



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PICOS
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA**

ANTÔNIO AMADEUS MENDES GONÇALVES

**O USO DO TUBO DE RUBENS COMO PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO
DE OSCILAÇÕES E ONDAS SONORAS**

PICOS-PI

2023

ANTÔNIO AMADEUS MENDES GONÇALVES

**O USO DO TUBO DE RUBENS COMO PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO
DE OSCILAÇÕES E ONDAS SONORAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso de Licenciatura
em Física do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Picos.

Orientador: Prof. Me Jorge Maurício Silva Santos

PICOS-PI

2023

FICHA CATALOGRÁFICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PICOS
COORDENAÇÃO DE BIBLIOTECA
SERVIÇO DE PROCESSOS TÉCNICOS

G635u Gonçalves, Antônio Amadeus Mendes

O uso do tubo de rubens como proposta didática para o ensino de oscilações e ondas sonoras / Antônio Amadeus Mendes Gonçalves. — 2023.

52 f.: il.

Monografia (Graduação em Licenciatura em Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Picos, 2023.

Orientador: Prof. Me Jorge Maurício Silva Santos.

1. Física - estudo e ensino. 2. Ondas mecânicas.
3. Aprendizagem significativa. I. Título.

CDD: 530.07

ANTÔNIO AMADEUS MENDES GONÇALVES

**O USO DO TUBO DE RUBENS COMO PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO
DE OSCILAÇÕES E ONDAS SONORAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Física do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí, Campus Picos.

Aprovada em: 28/09/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Jorge Mauricio Silva Santos (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Picos

Prof. Me. Pedro José Feitosa Alves Júnior
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Picos

Prof. Me. Gilson Mauriz Gomes
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Picos

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a todos os meus familiares, amigos e professores, que, de forma direta ou indireta, consciente ou inconscientemente, contribuíram para a realização do referido trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e ao IFPI Campus Picos pela oportunidade que me foi proporcionada ao me receber como aluno na instituição e, principalmente, a todos os professores com quem tive contato e oportunidade de instruir-me, em especial o professor Me Jorge Maurício, professor Me Pedro Feitosa, Professor Me Gilson Mauriz, Professor Dr Haroldo Reis, professor Me. Emanuel Veras, professor Dr Jeferson, professor Dr Heleonardo, Professor Dr Reginaldo, professor Dr Lourenilson e professora Helleni.

Agradeço imensamente a toda a minha família pelo apoio ao longo desses quatro anos e meio de formação, que, de forma direta ou indireta, contribuiu decisivamente para a minha formação acadêmica. Agradeço principalmente a minha mãe, Maria dos Remédios de Sousa Mendes, a meu pai, Antônio Borges Gonçalves Neto, minha irmã, Maria Andreza Mendes Gonçalves, e ao meu tio Pedro de Sousa Mendes, assim como pelo restante de minha família, que sempre me apoiou e incentivou a seguir esta jornada. Quero agradecer de forma especial a minha namorada Kaylle Ailane pelo apoio nessa reta final do curso, seu amor e carinho foi um grande estímulo para minha dedicação nesse trabalho.

Gostaria de destacar e agradecer as amizades que fiz no instituto, em especial a Manel, Riquelme, Henrique, Jales, Kaick, Guilherme, Janaina, Maria Rita, Mayara, Letícia, Marcia, Bruna, Jonas, Gabriel, Ítalo, Matheus, Marcelo, Pedro Henrique, Levy e muitos outros. A presença de vocês foi de considerável importância para esta minha jornada, não apenas pelos debates e conversas instrutivas que tivemos, mas também por todas as brincadeiras e distrações. Destaco também a amizade de um grande amigo/irmão Franciel por todo apoio e suporte nesse último ano de curso, sua amizade foi de muita valia. Gostaria de agradecer também a todos aqueles que foram meus alunos durante os períodos que atuei como estagiário no Teresinha Nunes e residente pedagógico na escola do Premem, Coelho Rodrigues e Landri Sales, e, eventualmente, a todos os funcionários do instituto, em especial ao meu amigo Arilson (técnico de laboratório de física), Iracema Machado (professora de pedagogia) e Fátima Leticia (professora de Libras), dentre outros.

“O que é nascido de Deus vence o mundo; e esta é a vitória que vence o mundo: a nossa fé. O irmão ofendido é mais difícil de conquistar do que uma cidade forte; e as contendas são como os ferrolhos de um palácio. Deus disse: Eu irei com você e lhe darei a vitória”. **Salmos 108:13**

RESUMO

Reconhecendo a importância do ensino de Física na Educação Básica e o baixo interesse dos alunos na forma em que os conteúdos desta disciplina estão sendo ensinados, este trabalho propõe implementar uma sequência didática utilizando o experimento Tubo de Rubens, a fim de instigar a curiosidade e a motivação dos alunos, de forma que os conceitos já adquiridos por eles pudessem evoluir para um conhecimento mais sistemático e significativo à luz da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. O estudo da física ondulatória se mostra cada vez mais necessário em nossa sociedade, tendo em vista a quantidade de fenômenos e equipamentos presentes em nosso cotidiano que funcionam com a utilização de ondas, portanto, o experimento Tubo de Rubens foi concebido como um recurso didático para apoio ao ensino contextualizado da física ondulatória. Esse foi utilizado como objeto de aprendizagem para demonstrar a ocorrência do fenômeno das ondas estacionárias que são formadas a partir de superposições de ondas em tubos sonoros. Com este objeto é possível observar o comportamento da onda de acordo com a frequência sonora produzida pelo alto falante, podendo assim trabalhar os conceitos de onda sonora, frequência, comprimento de onda, velocidade do som, ondas estacionárias, superposição de onda e ainda como calcular a velocidade do som no gás. As aulas podem ser ministradas em turmas com alunos do segundo ano do Ensino Médio. A metodologia pode ser com o uso de quadro, pincel, apresentação de slides em Power Point e a utilização do Tubo de Rubens, previamente construído. Como sugestão de avaliação tem uma atividade pós-intervenção que pode servir como suporte ao professor, cujo objetivo é verificar o entendimento dos conceitos abordados e calcular a velocidade do som no gás. A versatilidade e a sensibilidade do professor dirão quais os melhores métodos e soluções para cada situação cotidiana de sua sala de aula, assim, ele pode fazer uma avaliação quantitativa, ou seja, perguntas a respeito do experimento, como qualitativa, em relação aos aspectos teóricos dos conteúdos trabalhados.

Palavras-chave: Ondas mecânicas, Tubo de Rubens, Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

Recognizing the importance of teaching Physics in Basic Education and the low interest of students in the way in which the contents of this subject are being taught, this work proposes to implement sequential teaching using the Rubens Tube experiment, in order to instigate curiosity and motivation of students, so that the concepts already acquired by them evolved into more systematic and meaningful knowledge in the light of David Ausubel's Meaningful Learning. The study of wave physics is increasingly necessary in our society, given the number of phenomena and equipment present in our daily lives that work with the use of waves, therefore, The Rubens Tube experiment was designed as a teaching resource to support the contextualized teaching of wave physics. This was used as a learning object to demonstrate the occurrence of the phenomenon of standing waves that are formed from superpositions of waves in sound tubes. With this object it is possible to observe the behavior of the wave according to the sound frequency produced by the speaker, thus being able to work on the concepts of sound wave, frequency, wavelength, speed of sound, stationary waves, wave superposition and even how to calculate the speed of sound in gas. Classes can be taught in groups with second-year high school students. The methodology can be using a board, brush, Power Point slideshow and the use of the Rubens Tube, previously constructed. As an evaluation suggestion, there is a post-intervention activity that can serve as support for the teacher, whose objective is to verify understanding of the concepts covered and calculate the speed of sound in gas. The teacher's versatility and sensitivity will determine the best methods and solutions for each daily situation in his classroom, so he can make a quantitative assessment, that is, questions regarding the experiment, as well as a qualitative one, in relation to theoretical aspects. of the content worked.

