

Método alternativo do tubo de Kundt para a estimativa da velocidade de propagação do som

Felipe Cardoso Pimenta¹, Glaydson Francisco Barros de Oliveira² e José Wagner Cavalcanti Silva³

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rio Grande do Norte, Brasil.
¹fellippe.pdf@gmail.com, ²glaydson.barros@ufersa.edu.br,
³josewagner@ufersa.edu.br

Resumo: O presente artigo tem como principal objetivo apresentar um arranjo experimental alternativo do tubo de Kundt para o estudo do fenômeno da ressonância com formação de ondas estacionárias e realizar uma estimativa da velocidade do som no ar para certo modo de vibração, baseando-se em cálculos teóricos. A construção do tubo de Kundt com materiais de fácil acesso possibilita que o experimento possa ser reproduzido por estudantes e professores do ensino médio e superior. Outra intenção deste artigo é difundir e buscar, em meio aos diversos estudos na área, inovações que possibilitem a difusão do ensino e da aprendizagem da física, bem como utilizar os recursos disponíveis, como circuitos integrados e materiais diversos, para agregar ainda mais conhecimento ao estudo das ondas sonoras no tubo de Kundt. Os resultados obtidos revelaram um valor estimado para a velocidade do som no ar próximo aos valores de referência, validando assim o aparato experimental proposto.

Palavras-chave: tubo de Kundt, ondas estacionárias, circuito de amplificação, instrumentação.

Title: Didact proposal for studying the properties of sound waves propagating in air

Abstract: This article has as main objective to present an alternative method of the Kundt tube for the study of the phenomenon of resonance with the formation of standing waves and to estimate the speed of sound in air, for each mode of vibration based on theoretical calculations. The fact that the construction of the Kundt Tube is of low cost makes it possible for it to be reproduced by students and teachers of secondary and higher education. An intention of this article is to disseminate and seek among the various studies in the area innovations that allow the diffusion of teaching and learning of physics, as well as using available resources such as integrated circuits and various materials to add even more knowledge in the study of sound waves in the Kundt Tube. The results revealed an estimated value for the sound's velocity in air close to the reference values, thus validating the proposed experimental apparatus.

Keywords: Kundt's tube, standing waves, amplifier circuit, instrumentation.

Introdução

Estudos relativos à teoria ondulatória têm sido feitos em ensino de Física há décadas, especialmente quanto ao uso de tubos para a aprendizagem de conceitos de ondas estacionárias, na educação básica e superior. Santiago, Azevedo e Ledo (1991) reportaram as vantagens e limitações do uso de um tubo metálico como gerador de áudio na determinação qualitativa da velocidade do som no ar. Silva *et al.* (2003) desenvolveram um *software* para a geração de áudio em frequências estabelecidas pelo usuário e um roteiro experimental para a determinação da velocidade do som no ar, utilizando um tubo de policloreto de vinila inserido verticalmente num balde d'água. Já Saab, Cassaro e Brinatti (2005) propuseram uma adaptação do tubo de ensaio como tubo de Kundt, para determinação do mesmo indicador que autores anteriores. Vieira, Amaral e Lara (2014), com base em criteriosa avaliação de livros didáticos sobre a abordagem de conceitos de ondas estacionárias, sugeriram dois experimentos para a visualização de perfis da variação de pressão e deslocamento do ar para os modos harmônicos vibracionais. Pizetta *et al.* (2017) realizaram estudos sobre ondas estacionárias em um tubo semiaberto de vidro, com a finalidade de sanar os principais problemas experimentais observados até aquele ano e sua interpretação teórica.

Em geral, o conhecido tubo de Kundt é um dispositivo usual para a verificação experimental de fenômenos associados à propagação de ondas, constituído por um tubo, com uma vareta coaxial capaz de variar seu comprimento interno, um gerador de áudio e um dispositivo para a aquisição do sinal. Tal dispositivo é utilizado em laboratórios didáticos de Física em instituições de ensino superior. No entanto, apesar deste produto existir comercialmente, é fundamental a dinâmica de atualização das práticas experimentais, por meio de métodos alternativos vinculados à tecnologia, a serem utilizados no ensino na educação básica.

Objetivando contribuir com a literatura quanto à instrumentação para o ensino de Física Básica, o presente artigo apresenta um método alternativo de concepção do tubo de Kundt para o estudo do fenômeno da ressonância com a formação de ondas estacionárias, de modo a realizar uma estimativa da velocidade do som no ar para cada modo de vibração, baseando-se em cálculos teóricos. Em consonância com trabalhos voltados para o estudo de ondas estacionárias, buscou-se a utilização de materiais alternativos de fácil acesso para a confecção do tubo, de forma eficiente e barata, os quais, apesar das limitações físicas, proporcionaram uma salutar observação do fenômeno em questão, possibilitando, de modo bastante simples, o entendimento dos conceitos envolvidos.

Experimentação no ensino de Física

Os cursos de licenciatura em Física no Brasil, desde 1961, foram contemplados, pelo Conselho Federal de Educação, com a instrumentação para o ensino, entendida como fundamental para a formação dos professores de Física. Essa instrumentação possibilita trabalhar os conteúdos de Física na perspectiva de novas metodologias, com a aplicação prática do conhecimento em sala de aula, proporcionando a "formação de uma cultura científica efetiva que permita ao indivíduo a interpretação dos

fatos". Assim, a experimentação no ensino mostra-se como uma importante ferramenta aliada à aprendizagem de conceitos e não apenas como um elemento motivacional para os alunos (Barbosa, 2002). "É necessário pensarmos a experimentação além da aplicação de uma 'receita', com um relatório fechado e com um resultado esperado" (Guimarães *et al.*, 2018, p. 2). Ainda, de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais, a experimentação está presente no cotidiano, onde quer que haja um problema a ser solucionado.

