$

Para $n = 1, 2, 3, \dots$

Tubos Sonoros Fechados



$$L = 1 \cdot \frac{\lambda}{4}$$


 1º harmônico n=1 ventre ou um nodo

$$\lambda_n = \frac{4L}{n}$$



$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{4}$$

 Digite a equação aqui

 3º harmônico n=2 ventres ou 2 nodos

$$f_n = n \frac{v}{4L}$$



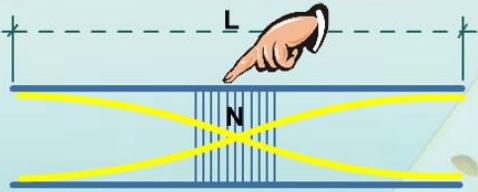
$$L = 5 \cdot \frac{\lambda}{4}$$


 5º harmônico n=3 ventres ou 3 nodos

Para n = 1, 3, 5, ...

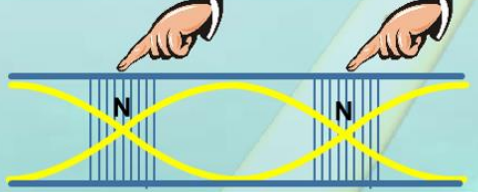
Tubos Sonoros Abertos



$$L = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$$


 n=1 (1º harmônico - som fundamental)

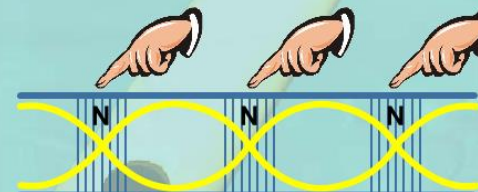


$$L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$$


 n=2 (2º harmônico)

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$



$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$$


 n=3 (3º harmônico)

$$f_n = n \frac{v}{2L}$$

Para n = 1, 2, 3, ...

Apêndice C

Roteiro da Prática

ROTEIRO DA PRÁTICA

VAMOS COMEÇAR!

**SOUND
ON**



Utilizando o encoder rotativo, comece emitindo um som de 50Hz e vá aumentando a frequência gradativamente, de 10 em 10 Hz, até que perceba uma vibração mais intensa das bolinhas. Para um ajuste mais fino, utilize incrementos de 1Hz em torno da frequência encontrada de maior vibração (frequência de ressonância).



Após encontrar a frequência de ressonância, aguarde um instante até verificar a formação de nó(s). Faça um esboço da onda estacionária formada e anote o número de nó(s) na tabela de anotações.



Meça a distância entre dois nós consecutivos, encontre o comprimento de onda e calcule a velocidade do som dentro do tubo. Anote os valores encontrados na tabela.



Com a velocidade encontrada, calcule o número do harmônico utilizando a equação que o relaciona com a frequência de ressonância (veja tabela). Registre o valor calculado na tabela.



Compare o número do harmônico calculado com os nós visualizados no experimento. O que se pode observar? Descreva os comentários no campo específico na tabela.



PROCURE MAIS FREQUÊNCIAS DE RESSONÂNCIA!



Repita os passos anteriores e encontre outras frequências de ressonância. Não esqueça de registrar os novos valores na tabela.

Apêndice D

Tabela de Anotações

[illegible]

Apêndice E

Problema Contextualizado

Você mora ao lado de um grupo que constrói seus próprios instrumentos musicais de sopro. Os instrumentos consistem em vários canos de PVC, de comprimentos variados. Um dia você resolve ir observar os instrumentos e percebe algumas diferenças entre eles. Em alguns, uma das pontas dos canos é mantida fechada por uma membrana enquanto a outra é mantida aberta. Já em outros, não existe essa membrana, tendo as duas pontas do cano abertas. Nesse momento, você lembra-se dos tubos sonoros que estudara em Física e fala para um dos artistas, que ali se trata de um tubo sonoro aberto e o outro de um tubo sonoro fechado. O artista então lhe faz uma indagação: “Já que você é bom em Física, me diga qual desses dois instrumentos, que possuem o mesmo comprimento de 50 cm, vai emitir um som mais agudo ao serem tocados no mesmo harmônico?”.