Keywords: Mechanical waves, Rubens Tube, Meaningful Learning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Onda transversal e onda longitudinal	19
Figura 2: Representação de uma onda produzida pelo alto falante.	20
Figura 3: Representação de uma onda estacionária dentro do tubo fechado.	25
Figura 4: Onda Sonora	27
Figura 5: (a) Onda longitudinal estabelecida no ar dentro de um tubo. (b) Gráfico da pressão no ar ao longo do tubo.	27
Figura 6: Movimento do ar em um cilindro	28
Figura 7: Materiais utilizado na construção do experimento.....	38
Figura 8: Base de suporte para o tubo.	40
Figura 9: Adaptação do Cap, flange e nível.	41
Figura 10: Membrana posta na extremidade do tubo.....	41
Figura 11: Mangueira de gás e registro adaptada ao nível.	42
Figura 12: Experimento montado.	42
Figura 13: Ilustração do experimento em funcionamento.....	43
Figura 14: Experimento em funcionamento.....	44
Figura 15: Esquema para determinar o comprimento de onda.	50

LISTA DE SÍMBOLOS

ϕ – Constante de fase

θ – Teta

ρ – densidade do gás

λ – Comprimento de onda

ω – frequência angular

k – número de onda

f – frequência

V – velocidade do som no gás

π – pi

B – Módulo volumétrico

ρ – Massa específica

F – Força

Δt – Variação do tempo

m – Massa

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Experimentação no Ensino de Física	16
2.2 Aprendizagem Significativa de Ausebel.....	17
3 ONDAS MECÂNICAS.....	19
3.1 Ondas Mecânicas Harmônicas	19
3.2 Ondas Mecânicas Estacionárias	21
3.3 Ondas Sonoras.....	26
3.4 Velocidade de Propagação do Som.....	28
4 METODOLOGIA	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS.....	36
APÊNDICE A – ROTEIRO PARA MONTAGEM E UTILIZAÇÃO DO TUBO DE RUBENS EM SALA DE AULA	38
Apêndice A1: Materiais Utilizados na Construção do Tubo de Rubens.....	38
Apêndice A2: Construção do Tubo de Rubens	40
Apêndice A3: Como usar o Tubo de Rubens em sala de aula.....	43
APÊNDICE B: PLANOS DE AULA	45
Apêndice B1: Plano de Aula 1	45
Apêndice B2: Plano de Aula 2	47
APÊNDICE C: ROTEIRO PARA CALCULAR A VELOCIDADE DO SOM NO GÁS GLP USANDO O TUBO DE RUBENS	50

1 INTRODUÇÃO

A Física tradicionalmente é ensinada por meio da apresentação de seus conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada do que se vive atualmente com o desenvolvimento tecnológico do último século. Essa metodologia de ensino insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento por meio das competências adquiridas. No entanto, existem alternativas para essa prática, alternativas essas que pressupõem a participação ativa do aluno no processo de aprendizagem, uma dessas é o ensino por meio da prática utilizando-se de recursos como a experimentação, o qual permite que os estudantes mantenham sua atenção para aspectos mais relevantes de uma atividade de ciências, como é o caso da Física, aprendendo os conceitos científicos na prática.

O estudo da Física Ondulatória trata desses conceitos e se mostra cada vez mais necessário em nossa sociedade, tendo em vista a quantidade de fenômenos e equipamentos presentes em nosso cotidiano que funcionam com a utilização de ondas, não só das ondas mecânicas, como ondas marítimas, sísmicas, sonoras, etc; mas principalmente as eletromagnéticas, como os telefones celulares, a internet, os aparelhos de TV, as estações de rádio, etc. Somente sua aplicabilidade já justificaria a extrema importância do seu ensino para alunos, dessa forma, com intuito de contribuir para reverter esta situação apontada acima, vamos trabalhar com o experimento do Tubo de Rubens.

Para um melhor entendimento das teorias e conceitos físicos relacionados aos fenômenos ondulatórios, estudar-se-á o experimento realizado por Heinrich Rubens em 1905, conhecido como Tubo de Rubens, no qual é utilizado uma caixa de som amplificada como fonte sonora para formar as ondas estacionárias e mostrar a relação entre as ondas sonoras, ressonância e pressão sonora. Essa montagem experimental permite a visualização e consolidação da ideia de formação de uma onda mecânica estacionária em um tubo fechado. Assim, quando o som é introduzido no tubo, os nós e antinodos são alinhados dentro do material de acordo com a oscilação de onda, criando uma onda estacionária que são formadas a partir de superposição de ondas em tubos fechados.

Dessa forma, temos como objetivo construir e implementar a utilização do tubo

de Rubens em sala de aula levando os alunos a compreender os conceitos relacionados ao estudo de ondas e calcular a velocidade do som no gás. O experimento proposto pode ser construído com material de baixo custo, e o produto servirá como apoio no processo de aprendizagem, esse trabalho busca proporcionar aos estudantes a oportunidade de estudar por meio de práticas experimentais, pois ao trabalhar desta forma visa-se romper com os limites dessa disciplina e que os alunos possam superar a fragmentação dos saberes e garantir a construção do conhecimento.

Essas transformações reforçam o papel muito importante do docente como mediador do processo ensino aprendizagem, procuramos identificar as potencialidades de uma metodologia diversificada para o estudo de ondas, com foco no Tubo de Rubens como produto educacional e objeto de aprendizagem à luz da Aprendizagem Significativa de Ausubel, para levar os alunos a perceberem que a física faz parte da realidade em nossa volta e que não se resume a fórmulas e problemas abstratos desconectados da nossa realidade.

Desse modo, ao implementar uma sequência didática de aulas sobre ondas mecânicas e utilizar esse experimento como um suporte para essa atividade, objetiva-se proporcionar uma melhor compreensão dos fenômenos sobre ondas mecânicas e em particular as ondas sonoras tais como: ondas estacionárias e ressonância em tubos abertos e fechados, como também, comprimento de onda, frequência e velocidade do som. Afim de analisar e estudar as ondas sonoras se propagando através das chamas, além de classificar e caracterizar tais ondas como ondas estacionárias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Experimentação no Ensino de Física

A experimentação desempenha um papel crucial no ensino de física, pois permite aos alunos explorar e compreender os princípios e leis científicas de forma prática e concreta. Ao realizar experimentos, os alunos têm a oportunidade de observar fenômenos físicos, coletar dados, analisar resultados e tirar conclusões. Isso os envolve ativamente no processo de aprendizagem, estimula o pensamento crítico e promove uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos.

Nos últimos anos, a experimentação no ensino de Física tem sido amplamente discutida como uma estratégia fundamental para tornar o ensino prazeroso e instigante, além de promover a educação científica dos alunos. Os professores enfrentam o desafio de fazer com que o conhecimento adquirido pelos estudantes faça sentido e possa ser aplicado na compreensão do mundo ao seu redor.

A experimentação tem sido reconhecida como um recurso valioso no desenvolvimento de saberes conceituais, procedimentais e atitudinais dos alunos. Ao envolver os estudantes em atividades práticas, os professores podem ajudá-los a compreender melhor os conceitos teóricos da Física. Os alunos têm a oportunidade de explorar, questionar e formular hipóteses, o que estimula o pensamento crítico e a capacidade de resolver problemas. Além disso, essa prática permite que visualizem fenômenos físicos de forma concreta, testem teorias e estabeleçam relações de causa e efeito. Isso contribui para uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos e promove a construção do conhecimento de forma significativa (CARVALHO, 2010).

No entanto, é importante ressaltar que a experimentação não deve ser vista como um fim em si mesma. Os professores precisam planejar cuidadosamente as atividades experimentais, definir objetivos claros e garantir a segurança dos alunos. Além disso, é fundamental que a experimentação seja complementada por uma abordagem pedagógica abrangente, que inclua a discussão e a reflexão sobre os resultados obtidos. Os pesquisadores da área de educação em ciências têm enfatizado cada vez mais a importância dessa prática no ensino de Física (GALIAZZI, 2001).

Os professores desempenham um papel importante nesse processo, pois devem

criar oportunidades para os alunos relacionarem os novos conhecimentos com suas experiências anteriores. Isso pode ser feito por meio de estratégias como questionamentos, discussões em grupo, atividades práticas e conexões com situações do cotidiano. Ao promover essas interações entre os conhecimentos prévios e os novos conhecimentos, os professores ajudam os alunos a construir uma compreensão mais profunda e a realizar transferências de aprendizagem efetivas. Portanto, a aprendizagem se torna mais significativa quando os novos conhecimentos estão integrados e interagem com a estrutura cognitiva existente dos alunos, proporcionando uma base sólida para a construção de novas informações e a transferência de aprendizagem para diferentes contextos (REIS, 2013).

2.2 Aprendizagem Significativa de Ausubel

A teoria da aprendizagem de David Ausubel tem como conceito central a Aprendizagem Significativa. Segundo essa teoria, a aprendizagem ocorre quando os novos conteúdos são relacionados e integrados aos conhecimentos prévios já existentes na estrutura cognitiva dos indivíduos. Nessa abordagem, os conteúdos prévios atuam como ponto de ancoragem e base para a construção de novos significados. Assim, os indivíduos não apenas absorvem informações de forma passiva, mas também reinterpretam e reorganizam o conhecimento de acordo com sua própria compreensão (SILVA, 2010).

