

Medir a Velocidade do Som

Pode Ser Rápido e Fácil

Para fazer experimentos que envolvam ondas sonoras ou mesmo resolver exercícios propostos em livros didáticos, é muito comum adotar como velocidade de propagação do som no ar o valor 340 m/s, que corresponde à velocidade dessas ondas a cerca de 20 °C. Porém, a dependência da velocidade do som com a temperatura do meio de propagação é grande. Uma boa aproximação para a velocidade do som no ar é dada por¹:

$$v = 330,4 + 0,59T \text{ (m/s)} \quad (1)$$

em que T é a temperatura dada em °C

Não é difícil determinar a velocidade do som no ar a uma temperatura qualquer: coloque em vibração um diapásio de frequência conhecida próximo à boca de um tubo contendo água; ao variar o nível da água no tubo, procure ouvir um reforço na intensidade do som (Figura 1).

Esse reforço se deve ao fato de formar-se no tubo uma onda estacionária na coluna de ar existente entre o nível da água e a boca do tubo, de comprimento L. Sendo este o primeiro reforço observado, a coluna de ar está vibrando com a menor frequência possível, que corresponde à frequência do diapásio. O comprimento de onda neste caso corresponde a quatro vezes o comprimento L da coluna², por tratar-se de um tubo fechado em uma das extremidades. Então $v = \lambda f$, isto é

$$v = 4\lambda f \quad (2)$$

A precisão da medida fica limitada à determinação do comprimento L no momento em que ocorre um aumento na intensidade do som. Neste experimento, no entanto, as variações des-

se comprimento não produzem variações de intensidade sonora muito perceptíveis pelo ouvido humano, dificultando muito a determinação do ponto de ressonância.

De que maneira podemos diminuir a interferência do observador e melhorar a precisão da medida de uma forma simples e sem grandes custos?

Vamos começar tomando um tubo de ar de comprimento L fixo, de secção constante e a princípio aberto nas duas extremidades. Esse tubo pode ser de material opaco ou transparente, mas se for transparente, poderá ser usado em outros experimentos interessantes. Existem disponíveis no mercado, tubos de PVC transparente de 33 mm de diâmetro por cerca de R\$ 6,00 o metro. É mais fácil manusear tubos de até 1 m de comprimen-

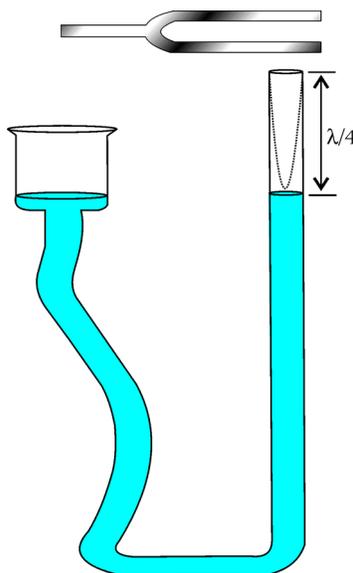


Figura 1. Montagem inicial do experimento.

.....
Marisa Almeida Cavalcante

GoPEF: Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da PUC/SP

<http://mesonpi.cat.cbpf.br/marisa>

E-mail: marisac@pucsp.br

.....
Cristiane R.C. Tavoraro

GoPEF: Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da PUC/SP

E-mail: cris@pucsp.br

.....

Este artigo propõe um experimento de baixo custo para medir com eficiência a velocidade do som.

to. Vejamos por que: ao bater com a palma da mão em uma das extremidades abertas do tubo podemos ouvir um som característico que depende do comprimento L (note que ao bater com a palma da mão em uma das extremidades este tubo se torna fechado em uma das extremidades, como na Figura 2). Se você tiver tubos de comprimentos diferentes, experimente e observe: quanto mais longo o tubo mais grave será o som, isto é, menor será a sua frequência. Então agora só falta determinar a frequência do som que ouvimos para calcular v ! Só?

Essa é a parte mais interessante! Existem equipamentos especiais que medem a frequência de uma onda sonora com bastante precisão: são os espectrômetros sonoros. No entanto é um equipamento caro que certamente não se encontra disponível em nossas escolas e às vezes nem nas universidades. Mas dispondo de um computador com placa de som, microfone, e conexão com a internet, então você tem um espectrômetro em potencial!

Existem na rede vários softwares livres que desempenham com bastante eficiência o papel de analisador de espectro sonoro, isto é, que conseguem determinar a frequência fundamental acompanhada das respectivas frequências harmônicas de uma onda sonora (frequências harmônicas são múltiplas inteiras da frequência fundamental). Dentre eles está o Gram V6, cujo endereço para acesso é <http://www.visualizationsoftware.com/gram/gramdl.html>.

