

FLAUTA DE UMA NOTA SÓ - MEDINDO A VELOCIDADE

DO SOM



.....
Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças¹² , Jusciane da Costa e Silva^{13#} 

¹Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Mossoró, RN, Brasil.

²Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia da Informação, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, RN, Brasil.

³Departamento de Ciências Naturais, Matemática e Estatística, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil.
.....

Palavras-chave

velocidade do som
onda estacionária
acústica

Resumo

Este trabalho propõe um experimento didático de ondas estacionárias mediante o uso de tubos sonoros que, dependendo de como soprados, emitem uma nota musical. Esse som pode ser analisado com o uso de um osciloscópio e um afinador, que podem ser facilmente acessados por meio de computadores e celulares, possibilitando a caracterização do comportamento da onda estacionária excitada no interior do tubo e, conseqüentemente, a obtenção da velocidade do som no ar. Para a execução do experimento foram utilizados três diferentes materiais para a confecção da flauta de uma nota só: o bambu, o PVC e o alumínio. Portanto, essa proposta é uma alternativa empírica de introdução a assuntos relacionados a ondas e acústica em salas de aula para obtenção de parâmetros físicos relevantes.

1. Introdução

Muitas vezes os experimentos de ondas estacionárias são negligenciados nos cursos básicos de física do Ensino Médio, principalmente pela falta de equipamentos que permitam demonstrar tal fenômeno de maneira empírica. Isso faz com que a demonstração prática de exemplos simples como a propagação de ondas numa corda ou de ondas sonoras não sejam compreendidas de maneira clara pelos alunos.

O uso de instrumentos musicais em sala de aula apresenta-se

como ferramenta motivadora [1], além de auxiliar no entendimento de conceitos físicos importantes na obtenção de parâmetros experimentais, como a velocidade do som no ar [2].

Os instrumentos de corda, em sua maioria, têm a onda estacionária na corda vibrante e, no caso dos instrumentos de sopro, a vibração acontece numa coluna de ar dentro de um tubo. Há

muitos detalhes na emissão da nota musical por instrumentos [3]. Com isso, este trabalho pretende demonstrar de forma simplificada o estudo de tubos sonoros.

O uso de instrumentos musicais em sala de aula apresenta-se como ferramenta motivadora, além de auxiliar no entendimento de conceitos físicos importantes

#Autor de correspondência. E-mail: jusciane@ufersa.edu.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Um músico, ao soprar a extremidade de um tubo, é capaz de gerar uma onda sonora com uma frequência bem definida. Esse som é emitido em razão da estabilização de uma onda sonora estacionária. A Fig. 1 mostra a representação esquemática desse padrão de onda no interior de um tubo sonoro.

Destacamos ainda que a oscilação do ar é paralela à direção do tubo; portanto, uma pessoa treinada ou com ouvido absoluto é capaz de identificar a nota emitida e até mesmo aferir sua afinação, determinando se ela se apresenta como uma nota musical temperada. Contudo, para a maioria das pessoas que não possuem essa habilidade, é possível utilizar um afinador digital que está disponível em aplicativos de celulares e websites, ou até mesmo utilizando aparelhos encontrados em lojas de instrumentos musicais. Isso permite verificar a frequência de oscilação específica da onda, dada em hertz, identificando, desse modo, a nota musical emitida.

A flauta de uma nota só, proposta neste trabalho, é composta por um tubo cortado em um comprimento específico (é recomendado que o diâmetro seja menor que 10% do comprimento do tubo), equivalente a uma das notas de uma flauta de pan, um instrumento artesanal muito comum na região da América Andina.

É possível fabricar essa flauta com vários materiais e suas notas individuais podem ser explicadas de maneira simples. No caso deste experimento foram confeccionados tubos a partir de três materiais diferentes (bambu, PVC e alumínio) e com diâmetros internos de 12 mm, 15 mm e 12 mm respectivamente. O bambu,

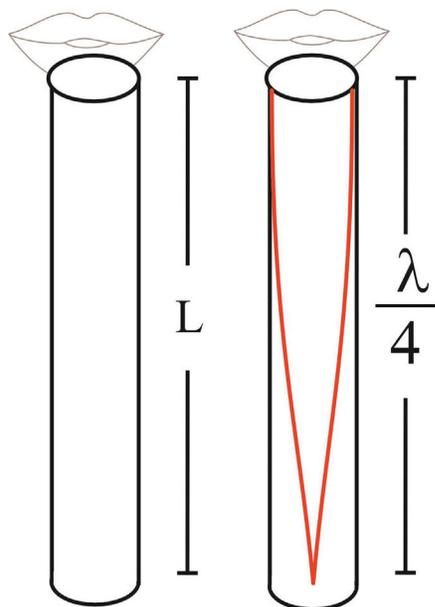


Figura 1 - Figura esquemática do padrão da onda estacionária da nota fundamental em um tubo.