Segundo Yamazaki (2008), a aprendizagem mecânica, ou seja, uma aprendizagem puramente superficial e baseada na repetição de informações, pode não levar a uma transferência de aprendizagem efetiva. A transferência de aprendizagem refere-se à capacidade de aplicar o que foi aprendido em um contexto para resolver problemas ou lidar com situações semelhantes em contextos diferentes. A aprendizagem se torna mais significativa quando os novos conhecimentos estão relacionados e interagem com a estrutura cognitiva existente dos alunos. Isso significa que os novos conceitos e informações devem ser conectados aos conhecimentos prévios dos estudantes, construindo sobre o que eles já sabem. Dessa forma, os alunos podem compreender e assimilar melhor as novas informações, tornando a aprendizagem mais significativa e duradoura.

Essa perspectiva teórica pode ser considerada construtivista, pois enfatiza a

construção ativa do conhecimento pelo aprendiz. Ausubel acredita que a aprendizagem é um processo de construção de significados, no qual os indivíduos constroem novos conhecimentos com base em suas experiências anteriores e interações com o ambiente educacional.

A aprendizagem significativa ocorre quando os novos conhecimentos adquirem significado por meio da interação com conhecimentos prévios específicos e relevantes, chamados de subsunçores. Nessa interação, a assimilação dos novos conhecimentos não é arbitrária nem literal. Em outras palavras, o aprendiz não internaliza os novos conhecimentos de forma exatamente literal, mas também atribui significados idiossincráticos a eles. (MOREIRA, 2007, p.4).

Na aprendizagem significativa, os subsunçores desempenham um papel fundamental, atuando como âncoras cognitivas para a assimilação dos novos conhecimentos. Esses subsunçores são os conceitos ou ideias já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz, que fornecem um ponto de referência para a construção de significados mais amplos e coerentes. Isso implica que os educadores devem apresentar informações de maneira clara e significativa.

Quando os novos conhecimentos estão conectados aos conhecimentos prévios, ocorre uma construção de sentido e uma organização mais coerente das informações na mente do aluno. Isso facilita a transferência de aprendizagem, pois os alunos podem aplicar seus conhecimentos prévios de forma adaptativa para resolver problemas e enfrentar novas situações. Além disso, o cognitivismo reconhece a importância do armazenamento eficiente dos novos conceitos na memória de longo prazo. Estratégias como repetição, elaboração, organização e aplicação do conhecimento são empregadas para fortalecer a retenção e a recuperação das informações aprendidas (YAMAZAKI, 2008).

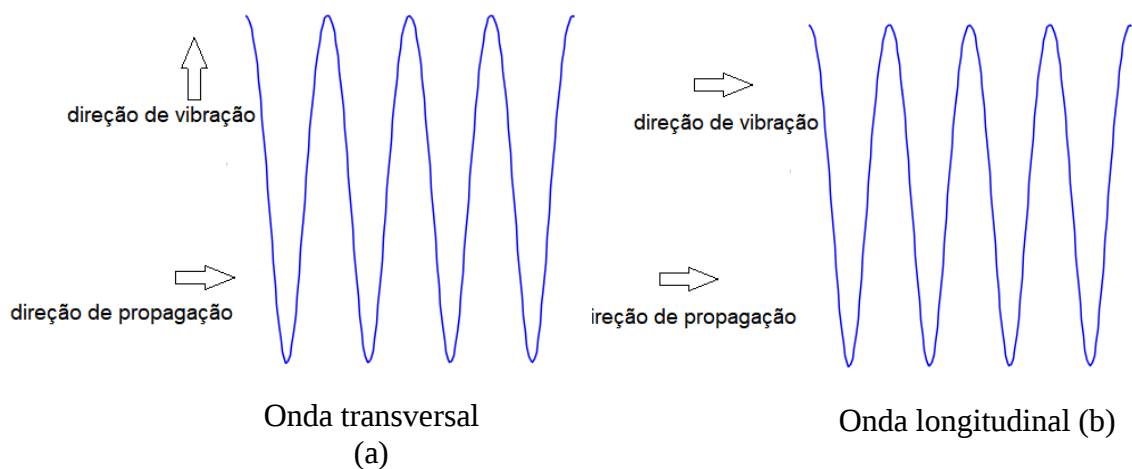
3 ONDAS MECÂNICAS

3.1 Ondas Mecânicas Harmônicas

Comumente fala-se de ondas na superfície da água, no entanto seu conceito está longe de se prender somente a este fenômeno. “Num sentido bastante amplo, uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro de um meio com velocidade definida” (NUSSENZVEIG, 2002). Transportando energia, como se pode observar acompanhando um objeto flutuante na superfície da água que, ao ser atingido por uma crista da onda, se move, permanecendo, em média, na mesma posição, após a passagem do sinal, crista. Em geral, assume onda quando a transmissão do sinal entre dois pontos distantes ocorre sem que haja transporte direto de matéria de um desses pontos ao outro.

Define-se onda como qualquer perturbação que se propaga através de um meio, seja um meio material mediante transferência de vibrações das partículas que constituem o meio, ou no vácuo, mediante à vibração de dois campos, um elétrico e outro magnético; transportando energia, sem transportar matéria e pode ser transversal ou longitudinal, como se observa na figura (1), (NUSSENZVEIG, 2002).

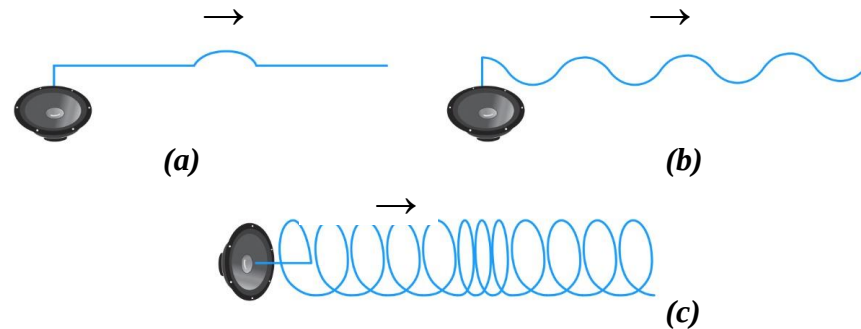
Figura 1: Onda transversal e onda longitudinal



Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/ondas-longitudinais/ondas-transversais/>

Transversal quando a vibração é perpendicular à direção de propagação e longitudinal quando a oscilação ocorre na mesma direção da velocidade da onda. A Figura 1 mostra dois exemplos, (a) e (b) de uma perturbação que se desloca através de um meio.

Figura 2: Representação de uma onda produzida pelo alto falante.



Fonte: Próprio autor.

Um auto falante pode produzir um movimento harmônico simples (MHS), ou seja, com uma frequência f e amplitude y_m bem definida, de modo que a ponta presa a corda tenha a posição $y(t)$ em função do tempo t dado pela função do oscilado Harmônico simples:

$$y(t) = y_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

Sendo, y_m a amplitude do oscilador, ω a frequência angular e φ a constante de fase. Na Figura 2 (b) a vibração se da na direção y e em (c) na direção x .

Trataremos a partir de agora a onda como sendo uma transversal. Logo a posição $y(x, t)$ em função do tempo, qualquer ponto x da corda pode ser expressa como:

$$y(x, t) = y_0 \sin(kx - \omega t + \varphi) \quad (2)$$

Esta equação também é chamada de equação da onda senoidal. Sendo, k o

número de onda que indica a quantidade de comprimentos λ em um determinado comprimento, $k = 2\pi/\lambda$. E $\omega = 2\pi f$. O termo $kx - \omega t + \varphi$ é chamado de fase da onda.

A velocidade da onda é encontrada considerando que a fase da onda não muda no tempo para um observador que se move com a mesma velocidade da onda ou velocidade da fase da onda (NUSSENZVEIG, 2002). Nesse caso, a derivada temporal da fase será igual a zero, ou seja,

$$\frac{\partial}{\partial t}(kx - \omega t + \varphi) = 0 \quad (3)$$

$$k \frac{\partial x}{\partial t} = \omega \quad (4)$$

Logo a velocidade de fase da onda, $v = \omega/k$. Também chamada de velocidade da onda, ou

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

Como o produto terá um foco em ondas estacionárias, tratar-se-á da interferência entre duas ondas.

3.2 Ondas Mecânicas Estacionárias

Para determinar as condições de ressonância e explicar os máximos e mínimos das chamas do tubo, vamos estabelecer as condições para existência de ondas estacionárias no Tubo de Rubens.