No tocante à sala de aula, cabe ao professor facilitar a busca por respostas, oportunizando a elaboração de hipóteses, além de discutir os resultados obtidos no processo de construção do conhecimento. Destarte, em concordância com Araújo e Abib (2003), entende-se que a experimentação não pode ser simplesmente considerada a estratégia metodológica principal do ensino, mas, conjuntamente com outras, pode melhor potencializar o desenvolvimento do pensamento científico.

Na área de ensino de Física são encontrados vários artigos sobre a importância das atividades experimentais, tanto as de caráter investigativo quanto de caráter propositivo, dentre eles destacam-se: Guridi e Islas (1998); Galiuzzi *et al.* (2001); Araújo e Abib (2003); Santos, Piassi e Ferreira (2004).

De acordo com Carvalho (2016, p. 19), "os estudantes aprendem mais sobre ciências e desenvolvem seus conhecimentos quando participam de investigações científicas". Já segundo Força, Laburú e Silva (2011), a inclusão de experimentos colabora com a inserção do aluno no processo de aprendizagem.

Oliveira (2010, p. 141-146) aponta algumas contribuições das atividades experimentais para o ensino, a saber: (1) "motivar e despertar a atenção dos alunos"; (2) "desenvolver a capacidade de trabalhar em grupo"; (3) "desenvolver a iniciativa pessoal e a tomada de decisão"; (4) "estimular a criatividade"; (5) "aprimorar a capacidade de observação e registro de informações"; (6) "aprender a analisar dados e propor hipóteses para os fenômenos"; (7) "aprender conceitos científicos"; (8) "detectar e corrigir erros conceituais dos alunos"; (9) "compreender a natureza da ciência e o papel do cientista em uma investigação"; (10) "compreender as relações entre ciência, tecnologia e sociedade"; e (11) "aprimorar habilidades manipulativas"

Diante do exposto, é consenso que uma atividade experimental atrelada à teoria oportuniza o firmamento dos pilares: aprender a conhecer e aprender a fazer, como bem estabelece Delors (2012). Por isso, somando esforços aos demais pesquisadores da área de ensino, almeja-se aqui contribuir com as pesquisas para o ensino de Física por meio da presente proposta no campo da instrumentação.

Percurso metodológico

Para a construção do aparato experimental a ser utilizado em aula, deve-se seguir um percurso metodológico dividido em três etapas: Construção do arranjo experimental, validação do arranjo e análise dos dados. Tais etapas foram seguidas e executadas em movimentos de interação mútua entre as

ações. Quanto à abordagem, pode-se classificar esta pesquisa, conforme Aliaga e Gunderson (2002), como quantitativa. Por conseguinte, os aspectos metodológicos pertinentes à pesquisa do tipo quantitativa foram aplicados, entre os quais destaca-se o processo de análise e a inferência estatísticas dos dados. A seguir, serão detalhadas as etapas do percurso metodológico escolhido para o desenvolvimento deste trabalho, bem como as proposições a serem seguidas pelo leitor.

Etapa 1 - Construção do aparato experimental

Para a construção do aparato, foi utilizado um tubo de cobre de $(50,00 \pm 0,05)$ cm de comprimento, e $(25,00 \pm 0,05)$ mm de diâmetro interno, bastante utilizado em instalações de ar condicionado e de fácil acesso, conforme visto na Figura 1. Para a localização dos modos normais dentro do tubo, foi necessário graduá-lo longitudinalmente por meio de um adesivo transparente impresso.



Figura 1 – Tubo de cobre utilizado para coleta de dados do projeto.

Além de seu baixo custo e fácil acesso, o material em cobre possibilita que válvulas sejam instaladas em suas extremidades pelo processo de solda, para que o tubo possa operar com os mais diferentes tipos de gases, além de suportar as pressões de gases ao longo das paredes internas. Como pode ser observado na Figura 2, nas extremidades do tubo, além das válvulas, 2(a), foi instalado um sensor de temperatura (Termopar do tipo K), visto em 2(b), cujo controle é feito por meio do Arduino Uno® com *display* de cristal líquido (LCD) 16 x 2, para visualização da temperatura interna do tubo, em 2(c).

Na mesma extremidade em que se encontra o sensor de temperatura, também foi fixado um autofalante, 2(d), e na outra extremidade do tubo, fixado um microfone de eletreto, 2(e), para captura das ondas sonoras, além do circuito amplificador para o microfone de eletreto de múltiplos ajustes, 2(f). Com respeito ao microfone, ele é do tipo unidirecional. De acordo com o Datasheet (<http://www.tecnore.it/temp/guitarmic/CZ034GU.pdf>), sua resposta em frequência está entre 50 Hz e 20 KHz e apresenta baixa impedância, o que proporciona maior sensibilidade. Além disso, sendo a relação sinal-ruído de 58 dB, esta característica proporciona menor ruído de fundo na medição do sinal. Para reprodução da onda, foi utilizada uma placa *Bluetooth*, 2(g), de modo a possibilitar a geração de sinais por um aplicativo de *smartphone*.