A flauta de uma nota só, proposta neste trabalho, é composta por um tubo cortado em um comprimento específico equivalente a uma das notas de uma flauta de pan, um instrumento artesanal muito comum na região da América Andina

por ser um vegetal oco, pode ser encontrado em diferentes diâmetros. Também testamos tubos com diferentes comprimentos. A Fig. 2 apresenta alguns tubos cortados em diferentes tamanhos sobre um papel centimetrado.

Neste trabalho, apresentamos as medições para dois tubos de alumínio de 10 e 20 cm e para os outros materiais, com resultados idênticos.

A nota fundamental acontece devido à vibração de um quarto de comprimento de onda, sendo característica de um tubo aberto em um dos lados e fechado na outra extremidade. Ao soprar o tubo, de modo a produzir a nota fundamental, é possível identificar sua frequência com o uso de um afinador ou seu período com um osciloscópio. Há vários aplicativos e versões

on-line de afinadores [4] e osciloscópios [5].

A onda estacionária é consequência da superposição de duas ondas de mesma amplitude e com vetores de onda de mesmo módulo propagando-se em sentidos opostos [6]. As moléculas de ar no interior dos tubos sonoros oscilam de modo que as amplitudes máximas da variação de pressão em cada ponto sejam fixas. Para as duas ondas geradoras, suas equações da



Figura 2 - Flautas de bambu, PVC e alumínio com diferentes comprimentos.

variação de pressão do ar ΔP em função da posição x e do tempo t podem ser definidas por

$$\Delta P = \Delta P_m \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x \pm \frac{2\pi}{T}t + \phi\right). \quad (1)$$

O sinal \pm indica o sentido da velocidade de cada uma das ondas, ΔP_m é a amplitude máxima de pressão, λ é o comprimento de onda, T é o período de vibração e ϕ é a fase da onda. A soma destas duas ondas produzirá uma onda com pontos de máximos e mínimos de pressão fixos. Por ser o resultado da soma de duas ondas com velocidades iguais e em sentidos opostos, a onda estacionária apresenta velocidade nula. Individualmente, cada onda tem velocidade dada por

$$v = \frac{4L}{T}, \quad (2)$$

sendo o fator 4 devido à nota fundamental ser um quarto do comprimento de onda.

Nesse momento, utilizamos o osciloscópio virtual para encontrar o período da onda sonora emitida, sendo que essa é uma ótima oportunidade de apresentar o osciloscópio aos alunos [5]. A Fig. 3 mostra o sinal - captado com o uso do microfone do computador em um navegador de internet - emitido pelos tubos de alumínio de (a) 10 cm e (b) 20 cm. É possível perceber que o sinal de oscilação da onda é periódico e bem definido com o período do tubo de 20 cm (o dobro do

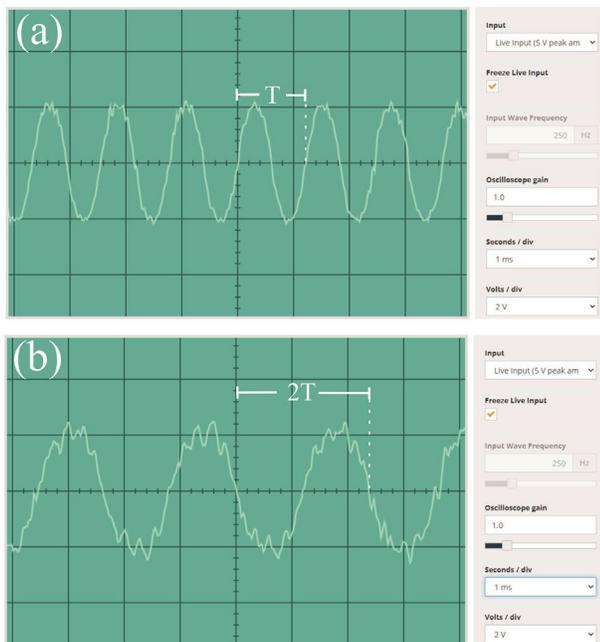


Figura 3 - Figura esquemática do padrão da onda estacionária da nota fundamental em um tubo.

tubo de 10 cm) e, ao reproduzir o experimento em sala de aula, cada tubo de mesmo comprimento apresentará sinais com frequências e períodos idênticos.

