

## Relatório 5 = velocidade do som:

Assim como as cordas ou molas, o ar contido dentro de um tubo pode vibrar com frequências sonoras, como em instrumentos musicais. Os tubos podem ser abertos ou fechados. Neste experimento, usar-se-á o último.

As vibrações das colunas gasosas podem ser estudadas como ondas estacionárias resultantes do som enviado na embocadura, com o som refletido na outra extremidade do tubo.

Como uma onda sonora se propagando em meio homogêneo, gera a relação:

$$(1) \quad v = \lambda \cdot f$$

$\lambda$  = comprimento de onda

$f$  = frequência

$v$  = velocidade

sendo possível determinar, assim, velocidades desejadas.

Na prática, o tubo fechado em uma extremidade (devido a diferença de impedância acústica entre água e ar) gera o nó de deslocamento, enquanto a aberta corresponde a um antinódo.

$$(2) \quad L = \frac{n \cdot \lambda}{4} \quad n = 1, 3, 5, 7, \dots$$

Emfim, nesse experimento, busca-se determinar a velocidade do som no ar e a frequência de vibração de certo diapásio.

## Metodologia =

Materiais usados =

- tubo de ressonância, acrílico, com extremidade móvel.
- gerador de funções.
- autofalante.

- microfone
- detector de pico
- diapásão de alumínio
- martelo
- trena

Inicialmente, a extremidade fechada do tubo foi variada ao longo do comprimento com um imã. Assim, encontrou-se os locais de ressonância (som em intensidade máxima) que foram marcados com giz e medidos com a trena. As frequências durante todo o processo são dadas pelo gerador de função.

Posteriormente, o microfone e o gerador são substituídos pela diapásão. Usou-se um martelo de borracha para gerar as vibrações dele enquanto era posicionado na extremidade aberta e a fechada era variada, como foi feito antes.

As vibrações deveriam ocorrer perpendicularmente a extremidade aberta.

### Análise de dados:

Incerteza do termômetro =  $\pm 0,5^\circ\text{C}$

Incerteza da trena =  $\pm 0,005\text{ m}$

Incerteza do gerador =  $\pm 1\text{ Hz}$

Temperatura da sala =  $24,0^\circ\text{C}$

1ª parte = alto falante:

\* Labela 1 - Pontos de encontro para frequência de  $f = 425,99\text{ Hz}$ .

$n$	medida 1 (m)	med. 2 (m)	med. 3 (m)	média	erro da média
1	0,175	0,185	0,184	0,181	0,007
3	0,582	0,589	0,587	0,586	0,006
5	0,997	0,991	0,992	0,993	0,006

$n$	$d$ (m)	incerteza associada $\Delta d$	$v$ (m/s)	incerteza associada $\Delta v$
1	0,725	0,020	309	8
3	0,781	0,007	333	3
5	0,795	0,005	339	2

\* Tabela 2 - Pontos de encontro para  $f = 376,34$  Hz

$n$	medida 1 (m)	med. 2 (m)	med. 3 (m)	média	erro
1	0,212	0,205	0,204	0,207	0,007
3	0,665	0,663	0,659	0,662	0,006
5	1,111	1,119	1,117	1,116	0,007

$n$	$d$ (m)	incerteza associada $\Delta d$	$v$ (m/s)	incerteza associada $\Delta v$
1	0,828	0,020	312	8
3	0,883	0,007	332	3
5	0,893	0,005	335,9	2

\* Tabela 3 -  $f = 479,30$  Hz

$n$	medida 1 (m)	med. 2 (m)	med. 3 (m)	média	erro
1	0,162	0,161	0,163	0,162	0,005
3	0,521	0,522	0,520	0,521	0,005
5	0,872	0,877	0,879	0,876	0,006

$n$	$d$ (m)	incerteza associada $\Delta d$	$v$ (m/s)	incerteza associada $\Delta v$
1	0,678	0,020	311	10
3	0,695	0,007	333	3
5	0,701	0,005	335,9	2

\* Tabela 4 -  $f = 525,06 \text{ Hz}$

n	medida 1(m)	med. 2(m)	med. 3(m)	média	erro
1	0,140	0,141	0,141	0,141	0,005
3	0,469	0,471	0,477	0,472	0,006
5	0,800	0,799	0,801	0,800	0,005

n	<u>d(m)</u>	incerteza em d	<u>v(m/s)</u>	incerteza de v
1	0,563	0,020	295	5
3	0,630	0,007	331	4
5	0,640	0,005	336	3

2ª parte = diapasão

\* Tabela 5 (frequência desconhecida)

n	med. 1(m)	med. 2(m)	med. 3(m)	média	erro	<u>d(m)</u>	incerteza de d
1	0,118	0,126	0,119	0,121	0,007	0,484	0,020
3	0,398	0,389	0,381	0,390	0,010	0,519	0,007
5	0,657	0,656	0,639	0,650	0,010	0,521	0,005

a) Os comprimentos de onda dos sons examinados estão nas tabelas (1, 2, 3, 4, 5).