Diferentemente do proposto por Pizetta *et al.* (2017), em vez de movimentar o microfone fixado numa vareta coaxial ao tubo, o microfone em questão foi adaptado a um ímã de neodímio, como exposto na Figura 3(a), de modo a deslocar-se ao longo do tubo. Tal ajuste é justificado por impedir que haja troca de calor entre o interior do tubo e o ambiente externo. Assim, se pôde manter a temperatura interna constante.

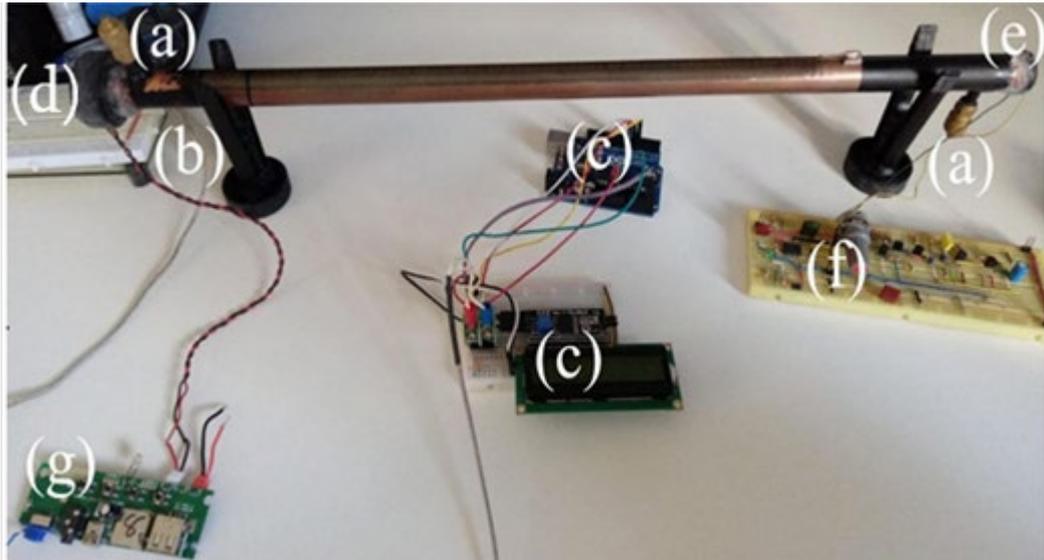


Figura 2 – Foto dos itens utilizados na montagem experimental para aquisição de dados.

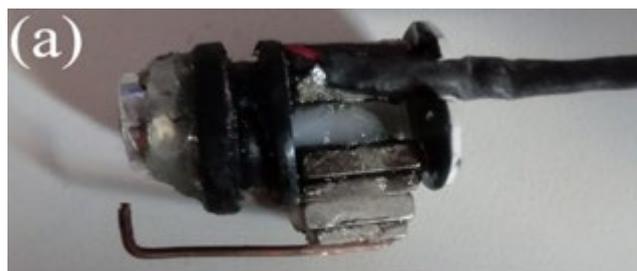


Figura 3 – (a) Ênfase na vareta fixada nos ímãs.

Para a fixação do microfone de eletrodo foi necessário criar um suporte, fundamental para o seu deslocamento ao longo do eixo do tubo. Para isso, foi utilizado um êmbolo de um sugador de solda de diâmetro

aproximadamente igual ao do tubo, de modo a evitar qualquer movimento indesejado em outras direções. O suporte pode ser visto na Figura 3(b). Vale ressaltar que o comprimento total do tubo não foi utilizado, devido à necessidade de destinar-se uma fração dele à acomodação dos fios que compõem o circuito de captação das ondas sonoras. Destarte, definiu-se como comprimento útil ($33,50 \pm 0,05$) cm, aquele pelo qual ocorre a varredura do comportamento do sinal por meio do microfone.



Figura 3 – (b) Sistema completo do microfone de eletreto com fiação helicoidal.

Para o deslocamento do microfone ao longo do tubo, foram utilizados 4 (quatro) ímãs de neodímio, sendo dois localizados internamente ao tubo,

sobre o suporte, e dois (com uma ponta de referência do microfone) situados na parte externa do tubo, conforme ilustrado na Figura 4. Vale mencionar que o cabo que leva o sinal até a placa amplificadora deve ser revestido com papel alumínio, para evitarem-se interferências magnéticas indesejáveis, capazes de alterar a relação entre sinal e ruído.



Figura 4 – Montagem do microfone de eletreto interno e externo.

Objetivando aprimorar os circuitos de amplificadores de áudio comumente encontrados na literatura, especialmente o utilizado por Cavalcante (2013), o circuito aqui proposto, apesar de seguir os esquemas já consolidados na literatura de amplificadores, tem como intuito resolver problemas característicos da amplificação de ruídos. Assim, sugerimos a realização de dois estágios de amplificação do sinal: o primeiro dedicado ao ajuste de ganho, como exposto na Figura 6, e o segundo dedicado à atenuação do ruído. Dessa forma, após o sinal passar pelo primeiro estágio, o segundo é iniciado e, aprimorando o proposto no trabalho de Cavalcante (2013), o ruído é amplificado conjuntamente com o sinal.