A perturbação iniciada pelo alto-falante se propaga pelo tubo, devendo obedecer à equação de movimento:

$$\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 X}{\partial t^2} \quad (6)$$

Esta equação diferencial geral que governa a propagação de ondas de todos os tipos, onde v é a velocidade do som no gás, e pode ser expressa em termos do módulo volumétrico de elasticidade adiabático B e da densidade ρ do gás pela equação (7):

$$V = \left(\frac{Kad}{\rho} \right)^{1/2} \quad (7)$$

O princípio de superposição é explicado por (NUSSENZVEIG, 2002) duas ondas senoidais idênticas se propagando em um meio linear. Se duas ondas estão, se propagando, uma para a direita e outra para esquerda, e têm a mesma frequência, comprimento de onda e amplitude, em fases, pode-se expressar suas funções através de duas ondas individuais $y_1(x, t)$ e $y_2(x, t)$ como:

$$y_1(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (8)$$

e

$$y_2(x, t) = y_m \text{sen}(kx + \omega t) \quad (9)$$

As ondas citadas acima, são idênticas, mas com velocidade opostas. A onda resultante será a soma algébrica das duas ondas.

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (10)$$

$$y(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t) + y_m \text{sen}(kx + \omega t) \quad (11)$$

Usando a relação trigonométrica: $\text{sen}(a + b) = \text{sen}a \cos b + \cos a \text{sen}b$, temos:

$$\begin{aligned} y(x, t) &= y_m \text{sen}(kx) \cos(\omega t) + \cos(kx) \text{sen}(\omega t) \\ &+ y_m \text{sen}(kx) \cos(\omega t) - \cos(kx) \text{sen}(\omega t) \end{aligned} \quad (12)$$

$$y(x, t) = [2y_m \text{sen}(kx)] \cos(\omega t) \quad (13)$$

Esta equação descreve o regime estacionário para o deslocamento de y na camada de fluido e não é onda progressiva, o termo entre colchete é a amplitude de

oscilação, logo, cada ponto da onda é um oscilador com amplitude variável, dada pelo termo entre colchetes. Reescrevendo essa equação temos:

$$y(x, t) = A \sin(kx + \theta) \cos \omega t \quad (14)$$

Onde θ é uma constante a ser determinada $k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$ e $A = 2y_m$ é a amplitude. Na condição de contorno em $x=0$, fica

$$y(0, t) = A \sin(0 + \theta) \cos \omega t \quad (15)$$

$$y(0, t) = A \sin \theta \cos \omega t$$

Chamando $A \sin \theta = B$, temos

$$y(0, t) = B \cos \omega t \quad (16)$$

A outra condição de contorno é $y(L, t) = 0$, pois, o deslocamento do gás em $x=L$ (extremidade oposta ao alto-falante) é nulo. Temos pois:

$$y(L, t) = 0 \rightarrow \sin\left(\frac{\omega}{v}L + \theta\right) \quad (17)$$

$$\frac{\omega}{v}L + \theta = n\pi \rightarrow n = 1, 2, 3, \dots \quad (18)$$

$$\theta = n\pi - \frac{\omega}{v}L \quad (19)$$

Como:

$$y(0, t) = B \cos \omega t = A \sin \theta \cos \omega t \quad (20)$$

Temos:

$$B = A \sin \theta \rightarrow A = \frac{B}{\sin \theta} \quad (21)$$

$$A = \frac{B}{\sin \left(n\pi - \frac{\omega L}{v} \right)} \quad (22)$$

E assim

$$y(x, t) = \frac{B}{\sin \left(n\pi - \frac{\omega L}{v} \right)} \sin \left(kx + n\pi - \frac{\omega L}{v} \right) \cos \omega t \quad (23)$$

A função nos permite ver que, a amplitude das perturbações se tornará virtualmente infinita quando $\frac{\omega L}{v} = n\pi$, não obstante a amplitude da perturbação inicial B ser pequena. Isso caracteriza um comportamento ressoante. Essa divergência só não se manifesta na prática devido à existência de forças dissipativas não consideradas nesse tratamento.

Assim, “se duas ondas senoidais de mesma amplitude e mesmo comprimento de onda se propagam em sentidos opostos em uma corda, a interferência mútua produz uma onda estacionária” (HALLIDAY E RESNICK, 2016)

Nota-se que a amplitude máxima em cada ponto da onda varia com a posição, e há pontos nos quais a amplitude é nula, ou seja, quando

$$kx = n\pi \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (24)$$

Usando $k = 2\pi/\lambda$, encontra-se o ponto da onda que não se move, ou seja, o nó da onda estacionária em termos do comprimento de onda.

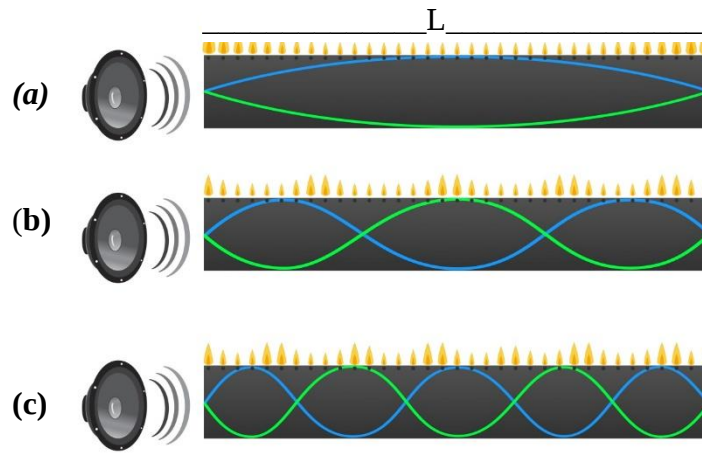
$$x = n \frac{\lambda}{2} \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (25)$$

Já a amplitude da onda estacionária tem um valor máximo $2y_m$, que ocorre

para valores de kx o qual $|\sin kx| = 1$. Esses pontos são chamados de anti nós, e estes serão os valores para x , tal que

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (26)$$

Figura 3: Representação de uma onda estacionária dentro do tubo fechado.



Fonte: Próprio autor.

Na figura 3, apresentam três modos de vibração de uma onda estacionária em tubo fechado de comprimento L . Os números dos modos são indicados por n nas equações (24) e (25), onde tem-se o caso de $n = 1, 3$ e 5 respectivamente. Nota-se que em (a) $L = \lambda/2$, em (b) $L = 3\lambda/2$ e em (c) $L = 5\lambda/2$. Logo,

$$L = n \frac{\lambda}{2} \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (27)$$

Ou

$$\lambda = 2 \frac{L}{n} \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (28)$$

Observa-se que nem todas as frequências são permitidas para uma onda de comprimento L , ou seja, estas frequências permitirão ser

$$f = n \frac{v}{2L} \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots \quad (29)$$

No tubo fechado, obtêm-se apenas frequências naturais dos harmônicos ímpares, então temos

$$f = n \frac{v}{4L} \text{ para } n = 1, 3, 5, \dots \quad (30)$$

Ou ainda,

$$\lambda = \frac{4L}{n} \text{ para } n = 1, 3, 5, \dots \quad (31)$$

Tem-se assim que estas frequências naturais são também chamadas de frequências quantizadas associadas à vibração de uma corda com pontas presas (SERWAY E JEWETT, 2014). Logo, em uma onda estacionária para esse caso, há frequências que são permitidas, os chamados modos normais de vibração.

3.3 Ondas Sonoras

A onda sonora desempenha um papel importante em nosso cotidiano, visto que possuem características que podem ajudar constantemente, entendendo esse processo, temos que as ondas sonoras são ondas mecânicas e longitudinais; no ar, conforme o som se propaga, as moléculas formam regiões de compressão (alta pressão) e rarefação (baixa pressão), como se observa na figura (4). O ar torna-se alternadamente mais denso ou mais rarefeito quando uma onda sonora se propaga através dele. As variações na pressão fazem com que nossos tímpanos vibrem com

a mesma frequência da onda, o que produz a sensação auditiva (YOUNG, 2012).

Figura 4: Onda Sonora



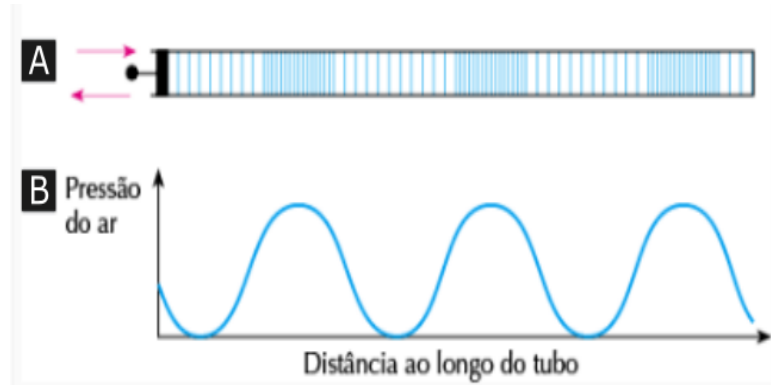
Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas-sonoras.htm>.