A partir da equação (2):

$$L = \frac{d \cdot n}{4} \rightarrow d = \frac{4L}{n}$$

b) As extremidades aberta e fechada agem como um nó de pressão e deslocamento, respectivamente, assim nas extremidades não ocorre ressonância, podemos desprezar as medidas delas.

c) Como conhecemos os comprimentos de onda (d) e as frequências dadas nas tabelas 1, 2, 3 e 4:

Calcula-se a velocidade do som, pela

equação (1)  $\Rightarrow v = d \cdot f$

$f = 425,99 \text{ Hz} \rightarrow v = 327 \text{ m/s}$      $f = 479,30 \text{ Hz} \rightarrow \bar{v} = 326 \text{ m/s}$

$f = 376,34 \text{ Hz} \rightarrow \bar{v} = 327 \text{ m/s}$      $f = 525,06 \text{ Hz} \rightarrow \bar{v} = 321 \text{ m/s}$   
Assim,  $\bar{v}_x = 325 \text{ m/s}$

d) Como pela equação (1), tem-se  $d = \frac{v}{f}$ . Desse modo,

traçando  $d$  versus  $1/f$ , o coeficiente angular do gráfico é numericamente igual a velocidade. Para a construção do gráfico, visando diminuir erros, usou-se o valor médio de  $d$ .

$v = 339 \text{ m/s}$

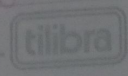
e) Observa-se uma diferença entre as duas velocidades. A velocidade do som a  $25^\circ\text{C}$  é aproximadamente  $340 \text{ m/s}$ , assim, o método gráfico foi mais preciso. Uma justificativa, para isso, é que no item c, usamos todos os valores de  $d$  para determinar a velocidade. Já no d, com o gráfico, a reta tende a minimizar os erros das medidas, de forma a gerar um resultado melhor.

f) Como sabemos o valor de  $v$  ( $v \rightarrow 325 \text{ m/s}$  e  $v \rightarrow 339 \text{ m/s}$ ) e  $d$  (tabelas)

- $n = 1$ : a)  $v = 325 \text{ m/s} \rightarrow f_{1a} = 675 \text{ Hz}$
- $n = 2$ : a)  $v = 325 \text{ m/s} \rightarrow f_{2a} = 626 \text{ Hz}$
- $n = 3$ : a)  $v = 325 \text{ m/s} \rightarrow f_{3a} = 623 \text{ Hz}$
- $n = 1$ : b)  $v = 339 \text{ m/s} \rightarrow f_{1b} = 700 \text{ Hz}$
- $n = 2$ : b)  $v = 339 \text{ m/s} \rightarrow f_{2b} = 653 \text{ Hz}$
- $n = 3$ : b)  $v = 339 \text{ m/s} \rightarrow f_{3b} = 651 \text{ Hz}$

- $\bar{f}_1 = 687 \text{ Hz}$
- $\bar{f}_2 = 639 \text{ Hz}$
- $\bar{f}_3 = 637 \text{ Hz}$

$\rightarrow$  frequência média  $\bar{f} = 654 \text{ Hz}$



g) Usando a equação  $v(T) = v_0 \sqrt{1 + \beta \cdot T}$  e  $T = 24^\circ\text{C}$   
e  $v = 332 \text{ m/s}$  (a média dos valores do item c e d):

$$v_0 = \frac{332}{\sqrt{1 + \frac{24}{273}}} = 318 \text{ m/s}$$

h) Como trata-se de duas ondas harmônicas iguais =

$$y_1 = A \cdot \cos(kx - \omega t)$$

$$y_2 = A \cdot \cos(kx + \omega t)$$

A superposição das ondas é descrita como  $y = y_1 + y_2 =$   
 $A \cos(kx - \omega t) + A \cos(kx + \omega t)$ .

$$\text{Então, } y = A (\cos kx \cdot \cos \omega t + \sin kx \cdot \sin \omega t + \cos kx \cdot \cos \omega t - \sin kx \cdot \sin \omega t) = 2A \cos(kx) \cdot \cos(\omega t)$$

Como a frequência angular é igual,  $A_{\text{res}} = 2A \cos(kx)$

Quando  $\cos(kx) = 0$ , a amplitude é mínima,  
assim,  $kx = 0, \pi, 2\pi, \dots, \frac{n\pi}{2}$ , com  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$\text{Assim, } x = \frac{n\pi}{2} \cdot \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{n\lambda}{4} \quad (2)$$

i) Outro método mais simples e mais barato de realizar seria usar água que se comunica com um tubo. A água funcionará como a parede móvel que determina o comprimento do tubo. Se colocar a fonte sonora na outra extremidade, a aparelhagem terá a mesma função.

Obs: a água deve envolver apenas uma extremidade do tubo.

Conclusão =

Através desse experimento, conseguiu-se visualizar e desenvolver diferentes métodos para calcular a velocidade do som, como graficamente ou por cálculos de fórmulas. E, em ambos, alcançou-se resultados esperados, considerando os erros experimentais já esperados. Ademais, também foi possível calcular uma frequência desconhecida do diapasão, sendo útil para futuras necessidades.