Tal constatação foi verificada de maneira experimental, por isso, visando melhor resolver o problema, foi elaborada outra etapa de amplificação, segundo o esquema apresentado na Figura 7, que aumentou a possibilidade de ajuste de ganho e sensibilidade do circuito como um todo, utilizando uma técnica com transistores bipolares de junção. Estes foram configurados para realizar a defasagem do sinal de áudio em 180° e somá-lo ao sinal original, de modo a não cancelar o sinal em si, mas apenas o ruído já somado ao sinal, possibilitando a obtenção de um sinal legível e de fácil análise, por meio do instrumento de análise de sinais. Os aspectos dessa montagem podem ser vistos na Figura 5.



Figura 5 – Circuito amplificador para microfone com atenuação de ruído, montado na placa de ensaio.

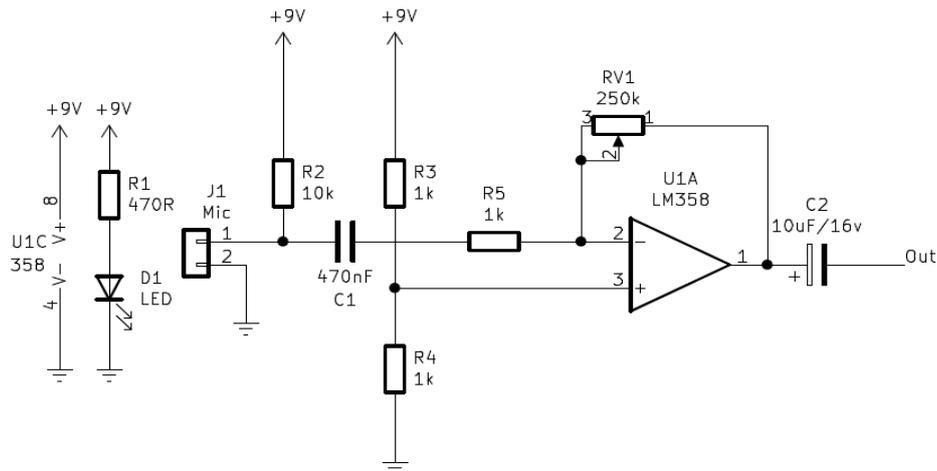


Figura 6 – Diagrama da primeira etapa do circuito amplificador de áudio.

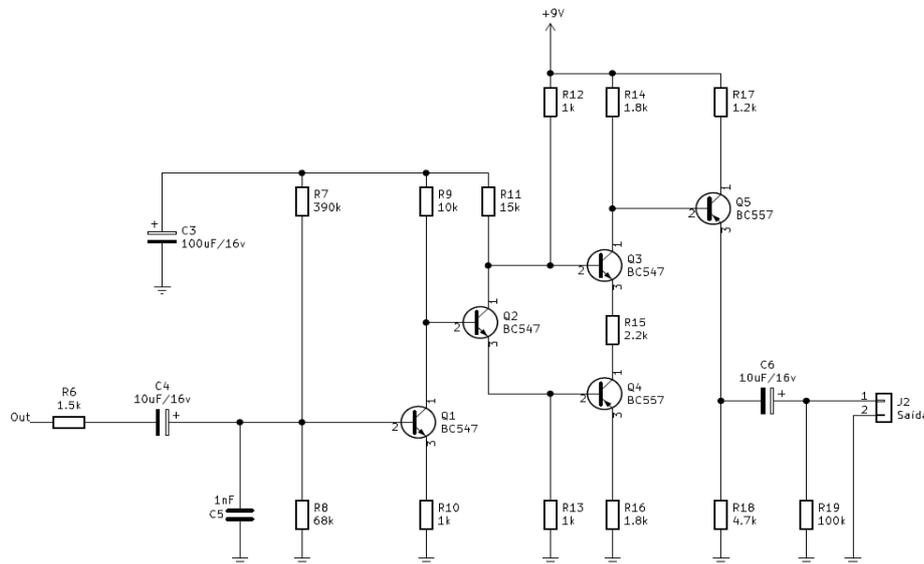


Figura 7 – Diagrama da segunda etapa do circuito amplificador de áudio.

Etapa 2 – Validação do arranjo

Caracterizamos a validação do arranjo experimental como sendo o processo por meio do qual é feita a comparação, baseada nos dados coletados por tal arranjo, entre o resultado obtido para a estimativa de alguma grandeza física e a sua previsão, indicada por meio de algum modelo matemático que descreve o fenômeno físico estudado. Neste artigo, a grandeza física de interesse é a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar contido em um tubo com extremidades seladas. Assim, os resultados obtidos pelos trabalhos de Cavalcante (2013) foram comparados àqueles obtidos nesta pesquisa. Tal comparação teve o intuito de oferecer maior robustez à validação do arranjo experimental.

Tendo em vista isso, o lastro teórico que subsidia a validação do arranjo experimental aqui proposto diz respeito ao fenômeno de ressonância de ondas sonoras num tubo com as extremidades fechadas, em que, ao se emitir uma onda sonora no interior do tubo, caso a emissão seja constante, haverá pontos fixos de interferência construtiva e de interferência

destrutiva; as posições de interferência construtiva serão chamadas de *ventres*, enquanto as de interferência destrutiva, de *nós*. As frequências de ressonância para essa configuração de tubo são dadas por:

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

Segundo Bohn (1988), a velocidade de propagação da onda sonora em um fluido apresenta dependência em relação à temperatura desse fluido, sendo formulada por:

$$v(T) = 331,45 \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2)$$

em que T é a temperatura do ar no interior do tubo, a velocidade de 331,45 m/s é correspondente àquela em que o ar estaria a zero graus Celsius e T_0 equivale a 273,15 K.