Podemos observar na (figura 5) que uma onda sonora é um tipo de propagação de energia através de um meio. Pois, imagina-se que esse alto falante está num meio de moléculas de ar, dispersas e resolvemos liga-lo. As moléculas que antes estariam dispersas agora vão se deslocar e formar uma zona de baixa pressão, caso essas moléculas não se desloquem, essas vão comprimir em zonas de alta pressão. Por esse motivo que as ondas sonoras são ondas de pressão e deslocamento, pois exercem uma pressão e o meio se desloca à medida que a onda se propaga.

Como o Tubo de Rubens é um experimento que permite, “enxergar o som”, ao ser preenchido com gás de cozinha e aceso pelos furos, o alto falante cria ondas de pressão dentro do tubo por meio da vibração sonora. As regiões com maior pressão vão apresentar uma chama maior, e as de menor pressão, uma chama menor. O gás no tubo entra em ressonância com ondas formadas pela vibração da luva de látex colocada em uma das pontas quando se encaixam no seu comprimento.

A maioria das ondas sonoras audíveis são produzidas por objetos que estão vibrando à uma frequência de 20Hz até 20.000Hz (YOUNG, 2012). Uma onda desse tipo pode ser reproduzida no ar, dentro do tubo pelo movimento periódico de um êmbolo para frente e para trás, como é mostrado na figura 3a. No caso do tubo de Rubens, esse movimento é feito pelas vibrações produzida pelo auto falante do som, o resultado de um experimento como esse é uma onda sonora. A pressão no ar varia ao longo do tubo, conforme o gráfico da (figura 3b).

Figura 5: (a) Onda longitudinal estabelecida no ar dentro de um tubo. (b) Gráfico da pressão no ar ao longo do tubo.

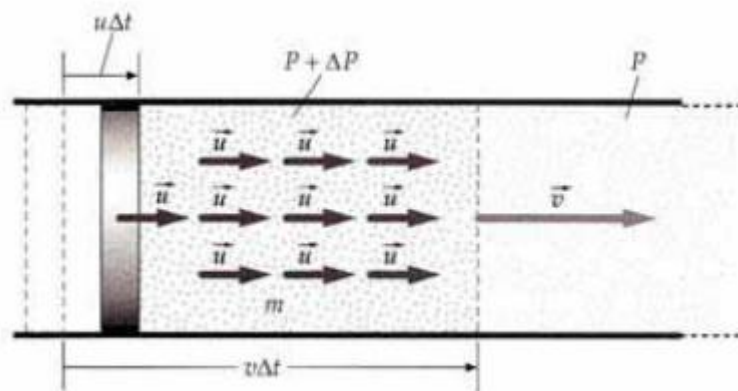


Fonte: RAMALHO, et al. 2015.

3.4 Velocidade de Propagação do Som

De acordo com Nussenzveig (2002), a velocidade de uma onda mecânica, seja ela transversal ou longitudinal, depende tanto das propriedades inerciais do meio (para armazenar energia cinética) como das propriedades elásticas do meio (para armazenar energia potencial). A velocidade de propagação do som pode ser obtida aplicando-se o teorema do impulso e quantidade de movimento linear ao movimento do ar dentro do tubo cilíndrico como é mostrado na figura abaixo, com o pistão em uma extremidade e com a outra extremidade aberta para atmosfera.

Figura 6: Movimento do ar em um cilindro



Fonte: [física para Cientistas e Engenheiros - \(Tipler; Mosca\).pdf](#)

Movendo o pistão para direita com rapidez constante u , após um curto tempo, Δt , o pistão terá se movido de uma $u \Delta t$ e todo o ar contido em uma distância $v \Delta t$ da posição inicial do pistão estará se movendo para direita com rapidez u . Aplicando o

teorema do impulso-quantidade de movimento linear ($F \cdot \Delta t = \Delta p$) ao ar no cilindro, obtemos

$$F \cdot \Delta t = mv - 0 \quad (32)$$

Onde m é a massa do ar que se move com rapidez v e F é a força resultante sobre o ar no cilindro. O ar estava, inicialmente, em repouso. A força resultante F está relacionada com o aumento de pressão Δp do ar, nas proximidades do pistão, que se move, como

$$F = A \Delta p \quad (33)$$

Onde A é a área de seção reta do cilindro. O módulo volumétrico do ar é dado por

$$B = -\frac{\Delta p}{\Delta V/V} \quad (34)$$

Logo,

$$\Delta p = -B \frac{\Delta V}{V} = -B \frac{-Au\Delta t}{Av\Delta t} = B \frac{u}{v} \quad (35)$$

Onde $Au\Delta t$ é o volume varrido pelo pistão e $Av\Delta t$ é o volume inicial do ar que agora está se movendo com rapidez u . Substituindo F na (equação 32), fica

$$A\Delta p\Delta t = mu \text{ ou } AB\frac{u}{v}\Delta t = (\rho Av\Delta t)u \quad (36)$$

Onde m foi substituído por $\rho Av \Delta t$. Resolvendo para v , obtém-se

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (37)$$

Portanto a rapidez do som é dada pela equação acima, sendo B o módulo volumétrico e ρ a massa específica do meio. Quanto mais denso o meio, maior a energia para perturbar suas partículas. Como a velocidade depende da densidade, essa é maior nos sólidos, em seguida nos líquidos e possui menor velocidade nos gases.

4 METODOLOGIA

A proposta de metodologia foi de contribuir para o ensino de física utilizando o experimento Tubo de Rubens com a finalidade de proporcionar aos alunos através da sua riqueza visual a compreensão dos fenômenos físicos e que isso acontecesse de uma maneira interessante e lúdica. Essa metodologia trabalha uma proposta sugestiva para ser aplicada em 4 aulas de 50 minutos cada. Num primeiro momento, propus trabalhar com um questionamento à cerca do conceito de ondas e a visão dos alunos em relação a prática experimental no ensino de física, antes de começar uma abordagem mais profunda do conteúdo (Apêndice C), afim de sondar os conhecimentos prévios desses.

A fundamentação metodológica pedagógica foi desenvolvida a luz da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, o qual propõe essencialmente como ponto de partida os conhecimentos prévios dos alunos, o que ele chama de subsunções considerando essa a variável mais importante na aprendizagem. Para mudar os conceitos errados dos alunos e permitir que aprendam os conceitos corretos. O objetivo é trabalhar com turmas de 2º Ano do Ensino Médio, os quais tenham interesse de participar da aplicação dessa proposta, pois assim, a primeira condição para que ocorra Aprendizagem Significativa segundo Ausubel, que é a predisposição do aluno em aprender seria levada em consideração.

Em sequência a essa aplicação, inicia-se a explanação dos conteúdos conforme distribuídos no (Apêndice B1 e B2). Após trabalhar essa parte, realizar a montagem do experimento (Apêndice A3) e executar seu funcionamento para os alunos. Posteriormente, como sugestão de avaliação tem uma atividade pós-intervenção (Apêndice D) que pode servir como suporte ao professor, cujo objetivo é verificar o entendimento dos conceitos abordados e comparando também o valor da velocidade do som no gás na teoria com o valor experimental. O professor pode realizar suas avaliações quantitativa, ou seja, perguntas a respeito do experimento, como qualitativa, em relação aos aspectos teóricos dos conteúdos trabalhado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em busca de tornar desta iniciativa uma metodologia acessível para o desempenho escolar dos alunos e verter o aprendizado de física mais atrativo, foi abordado o estudo do Tubo de Rubens como uma ferramenta didática para o ensino da física ondulatória, ressaltando a importância das atividades experimentais como um instrumento facilitador do ensino aprendizagem, além de servir como suporte para um melhor entendimento dos conceitos físicos referente ao ensino de ondas mecânicas.

Como sugestão temos a aplicação de um teste prévio (Apêndice C) com problemas construídos de acordo com o conteúdo de ondas mecânicas, com o objetivo de aplicar uma sequência didática para o conhecimento dos conceitos básicos de ondas mecânicas, que são desenvolvidos no projeto experimental. As questões foram construídas deixando claro o objetivo dos questionamentos. Dessa maneira, deseja-se reconhecer a respeito de qual base se conseguiria construir novos conhecimentos físicos a respeito da ondulatória, tendo assim, sucesso nos resultados.

Nesse intuito, o presente trabalho se torna relevante na medida em que se procura adequar uma metodologia que associe teoria e prática, visto que essa forma de ensino estimula no aluno a criatividade e empenho no momento da execução dessa atividade, mais precisamente para compreensão dos conceitos por meio do experimento.