RESOLUÇÃO:

Passo 1:

Frase: Qual a diferença de um tubo sonoro aberto para um tubo sonoro fechado?

Ideias físicas: qualidades fisiológicas do som, ressonância, tubos sonoros, velocidade do som no ar.

Abordagem: Precisaremos encontrar qual a frequência do 1º harmônico para um tubo sonoro fechado e para um tubo sonoro aberto, ambos com 50 cm de comprimento.

Passo 2:

$$\text{Temos: } V_{\text{som ar}} = 340 \frac{m}{s}, L = 50 \text{ cm}, n = 1.$$

$$\text{Equação utilizada: } f = \frac{nv}{2L}; \quad f = \frac{nv}{4L}$$

Passo 3:

Aplicamos a equação da frequência para os tubos sonoros e comparamos em qual deles encontramos o maior valor para poder classificar em qual o som será mais agudo.

Passo 4:

Aplicando as equações, temos:

TUBO FECHADO

$$f_1 = \frac{1 \cdot 340}{4 \cdot 0,5} = 170 \text{ Hz}$$

TUBO ABERTO

$$f_1 = \frac{1 \cdot 340}{2 \cdot 0,5} = 340 \text{ Hz}$$

Passo 5:

Comparando os resultados, percebemos que o tubo sonoro aberto emitirá um som mais agudo.

Apêndice F

Questionário Auto Avaliativo

01. Como você avalia a sua participação e a dos outros integrantes da sua equipe em todo o projeto?

(☐) Ótima (☐) Boa (☐) Regular (☐) Ruim (☐) Péssima.

02. Você acredita que, durante a atividade, o trabalho em grupo favoreceu no seu aprendizado?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

03. Houve satisfação na realização do experimento e na forma como o conhecimento foi transmitido em todo o trabalho?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

04. Você gostaria que os conteúdos de Física fossem trabalhados mais vezes com essa metodologia?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

05. Na sua avaliação, você acredita que houve ganho de aprendizado na disciplina de Física durante a elaboração do projeto?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

06. Após a realização da atividade, você conseguiria relacionar as frequências de ressonância com os harmônicos formados em um tubo sonoro?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

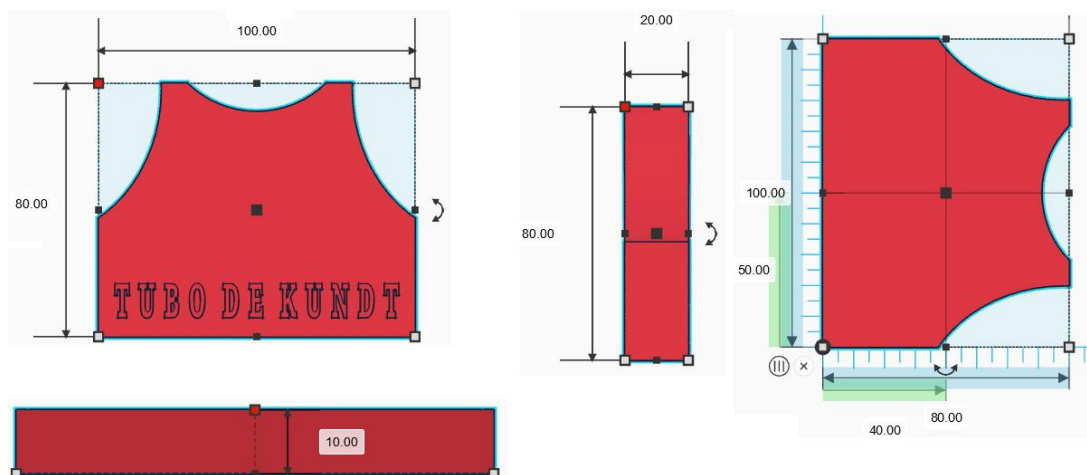
07. Após a realização do projeto, você se julga capaz de calcular a velocidade de uma onda sonora conhecendo sua frequência e a distância entre 2 nós formados pela onda estacionária?