Em geral, o primeiro estado de ressonância ocorre com a formação de um nó e um ventre, criando um padrão correspondente a um quarto de onda, o que é demonstrado na Figura 8.

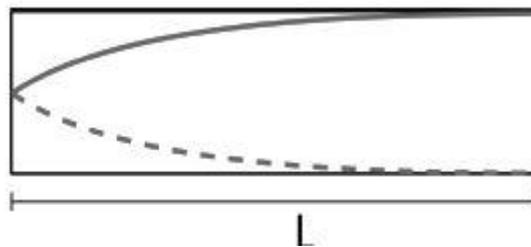


Figura 8 – Primeiro estado de ressonância para um tubo fechado.

Para o primeiro estado de ressonância, denominado *1º Harmônico Fundamental*, ocorre:

$$L = \frac{\lambda}{4} \quad (3)$$

$$\lambda = 4L \quad (4)$$

A equação fundamental da ondulatória, apresentada na equação (4), é o modelo a ser adotado na determinação da velocidade do som no interior do tubo para cada ventre e nó, desde que se conheça seu comprimento L e a frequência f do harmônico (Mack, 2019).

$$v = f\lambda \quad (5)$$

Quando a frequência de excitação f atua, o fluido (ar) no interior do tubo entra em ressonância, então podem-se identificar os pontos em que as amplitudes da onda são nulas (nós), bem como os pontos de máximo ou de mínimo (Mack, 2019). Além disso, vale lembrar que a mesma grandeza física pode ser calculada com base em outro modelo, no qual é levada em

conta a temperatura do fluido em que as ondas se propagam, dada pela equação (2).

Portanto, pelas equações (4) e (5), o arranjo experimental pôde ser validado. Vale salientar que os resultados obtidos com base nessas equações devem ter suas incertezas calculadas levando-se em consideração a teoria da propagação do erro instrumental. Pelo cálculo da discrepância entre os resultados, foi possível inferir acerca da confiabilidade dos dados coletados pelo arranjo proposto neste artigo. Como as referidas equações dependem de mais de uma grandeza, pode-se calcular a propagação de incertezas instrumentais pelo método do cálculo diferencial, levando-se em conta os erros instrumentais $\delta L = 0,5 \text{ mm}$ e $\delta T = 0,04 \text{ }^\circ\text{C}$, nas medidas do comprimento e da temperatura, respectivamente. Tal consideração é obtida por meio de uma série de coletas de dados da temperatura, para se aferir a incerteza instrumental do sensor (termopar) utilizado. Logo, a incerteza propagada com base na equação (3) é dada por:

$$\delta V = \sqrt{(f^2 \delta \lambda^2) + (\lambda^2 \delta f^2)} \quad (6)$$

Já a incerteza propagada com base na equação (5) é dada por:

$$\delta V = \sqrt{\left(\frac{165,725}{\sqrt{T} \sqrt{T_0}}\right)^2 \delta T^2} \quad (7)$$

Partindo-se da equação (5), a velocidade esperada é de $v \cong (349,58 \pm 0,02) \text{ m/s}$. Diante desse contexto, utilizou-se o intervalo de valores de $f_n(\text{kHz}) = [1,5;3,0]$, e com base na movimentação do microfone ao longo do tubo, obtiveram-se os valores da posição de seus respectivos nós e o comprimento de onda, para finalmente se encontrar o valor da velocidade do som por meio da substituição direta na equação (4), comparado ao valor obtido com a equação (5). É importante salientar que a incerteza nas leituras das frequências observadas no osciloscópio digital é de 100ppm (partes por milhão), segundo o manual de instruções fornecido pelo fabricante, o que equivale a aproximadamente 0,1% do valor lido no ecrã do instrumento.

Etapa 3 – Coleta dos dados

A coleta de dados foi feita por meio do osciloscópio digital de bancada modelo Mustool MDS 2112P de 100MHz e 1GSa/s, pelo qual se pôde observar graficamente a onda de uma dada frequência e analisar as zonas de interferências destrutivas e construtivas do sinal no interior do tubo. Para isso, foi escolhido, como forma de gerar os sinais em distintas frequências, um aplicativo gratuito para telemóvel denominado "Gerador de Frequência", disponível para Android, cuja interface pode ser observada na Figura 9 e que permite a escolha e variação fina dos mais diversos modos de vibração ou frequência. A forma de onda no domínio do tempo, captada pelo circuito do microfone no interior do tubo supracitado, bem como a

distribuição dos componentes para a realização das coletas dos dados, podem ser observadas na Figura (10) e Figura (11), respectivamente.