O objetivo principal é de construir o aparato experimental e com seu uso trabalhar os conceitos de ondas mecânicas, afim de melhorar o entendimento destes para o estudo da física ondulatória, além de trabalhar um teste inicial (Apêndice C) para sondar os conhecimentos prévios dos alunos sobre ondas mecânicas e a importância da experimentação no processo de aprendizagem, como também um teste final (Apêndice D), que serve como sugestão de atividade, onde o aluno irá calcular a velocidade do som no gás.

Com o funcionamento do equipamento será possível ver como o som exerce sua pressão sobre o gás de cozinha dentro do tubo. Conforme colocar sons mais altos e com notas mais graves vemos que a labareda de fogo criada sobre o equipamento varia de tamanho, aumentando seu tamanho. Isso ocorre devido a pressão mecânica que o som exerce no gás dentro do tubo, fazendo ele sair em intensidades maiores, elevando, assim, a chama a uma altura maior. O som quando bate em uma superfície

rígida, em parte é repellido de volta, causando assim o eco. Dentro do tubo, quando ele sai pela caixa de som de um lado e atravessa todo o percurso, bate na tampa do outro lado do tubo e volta. Quando duas ondas de frequências iguais se cruzam em um ponto específico com sentidos opostos, neste ponto em específico é exercida uma pressão muito grande fazendo com que a labareda fique concentrada em poucos pontos do equipamento. Este resultado é facilmente obtido usando um gerador de tons e achando a frequência exata para ver o efeito.

O tubo de Rubens funciona como um tubo sonoro fechado, onde a única saída de ar são os pequenos furos. Quando a frequência transmitida pelo alto falante coincide com a frequência de vibração natural do tubo (entra em ressonância), visualiza-se então um padrão estático (ondas estacionárias), caso contrário, visualiza-se um padrão dinâmico. Quando é utilizadas músicas com variação constante na frequência, as chamas começam a “dançar” conforme a música.

O presente trabalho traz uma contribuição para o ensino de ondas sonoras, por meio de uma ferramenta metodológica para o ensino de física que utiliza uma mescla de aula teórica expositiva e experimental para “visualização dos fenômenos estudados”, visto que a experimentação é uma atividade enriquecedora para o aluno e o seu uso na situação proposta, possibilita o aprimoramento dos conceitos da ondulatória, antes visto só na teoria.

Espera-se como resultado, analisar as ondas obtidas das diferentes frequências sonoras em seus diversos aspectos, calcular a velocidade do som no gás no experimento e comparar com o valor teórico, além de obter um maior envolvimento e interesse dos discentes nas aulas de física, tendo por base que a conclusão do experimento irá servir, além de objeto de estudo, como um atrativo a mais para o laboratório de ciências.

Por fim, fica como sugestão aplicar um teste final (Apêndice D), para assim ser avaliada a aprendizagem do aluno, através da aplicação do produto educacional. O teste pode ser realizado em grupos de 5 alunos, lembrando que esse padrão de avaliação é uma sugestão de aplicação a parte do produto, podendo o professor sugerir outra forma de avaliação.

Tendo em vista que o ensino deve promover um conhecimento que seja integrado à vida do aluno e que possa lhe fazer algum significado imediato, este trabalho busca proporcionar momentos de reflexão sobre a prática pedagógica nas

aulas de Física. Assim, os resultados obtidos, será possível tirar algumas conclusões: As respostas dos alunos no questionário prévio, comparadas às respostas no questionário pós-intervenção demonstrarão uma mudança conceitual, ou seja, as aulas teóricas serão necessárias, a fim de possibilitar que o aluno possa verificar se os conceitos que trazia, sobre o assunto de ondas, eram errôneos ou corretos e podendo, se necessário, modificá-los.

Dessa forma, os objetivos propostos na introdução da monografia como a aprendizagem significativa de Ausubel busca compreender de forma coerente por parte dos alunos a partir de uma metodologia utilizando como embasamento aspectos teórico e prático. Além disso, espera-se uma mudança bastante positiva em relação às aulas ministradas com essa prática, visto que antes trabalhava-se somente com aulas tradicionais e com a aplicação do produto pretende obter resultados satisfatórios para esse processo de ensino aprendizagem.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Física no ensino médio tem como competência a investigação e o resgate ao espírito questionador, é uma ciência experimental e de grande aplicação no dia-a-dia. Nos dias atuais, há uma crescente sensação de desassossego, de frustração ao comprovar o limite do sucesso de seus esforços docentes. Visto que os alunos aprendem cada vez menos e têm menos interesse pelo que aprendem. Por esse motivo, o professor deve procurar metodologias que façam com que os alunos tenham interesse em aprender, o gostar de assistir àquela aula e estar sempre em busca dos porquês. Podemos dizer que isso é uma crise da educação científica, que se manifesta não somente nas salas de aula, mas também nos resultados de pesquisas didáticas em ciências.

O Tubo de Rubens é um aparato experimental usado para empregar em atividades experimentais demonstrativas a serem desenvolvidas em sala de aula. Podendo fazer uso desse para demonstrar os conceitos de acústica. Esse experimento uni aspectos quantitativos (experimentais) e qualitativos (teóricos), sendo que ambos possuem papéis estratégicos importantes para o sucesso da aplicação. Desta forma, o trabalho dá suporte ao professor para que este combine aula expositiva com experimentação, o que permite mostrar a aplicação prática da teoria.

Finalizamos com o intuito de tornar essa proposta aqui apresentada em dados conclusivos quanto à eficácia para o ensino de Física, mais precisamente a compreensão dos conceitos de ondas mecânicas. Podemos considerar que trabalhos surgirão e versarão sobre a avaliação da metodologia aqui sugerida. Não defendemos na proposta de intervenção aqui sugerida que o professor utilize apenas uma metodologia como formula de sucesso, pois a formação do conhecimento é algo muito mais complexo para a qual não existe uma metodologia definida que garanta um resultado satisfatório em todas as situações. Exige criatividade e mobilização de diversos atores da sociedade na busca de alternativas para o melhor desenvolvimento na busca pelo conhecimento. A versatilidade e a sensibilidade do professor dirão quais os melhores métodos e soluções para cada situação cotidiana de sua sala de aula. Como ampliação deste trabalho, espera-se criar futuramente novas estratégias de ensino e implementação de atividades que potencializam o ensino para outros conteúdos de Física, no âmbito da aprendizagem significativa.

Contudo será possível observar que o elo entre a teoria e prática propiciará

terreno fértil à fixação do conhecimento, ao qual busca criar afeição ao que se é exposto. Não se trata de um manual de instruções, engessado, ainda há muito a acrescentar em estudos e pesquisas a fim de viabilizar cotidianamente o aprendizado dos alunos no ensino regular, para que o seu desenvolvimento seja palpável diante de sua peculiaridade congênita ou adquirida. Porém, esperamos que este estudo sirva de suporte aos professores, o qual torne suas aulas mais dinâmica e interativa se adequando aos moldes da aprendizagem significativa.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. S; ABIB, M. L. **Atividades experimentais no ensino da Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, Nº 2, p. 176 – 194. Junho, 2003.

CARVALHO, A. M. P.(coord) et.al. **As práticas experimentais no ensino de Física.** São Paulo: Cengage Learning, 2010.

DETERMINANDO A VELOCIDADE DO SOM NO GÁS GLP. Davys Luis Paxiuba Ducan. Youtube. 11 agosto de 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=8Ystt_W0vLM. Acesso em: 02/07/2023.

FUKE, L. F; KAZUHITU, Y; SHIGEKYO,C.T. **Os alicerces da Física 2: Termologia, óptica e ondulatória.** 15. ed. - São Paulo: Saraiva, 2007.

GALIAZZI, M. C. et al. **Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências.** Ciência & Educação, v.7, n.2, p.249-263, 2001.

HALLIDAY, D., & RESNICK, R. (2009). **Fundamentos de Física. Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** LTC.

NUSSENZVEIG, H. M. (1981). **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor** (Vol. 2). EdgarBluncher LDTA.

PIZETTA, Daniel Cosmo et al. **Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias.** Rev. Bras. Ensino Fís. São Paulo, v. 39, n. 3, e3301, 2017.

REIS, E. M. SILVA, Otto H M. Atividades experimentais: uma estratégia para o ensino da física. Cadernos Intersaberes, vol. 1, n.2, p.38-56, 2013.

SECO, V. L. V. **Estudo de ondas estacionárias em tubos fechados por meio do software de osciloscopia.** Universidade Estadual de Campinas. São Paulo 2010.

SERWAY, R., & JEWETT, J. (2014). **Princípios de física - Oscilações, ondas e termodinâmica** (Vol. 2). Cengage Learning.

SILVA, M. N. M.; FILHO, J. B.R.. **O papel atual da experimentação no ensino de física.** XI Salão de Iniciação Científica – PUCR, 2010.