(☐) Nunca (☐) Raramente (☐) Ocasionalmente (☐) Frequentemente (☐) Sempre.

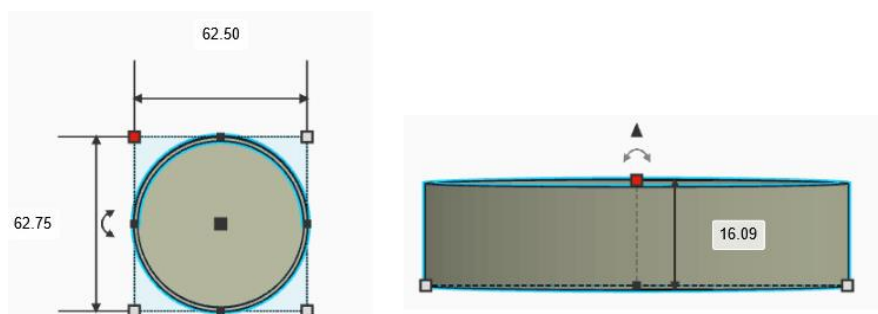
Apêndice G

Medidas dos materiais confeccionados

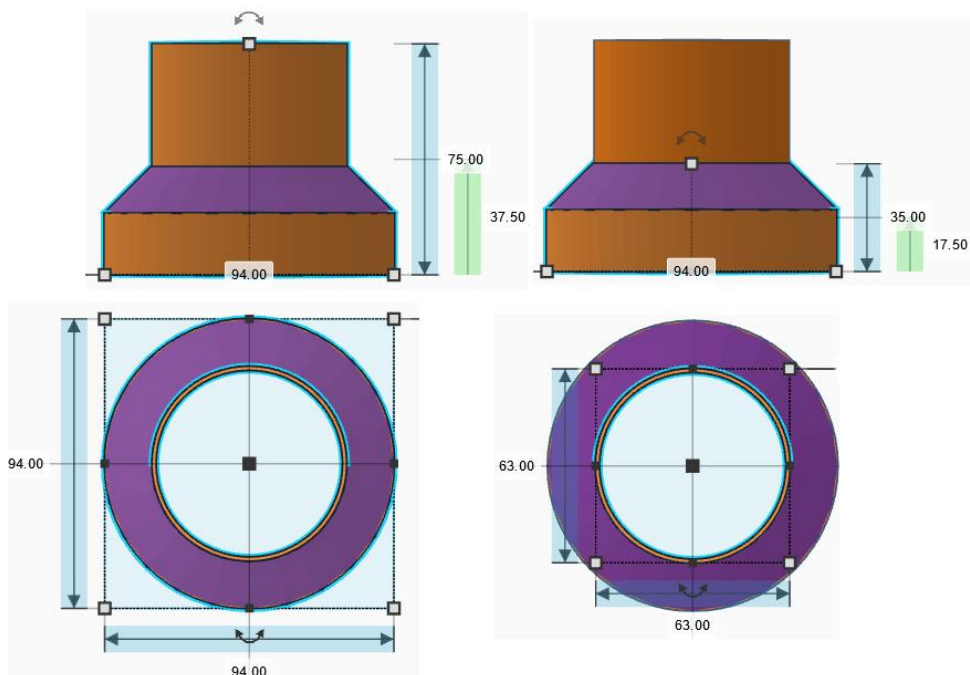
BASE PARA O TUBO



TAMPA PARA O TUBO



ACOPLADOR DO ALTO-FALANTE/TUBO



MEDIDAS EM MILÍMETROS

Referências Bibliográficas

ARDUINO.CC. **O que é Arduino?** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação Ondas e Termodinâmica**. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. v. 2

SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física: Oscilações, Ondas e Termodinâmica**. 5ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. v. 2

YOUNG, H. D. .; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 14ª ed. São Paulo: Pearson, 2015.