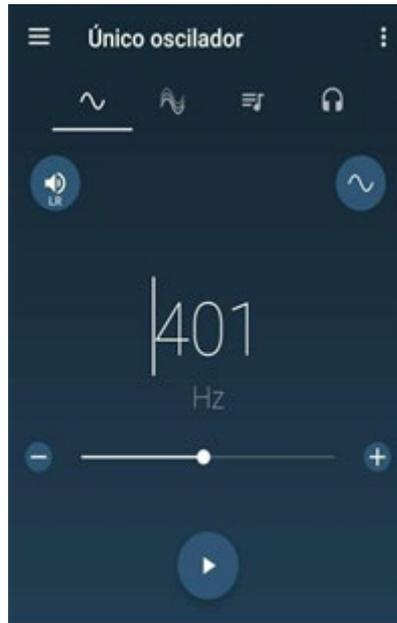


Figura 9 – Interface do aplicativo que gera ondas senoidais.

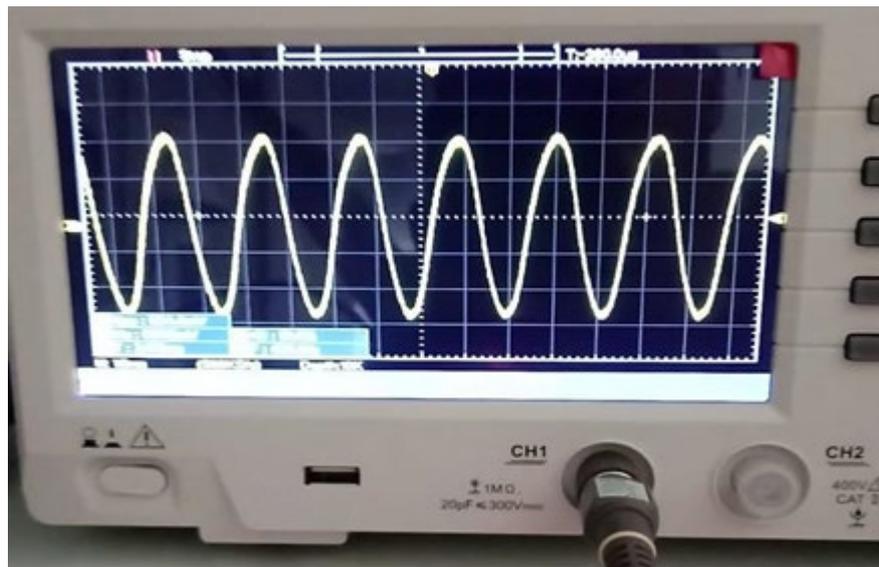


Figura 10 – Onda estacionária capturada pelo tubo para validação do projeto.

Resultados e discussões

Para realizar-se a interpretação dos dados coletados pelo tubo com as duas extremidades seladas, realizou-se o procedimento da movimentação do êmbolo no interior do tubo, demonstrado na Figura 10, observando-se os pontos de interferências construtiva e destrutiva no ecrã do osciloscópio digital. Em seguida, foi realizada a análise dos dados, para se obter a velocidade do som.

É importante dizer que, segundo Pizetta *et al.* (2017), a visualização do sinal estacionário por meio do ecrã do osciloscópio digital é passível de

interpretações equivocadas sobre as interferências, pois o experimentador pode questionar se o que está visualizando na tela do osciloscópio é de fato uma onda estacionária. Dessa forma, pensando em sanar tal questionamento, realizaram-se diversos testes num tubo de policloreto de vinila com parâmetros similares aos do tubo de cobre aqui proposto; no entanto, este segundo tubo se encontrava com as duas extremidades abertas, conforme sugerido pelos autores. Esse procedimento possibilitou entenderem-se os níveis de tensão e amplitude dos sinais observados, bem como calibrar corretamente os circuitos para o microfone.

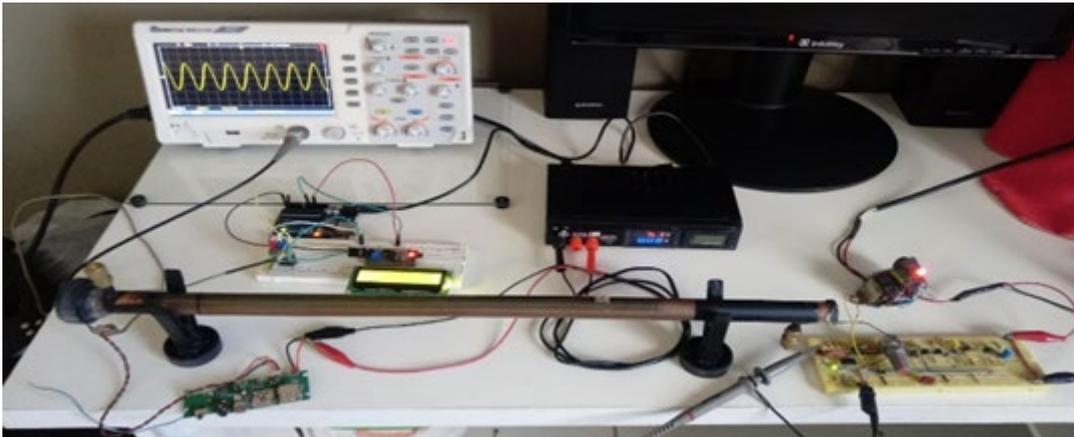


Figura 11 – Foto da montagem experimental utilizada para aquisição de dados.

Também se pôde relatar que o atrito entre o conjunto que compõe o microfone e as paredes no interior do tubo pode ocasionar instabilidade do sinal. Porém, durante a realização do procedimento experimental, percebeu-se que tal problema é resolvido pelo circuito amplificador para microfone, mostrado na Figura 5, que atua diretamente na amplificação do sinal, bem como na atenuação do ruído e no ajuste de sensibilidade, o que proporcionou leituras mais precisas no ecrã do osciloscópio.