SILVA, Rosimar Sebastiana Barbosa et al. **O tubo de Rubens como recurso didático no ensino de ondas.** 2016.

XAVIER, Antonio Carlos. **Como fazer e apresentar trabalhos científicos em eventos acadêmicos: [ciências humanas e sociais aplicadas: artigo, resumo,**

resenha, monografia, tese, dissertação, tcc, projeto, slide]/ Antonio Carlos Xavier; ilustrações, Karla Vidal. – Recife: Editora Rêspel, 2016.

YAMAZAKI, S. C. **Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel** . Material preparado para disciplina de Estágio Supervisionado em ensino de Física I – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), 2008.

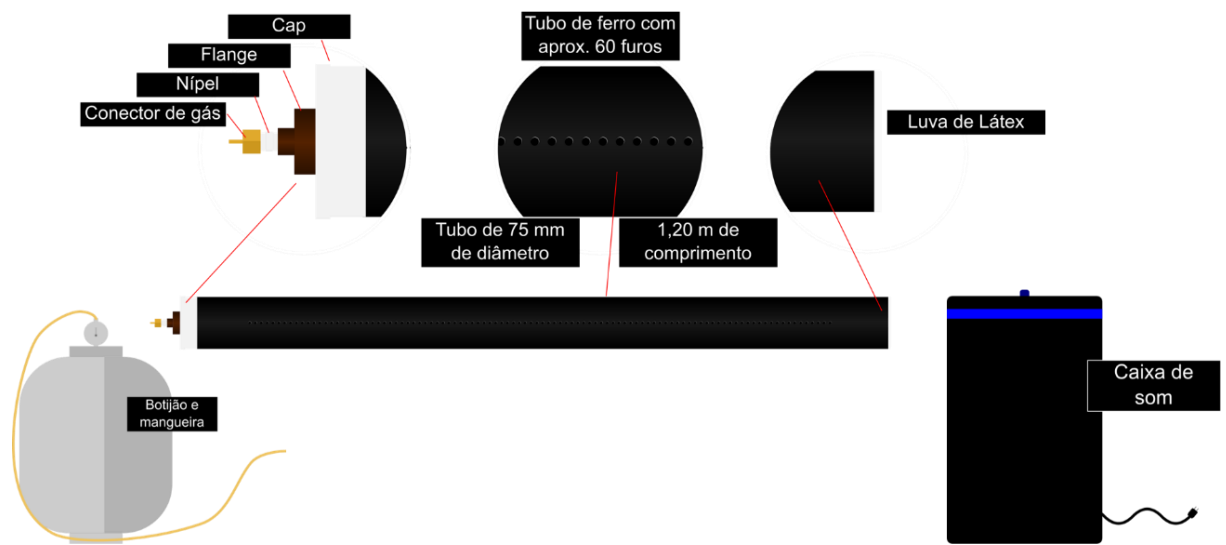
YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física II: **Termodinâmica e ondas**, 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

APÊNDICE A – ROTEIRO PARA MONTAGEM E UTILIZAÇÃO DO TUBO DE RUBENS EM SALA DE AULA

Apêndice A1: Materiais Utilizados na Construção do Tubo de Rubens

O experimento desenvolvido foi à construção do Tubo de Rubens. Esse tubo foi construído utilizando os seguintes materiais.

Figura 7: Materiais utilizado na construção do experimento.



Fonte: Próprio autor.

- Um tubo de alumínio cilíndrico com diâmetro de 75 mm com 1,2m de comprimento;
- Dois suportes de madeira para o tubo com 19,5cm x 19,5cm;
- Uma luva cirúrgica látex;
- Uma fita isolante;
- Uma braçadeira;
- Um flange;
- Um cap;
- Um adaptador para entrada de gás;
- Uma caixa de som amplificada;
- Uma mangueira para gás.

- Um registro completo para gás.
- Um botijão de gás cheio de GLP.
- Uma chave de fenda;
- Uma tesoura;
- Um lápis;
- Uma furadeira;
- Broca de aço de 3 mm e de 5mm;
- Uma lixa de 150.

Apêndice A2: Construção do Tubo de Rubens

O tubo de Rubens foi construído através de três etapas: A primeira foi à construção do suporte de madeira. A segunda etapa foi perfurar o tubo de alumínio. A última etapa foi fazer o encaixe de cada peça.

Segue abaixo cada etapa da construção:

A base que serve de suporte para o tubo foi construída por um marceneiro.

Figura 8: Base de suporte para o tubo.



Fonte: Próprio autor.

Usando a régua foi traçada uma linha reta no meio do tubo e com a furadeira foram feitos furos de 3mm de diâmetros com espaçamento de 1cm. Nas extremidades foram deixados uma distância de 20cm sem furos;

- Foi feito uma marca na tampa do Cap do tamanho do adaptador flange;
- Usando a furadeira e a broca de 5mm foram feitos um furo na tampa do Cap seguindo a marca feita com adaptador;
- Foi feito o acabamento no Cap usando a lixa de 150;
- Usando a lixa, foi feito um polimento na tampa Cap e no tubo de alumínio para facilitar o encaixe;
- O adaptador flange foi encaixado no Cap e está encaixada no tubo;
- Foi feito a conexão do nípel com o conector de gás.

Figura 9: Adaptação do Cap, flange e nípel.



Fonte: Próprio autor.

- A outra extremidade do tubo foi coberta com uma luva de látex. Esta foi presa com o uso de fita isolante.

Figura 10: Membrana posta na extremidade do tubo.



Fonte: Próprio autor.

- Em uma das pontas de mangueira de gás foi colocado o registro e adaptador para botijão e na outra ponta foi colocada um adaptador de gás. Depois foi apertada com a chave de fenda.

Figura 11: Mangueira de gás e registro adaptada ao nível.



Fonte: Próprio autor.

- Depois de todas essas etapas a mangueira foi encaixada no botijão de gás com a certificação que não havia vazamento.

Figura 12: Experimento montado.



Fonte: Próprio autor.

Apêndice A3: Como usar o Tubo de Rubens em sala de aula

Após o tubo de Rubens montado, propomos o seu uso pelo professor em sala de aula, conforme o seguinte roteiro:

- 1) Com a válvula de gás desligada, aproxime a caixa de som à extremidade do tubo contendo a membrana. Conecte a caixa de som ao celular e use o App (gerador de frequência). Mantenha a caixa de som desligada.
- 2) Abra a válvula do gás GLP e após 10 segundos, acenda o gás saindo nos furos com um isqueiro ou palito de fósforo e observe se as chamas aparecem. Acenda começando da região próxima da entrada de gás na extremidade do tubo. Certifique-se que todos os furos estão acesos, com as chamas visíveis, antes de começar o experimento. Nesse momento, as chamas terão alturas constantes e distribuídas uniformemente ao longo do tubo.

Figura 13: Ilustração do experimento em funcionamento.



Fonte: Próprio autor.

- 3) Escolha uma música do gênero clássica no reprodutor de som. Execute o reprodutor de som e ligue a caixa amplificadora de som. Peça aos alunos para observarem o comportamento da distribuição de chamas.
- 4) Abra o App (gerador de frequência) e escolha uma onda senoidal. A seguir escolha no menu a opção de varrer automaticamente as frequências entre 20 e 20000 Hz (faixa audível para o ouvido humano). Execute o comando de varredura de frequências.

Figura 14: Experimento em funcionamento.



Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE B: PLANOS DE AULA

Apêndice B1: Plano de Aula 1

Tema: Ondas

Conteúdos:

- Movimento ondulatório;
- Classificação das ondas segundo a sua natureza, em relação à direção de propagação e quanto à direção de propagação;
- Características das ondas: Período, frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade;
- Componentes de uma onda;
- Equação fundamental da ondulatória.

Objetivos:

- Identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo de ondas;
- Compreender o conceito Físico de ondas;
- Conhecer como uma perturbação gera uma onda mecânica.
- Conhecer as grandezas que nos permitem descrever quantitativamente os movimentos ondulatórios;
- Diferenciar ondas mecânicas de eletromagnéticas;
- Diferenciar ondas longitudinais de ondas transversais;
- Conhecer as variáveis que quantificam um movimento ondulatório;
- Compreender os conceitos de comprimento de onda e amplitude;
- Conhecer e usar em cálculos a Equação fundamental da ondulatória;
- Saber a relação entre as variáveis da Equação de Ondas, bem como a relação entre período e frequência;
- Determinar a velocidade de uma onda propagando num meio em função de seu comprimento de onda e de sua frequência.

Duração da atividade: 2 aulas de 50 minutos cada.