Voltemos ao tubo sonoro: ao bater em uma das extremidades com a palma da mão conforme indica a Figura 2, teremos um tubo fechado em uma das extremidades. O som produzido pode ser captado pelo microfone ligado à placa de som do computador. O Gram V6 salva o som produzido em extensão "wav" e o reproduz de duas maneiras: no alto falante do computador e

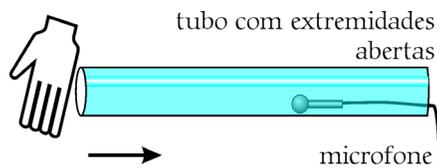


Figura 2. Fonte sonora utilizada para a obtenção do espectro.

simultaneamente na tela, já mostrando as diferentes frequências que o compõem (fundamental e harmônicas).

A Figura 3 mostra o espectro do som produzido em um tubo de 20 cm. Deslizando o cursor pelo espectro temos a indicação da frequência correspondente.

A menor frequência (localizada pelo cursor) é a fundamental e as superiores são as frequências harmônicas produzidas no tubo, sendo $f_n = nv/4L$ para $n = 1, 3, 5, \dots$. O espectro se repete porque foram produzidas várias batidas seguidas. Este procedimento pode ser também visualizado no endereço <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/index.html>¹.

A Figura 4 mostra a curva espectral para o tubo de 20 cm, onde podemos localizar com maior precisão a frequência fundamental e os respectivos harmônicos. O experimento foi reproduzido utilizando-se tubos de comprimentos 20, 40 e 100 cm, nas mesmas condições de temperatura.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos através da curva espectral em cada caso. Quando realizamos este experimento, a temperatura era de 18 °C. Se utilizarmos a relação para a velocidade do som no ar, $v = 330,4 + 0,59T(^{\circ}\text{C})$ teremos $v = 341,02 \text{ m/s}^1$.

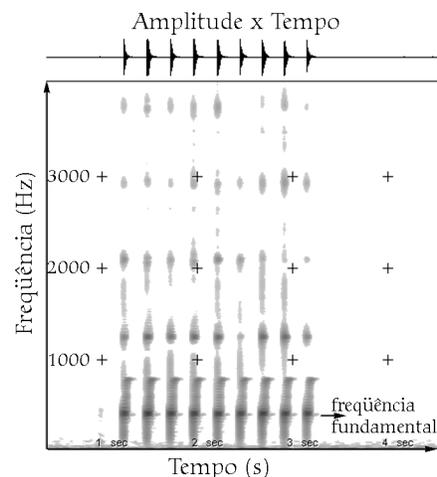


Figura 3. Espectro sonoro para um tubo com 20 cm de comprimento obtido através do software Gram V6. Para facilitar a compreensão representamos os eixos tempo e frequência. Este software mostra também o sinal sonoro capturado através do microfone (amplitude x tempo), como pode ser visto acima do espectro.

Tabela 1. Estimativa da velocidade do som para tubos de diferentes comprimentos, à temperatura de 18 °C.

Comprimento do tubo (cm)	Frequência fundamental (Hz)	Velocidade do som (m/s)
20	412 ± 4	330 ± 3
40	205 ± 3	328 ± 4
100	82 ± 2	328 ± 6

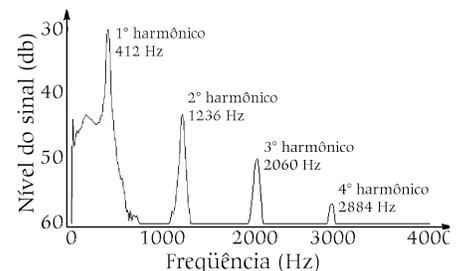


Figura 4. Outra forma de representação espectral que pode ser obtida através do software de análise sonora Gram V6. Para obter esta curva basta clicar sobre a região do espectro sonoro do gráfico representado na Figura 2 e fixar as condições de resolução desejadas. O valor de frequência pode ser obtido diretamente na tela alterando-se a posição do cursor para o ponto da curva em que se deseja obter esta informação.

O software Gram V6 permite ajustar a banda de frequência a ser analisada bem como o número de canais de coleta de dados de modo a obtermos a precisão indicada na Tabela 1.

A utilização do computador como ferramenta de medida tornou o processo de determinação da velocidade do som muito rápido e simples, além de barato, podendo ser reproduzido em sala de aula sem grandes restrições (não precisa ser um laboratório de Física, por exemplo). Usando um pouco de criatividade, é possível usar o processo de medição de frequências de ondas sonoras em outros experimentos: por que não construir um instrumento musical? Seja com tubos ou cordas, certamente é uma atividade que desperta o interesse dos alunos além de proporcionar uma ampla discussão sobre Acústica.

Referências Bibliográficas

1. <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/index.html>, site do Grupo de Novas Tecnologias em Ensino do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
2. "Fundamentos de Física", Halliday, D.; Resnick R.; Walker, J.; v. 2, 4ª edição, LTC.