Dessa forma, na Tabela 1 são apresentados os resultados de 4 (quatro) modos de frequências distintas, sendo que se repetiu dez vezes o procedimento para cada frequência, em busca das interferências construtivas e destrutivas, levando-se em consideração o lastro teórico para encontrar o comprimento de onda λ . A velocidade de referência, com base na equação (4), é de $v \cong (349,58 \pm 0,02) \text{ m/s}$, para uma temperatura de $v \cong (30,70 \pm 0,04) \text{ }^\circ\text{C}$. A incerteza para essa velocidade é obtida por meio da equação (6). Portanto, com base na equação (5) e na teoria dos desvios-padrão, pode-se aferir a incerteza de cada velocidade média, do mesmo modo que por meio do cálculo do erro absoluto se obteve a distância entre a velocidade do som no ar observada e a velocidade do som utilizada como referência.

Dessa forma, por meio dos dados coletados, pode-se destacar que o tubo teve melhor desempenho para a frequência de 2200 Hz, com velocidade média de $(351,45 \pm 2,99) \text{ m/s}$, salientando-se que a incerteza em relação a essa velocidade veio por meio do desvio-padrão das repetições. O erro absoluto para tal frequência foi menor, ao se comparar às demais

frequências demonstradas na Tabela 1, o que também a aproxima mais da velocidade de referência.

Resultados	V_{som} (m/s) 1500Hz	em para	V_{som} (m/s) 1900Hz	em para	V_{som} (m/s) 2200Hz	em para	V_{som} (m/s) 3000Hz	em para
Médias	334,90 ± 0,57		343,09 ± 2,05		351,45 ± 2,99		358,47 ± 0,46	
Erro absoluto	14,68		6,49		1,87		8,89	

Tabela 1- Resultados das velocidades do som no ar.

Ademais, para as frequências de 1,5 KHz, 1,9 KHz e 3,0 KHz pode-se destacar que alguns fatores, como erros de paralaxe, bem como de coleta de dados por parte do experimentador, somados aos pequenos fatores de erros do aparato, como o atrito entre as paredes internas do tubo e o microfone de eletreto, podem ter contribuído significativamente para se obterem velocidades do som no ar com erro absoluto acima do esperado, contudo, o tubo se comportou como havia sido projetado para obtenção da velocidade do som no ar.

Conclusões

A montagem experimental do tubo de Kundt aqui proposta demonstrou-se bastante eficiente nos estudos sobre as ondas estacionárias, permitindo obterem-se medidas com maior precisão, bem como demonstrar novas formas de melhorar os sinais a serem analisados por meio do osciloscópio, visto que, segundo Pizetta *et al.* (2017), existe um problema aparente quando se usa esse tipo de instrumento. É sabido que, atualmente, há no mercado várias opções de tubos de Kundt já consolidados, bem como programas computacionais que oferecem maior leque de opções para quem deseja realizar o estudo sobre as ondas sonoras. O tubo de Kundt proposto neste artigo tem por objetivo, além do estudo das ondas sonoras, o de incentivar o leitor à construção do aparato experimental, pois dessa forma ele irá adquirir um conhecimento valioso de todas as etapas do estudo, assim como terá a vantagem do baixo custo, tendo em vista que os equipamentos já existentes no mercado têm alto valor de aquisição. Ressaltamos a nobre importância de se conceber e se construir o próprio aparato, para obtenção de resultados satisfatoriamente próximos aos valores de referência.

Por se tratar de um tubo fechado não transparente, a adaptação que foi feita no aparato para o deslocamento do microfone ao longo do tubo foi um método importante na garantia da manutenção da vedação do tubo, diferentemente do que é encontrado na literatura, possibilitando assim a utilização de outros fluidos mais viscosos, concebendo-se, assim, um instrumento com potencial para o estudo da velocidade em diferentes temperaturas, entretanto, deve-se tomar cuidado apenas com o revestimento da membrana da fonte sonora.

Como a região abrangida e típica dos nós apresenta dimensões semelhantes à gradação do tubo, foi dificultoso obter valores dos modos de vibração próximos ao centro de cada nó.

Por fim, são consideradas as possibilidades, em futuros trabalhos, de aperfeiçoamento do aparato instrumental por meio da automação do êmbolo com um motor de passo controlado pelo Arduino Uno®, bem como a implementação de um circuito eletrônico que gere distintas frequências ajustáveis por potenciômetros, possibilitando novos meios de gerar sinais em paralelo ao aplicativo gerador de sinais. Assim, podem-se realizar análises de processamento digital de sinais por meio de filtros computacionais, ao passar por cada etapa de amostragem e quantização.

Portanto, espera-se que os leitores, professores e estudantes, possam se debruçar nesta proposta, em busca de desenvolver melhor seus estudos e aperfeiçoamento de técnicas salutares ao conhecimento sobre ondas mecânicas.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio técnico e financeiro.

Referências bibliográficas

Aliaga, M., Gunderson, B. (2002). *Interactive Statistics*. Thousand Oaks, CA: Sage.