Uma alternativa para encontrar a velocidade na Eq. (2) é usar um afinador digital para conseguir a frequência da nota emitida captada pelo microfone do computador. A Fig. 4 mostra as frequências para as flautas de alumínio com comprimentos de (a) 10 cm e (b) 20 cm. Observa-se a mesma nota musical - G#5, sol sustenido na quinta oitava, e G#4, sol sustenido na quarta oitava -, porém com uma oitava de diferença. Isso significa que, para uma oitava acima, a frequência é o dobro da oitava anterior, como se apresenta quando comparamos (a) e (b), sendo a frequência mais grave para a flauta de maior comprimento. Esse comportamento se repetirá para dois tubos quaisquer com a mesma relação de comprimento L .

Apesar de expor apenas os resultados para flauta de alumínio, foram realizadas medições para flautas de PVC e bambu e, independentemente do material e do comprimento utilizado, o valor da velocidade do som no ar foi obtido com uma margem de erro inferior a 5%, utilizando como referência 343 m/s para a velocidade do som no ar. Portanto, o uso de simples tubos sonoros é uma boa alternativa para calcular a velocidade do som no ar com uma precisão muito boa, bem como entender ondas sonoras e ondas estacionárias e a física envolvida em tubos sonoros.

Para utilização em sala de aula, sugerimos que o professor distribua vários tubos já cortados, que podem ter diversos comprimentos ou, dependendo das habilidades dos alunos e ferramentas disponíveis, podem ser cortados no momento da realização do experimento. Uma boa ferramenta a ser utilizada é o cortador de tubos, tanto pela perfeição no corte como também por trazer menos riscos a quem realiza o corte, comparado aos diversos tipos de serras.

Para utilização em sala de aula, sugerimos que o professor distribua vários tubos já cortados, que podem ter diversos comprimentos ou, dependendo das habilidades dos alunos e ferramentas disponíveis, podem ser cortados no momento da realização do experimento. Uma boa ferramenta a ser utilizada é o cortador de tubos, tanto pela perfeição no corte como também por trazer menos riscos a quem realiza o corte, comparado aos diversos tipos de serras.

2. Conclusão

O uso de simples tubos sonoros é uma boa alternativa para encontrar a velocidade do som com uma

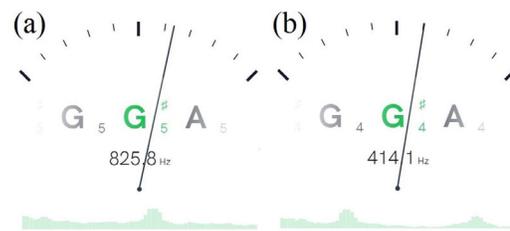


Figura 4 - Frequências na flauta de alumínio para os comprimentos (a) 10 cm e (b) 20 cm.

boa precisão, bem como entender ondas sonoras e ondas estacionárias e a física envolvida em tubos sonoros.

O uso de osciloscópios acoplados a microfones, mesmo que de um computador ou celular, é sugerido

como um primeiro contato desse tipo de equipamento.

Recebido em: 21 de Setembro de 2022

Aceito em: 28 de Novembro de 2022

Referências

- [1] W.L. Krumenauer, T.I. Pasqualetto, S.S.C. Costa, A Física na Escola **10**(2), 22 (2009).
- [2] M.A. Cavalcante, C.R.C. Tavolaro, A Física na Escola **4**(1), 29 (2003).
- [3] S.A. Nascimento, J. Dantas, P. Chaves de Souza Segundo, C. Santos, Revista Brasileira de Ensino de Física **37**, 2305 (2015).
- [4] “Afinador online,” <https://www.musicjungle.com.br/afinador-online> (2022).
- [5] “Virtual oscilloscope,” <https://academo.org/demos/virtual-oscilloscope/> (2022).
- [6] A. Chaves, *Física Básica: Gravitação, Fluidos, Ondas, Termodinâmica* (LTC, São Paulo, 2007).