Estratégia:

A aula será iniciada com alguns questionamentos, os quais serão:

- Por que vocês acreditam que o assunto ondas é estudado no Ensino Médio?
 - Vocês conhecem algum tipo de onda?
 - O que é uma onda?
 - Como surgem as ondas?
 - Como é possível o funcionamento de aparelhos como a TV, o celular, o rádio? Como o som percorre tamanha distância? Como são transportadas as informações?
 - Numa transmissão ao vivo de um jogo do Flamengo você comemora o gol exatamente no mesmo momento em que as pessoas que estão assistindo ao jogo no próprio estádio?
 - Aconteceu um terremoto no meio do mar e formou-se um tsunami. Como que as autoridades de cada país sabem a que hora ela vai chegar às suas terras?
- Para demonstrar o que é uma onda, realizar uma experiência na sala de aula. Utilizando uma corda amarrada em uma cadeira. Fazer puxões na outra extremidade da corda para cima e para baixo para produzir um pulso de onda por esta corda. Pedir para que os estudantes apenas observassem o fenômeno para compreenderem que ondas surgem de perturbações em um meio. Depois da experiência, fazer um resumo com as informações sobre o conceito de ondas já formulado, o conceito de ondas mecânicas e eletromagnéticas e a classificação das ondas quanto à direção de propagação. Desenhar um esquema mostrando uma onda para trabalhar os conceitos de comprimento de onda, amplitude, frequência e o período de uma onda. Depois desses conceitos, já definidos, introduzir a equação fundamental da ondulatória: $v = \lambda \cdot f$

Recursos da aula:

- Quadro branco
- Pinceis coloridos
- Livro
- Slides, Power Point

Referências Bibliográficas:

FERRARO, N. G. Os fundamentos da Física. Disponível em <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2010/11/resolucao-de-preparando-se-paraas.html>. Acesso em 18 de junho de 2023.

FUKE, L. F; KAZUHITU, Y; SHIGEKYO, C.T. Os alicerces da Física 2: Termologia, óptica e ondulatória. 15. ed. - São Paulo: Saraiva, 2007.

Apêndice B2: Plano de Aula 2

Conteúdos:

- Ondas harmônicas
- Ondas estacionárias
- Ressonância
- Velocidade do som no gás

Objetivos:

- Conhecer e utilizar a equação geral da onda;
- Compreender sobre como se forma uma onda estacionária;
- Mostrar uma onda estacionária em uma corda;
- Saber identificar os vários modos de vibração de uma corda sonora;
- Conhecer as variáveis que quantificam o processo;
- Saber a relação entre essas variáveis;
- Compreender sobre ressonância.
- Analisar a propagação de ondas estacionária em um tubo.
- Calcular a velocidade do som no gás GLP.
- Exposição do experimento.

Duração das atividades: 2 aulas de 50 minutos.

Estratégias: Iniciar a aula perguntando se alguém sabe tocar violão e se cada corda do violão produz apenas um único som ou que se consegue com cada uma delas, produzir vários sons diferentes. Explicar que um dos objetivos da aula será mostrar como produzir vários sons com uma mesma corda de violão, isto é, quantificar as diferenças entre som e outro, emitidos por uma mesma corda, enfatizando as diferenças no processo. Trabalhar os conceitos de onda estacionária e quais as condições de ressonância. Após a explicação dos conceitos seguir o (Anexo A3) e executar o experimento para os alunos. Em seguida será pedido aos alunos que se agrupem de cinco em cinco e entregar uma folha (Apêndice C) contendo duas tabelas que eles deverão preencher com os valores das frequências de ressonância e dos comprimentos de onda e do número de harmônico que serão observados no tubo de Rubens. Usando o App Gerador de Frequência gerar áudios no intervalo de frequência

de 300Hz a 3000Hz. Com base nas frequências definidas, usando uma régua determinar os valores do comprimento de onda, sabendo disso calcule a velocidade do som no gás GLP e compare o valor teórico com o experimental.

Recursos da aula:

- Quadro branco
- Pinceis coloridos
- Livro
- Slides, Power Point
- Aparato experimental Tubo de Rubens

Referências Bibliográficas:

FERRARO, N. G. Os fundamentos da Física. Disponível em <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2010/11/resolucao-de-preparando-se-paraas.html>. Acesso em 18 de junho de 2023.

FUKE, L. F; KAZUHITU, Y; SHIGEKYO,C.T. Os alicerces da Física 2: Termologia, óptica e ondulatória. 15. ed. - São Paulo: Saraiva, 2007.

APÊNDICE C: TESTE PRÉVIO PARA INÍCIO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**Tabela 1:** Quadro de questões previa.

QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE
1- Você considera a física uma matéria importante?
2- Você gosta de estudar física?
3- Aula convencional (comum) é suficiente para seu aprendizado em física?
4- Aulas com experimentos facilitam seu aprendizado em física?
5- O que é som?
6- Como o som é transmitido?
7- Você já estudou acústica/ondas mecânicas?
8- O que você entende sobre onda?
9- O que são ondas estacionárias?
10-Experimentos ajudariam a compreender acústica/ondas mecânicas?

Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE D: ROTEIRO PARA CALCULAR A VELOCIDADE DO SOM NO GÁS GLP USANDO O TUBO DE RUBENS

Colégio: _____

Professor(a): _____

Aluno(a): _____

Aluno(a): _____

Aluno(a): _____

Aluno(a): _____

Aluno(a): _____

Tubo de Rubens

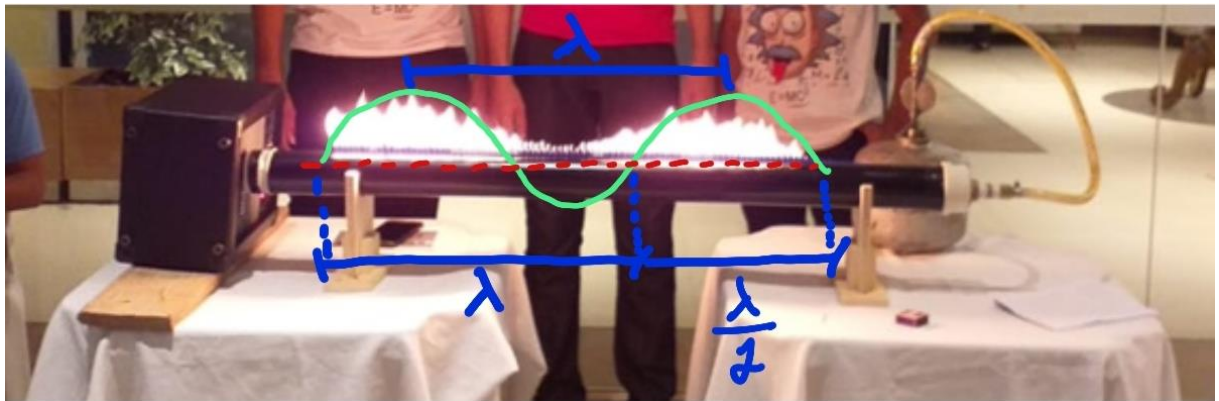
O tubo de Rubens constitui-se de um tubo fechado, com um alto-falante em uma das suas extremidades e gás GLP em seu interior, por meio de pequenos furos o gás é liberado e entra em combustão, e devido à diferença de pressão do gás, dentro do tubo, produzida pela frequência de oscilação do alto-falante, as chamas produzem um padrão de onda estacionária. O tubo de Rubens ilustra uma onda estacionária (comprimento de onda) que representa o som que está sendo tocado.

Objetivo: Determinar a velocidade do som no gás GLP.

Primeiro passo: Identificar 5 frequências de ressonância e anotar na tabela abaixo;

Segundo passo: Medir com a régua a distância entre os nodos ou antinodos para cada frequência, como mostra a foto. Determinar o valor do comprimento de onda λ ;

Figura 15: Esquema para determinar o comprimento de onda.



Fonte: Próprio autor.

Terceiro passo: Com base no valor do comprimento de onda e na frequência mostrada no celular, calcular a velocidade do som no gás GLP;

Quarto passo: Fazer a média das velocidades;

Frequência (f)	Distância entre nodos (ventre) ou antinodo (2λ)	Comprimento de onda (λ)	$v = \lambda \cdot f$
f1=			
f2=			
f3=			
f4=			
f5=			
Média das velocidades			

Quinto passo: Contar os nós ou ventres de acordo com cada frequência registrada. Verificar qual harmônico corresponde a cada frequência.

Frequência (f)	Número de nodos (ventres)	Harmônico
f1=		

f2=		
f3=		
f4=		
f5=		

Sexto passo: Comparar os valores experimentais encontrados para a velocidade do som no gás com o valor teórico. Segundo Duncan (2017), a velocidade do som no gás GLP é de aproximadamente 216,22 m/s.