Araújo, M. S. T., Abib, M. L. V. dos S. (2003). Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25 (2), 176-194. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/?lang=pt>

Barbosa. C. C. A, Carvalhaes. G.C, Costa. T. V. M. (2002). A computação numérica como ferramenta para o professor de Física do ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28 (2), 249-254. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-47442006000200016>.

Bohn, D.A. (1988). Environmental effects on the speed of sound. *Journal of the Audio Engineering Society*, 36 (4), 223–231.

Carvalho, A. M. P. et al. (2016). *Ensino de Ciências: unindo a pesquisa a prática*. São Paulo: Cengage Learning.

Cavalcante, M. A. (2013). Novas tecnologias no estudo de ondas sonoras. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30 (3) 579-613. doi: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n3p579>.

Delors, J. (org.). (2012). *Educação um tesouro a descobrir – Relatório para a Unesco da Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI*. São Paulo: Cortez.

Filho, M. R. V. (1988). O professor como produtor de conhecimento sobre o ensino. Em: Carvalho, A. M. P. *Formação do Professor e a Prática de Ensino*, (org.). São Paulo: Pioneira.

Força, A. C., Laburú, L. C., Silva, O. H. M. (2011). Atividades experimentais no ensino de Física: teoria e práticas. Em: *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Campinas: ABRAPEC. Recuperado de:

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/?lang=pt#:~:t ext=De%20modo%20convergente%20a%20esse,de%20modo%20significat ivo%20e%20consistente>.

French, A. P. (2003). *Vibration and Waves: The M.I.T Introductory Physics Series*. New York: Ed. Norton & Company.

Galiazzi, M. C., Rocha, J. M. B., Schmitz, L. C., Souza, M. L., Giesta, S., Gonçalves, F. P. (2001). Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. *Ciência & Educação*, 7 (2), 249-263. doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200008>.

Guimarães, L. P. *et al.* (2018). Ensino de Ciências e experimentação: reconhecendo obstáculos e possibilidades das atividades investigativas em uma formação continuada. *Revista Thema*, 15 (3), 1164-1174. doi: <https://doi.org/10.15536/thema.15.2018.1164-1174.991>.

Guridi, V. M., Isla, S. M. (1998). Guías de laboratorio tradicionales y abiertas en Física Elemental: propuesta para diseñar guías abiertas y estudio comparativo entre el uso de este tipo de guías y guías tradicionales. *Investigações en Ensino de Ciências*, 3 (3), 203-220. Recuperado de: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/618>.

Mack, F. (2019). *Tubo de kundt*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas/Instituto de Física Gleb Wataghin.

Oliveira, J.R.S. (2010). Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. *Acta Scientiae*, 12, (1), 139-153. Recuperado de: <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/31>.

Pizetta, D. C., Wanderley, A. B., Mastelaro, V. R., Paiva, F. F. (2021). Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39 (3), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0264>.

Saab, S. C., Cássaro, F. A. M., Brinatti, A. M. (2005). Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado com tubo de kundt para medir a velocidade do som no ar. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 22 (1), 112-120. doi:10.5007/%X.

Santiago, A. J., de Azevedo, C. A., Ledo, R. A. G. (1991). Teor didático de um tubo de Kundt: Análise qualitativa de um experimento. *Revista de Ensino de Física*, 13 (1), 77-85. Recuperado de: <https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol13a06.pdf>.

Santos, E. I., Piassi, L. P. C., Ferreira, N.C. (2004). *Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de física: uma experiência em formação continuada*. Belo Horizonte: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física.

Recuperado de: Recuperado de
<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/ix/sys/resumos/T0058-1.pdf>.

Silva, W. P. *et al.* (2003). Velocidade do som no ar: um experimento caseiro com microcomputador e balde d'água. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25 (1), 74-80. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Zbw9trJ3Q6w5WGWXtWzzwPj/?format=pdf&lang=pt>.

Vieira, L. P., Amaral, D. F., Lara, V. O. M. (2014). Ondas sonoras estacionárias em um tubo: análise de problemas e sugestões. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36 (1), 1-5. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/hsKw3cYqJpwMYZnNhd5gjNx/?format=pdf&lang=pt>.

Anexo 1. Algoritmo utilizado no Arduino Uno® para monitorar a temperatura no interior do tubo

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "max6675.h"
//Inicializa o display no endereco 0x27
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
//Pinos usados no Termopar
int thermoDO = 5;
int thermoCS = 6;
int thermoCLK = 7;

//Cria o objeto do Termopar e seta os Pinos Digitais
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

//Seta 5 Votls os pinos Digitais
int vccPin = 3;
int gndPin = 2;

//Numero de amostras
int amostragem = 15;

String temp = "";

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.init();
  lcd.setBacklight(HIGH);

  // usa os Pinos Digitais como Power Pin
  pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
  pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);
}

void loop()
{
  //Variavel que recebera os dados de leitura
  float temperatura = 0;

  //Inicia a leitura das amostra
  for(int index =0; index < amostragem; index++){
    temperatura = thermocouple.readCelsius() + temperatura;
    delay(200);
  }

  //Tira a media das leituras
  temperatura = temperatura / amostragem;

  temp = String(temperatura);

  Serial.println(temp);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Temp:");
  lcd.setCursor(6,0);
```

```
lcd.print(temp);  
lcd.setCursor(8, 0);  
lcd.print(" Graus");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("Celsius");  
lcd.setCursor(8,1);  
lcd.print("<Kundt>");  
delay(1000);  
}
```