

## Experimento 4

### Introdução

Ondas sonoras são, genericamente, qualquer onda mecânica longitudinal. Como todos os fenômenos ondulatórios, elas são caracterizadas pela velocidade de propagação, a qual depende do meio onde o fenômeno é observado. Dessa forma, a onda sonora também se encaixa na relação  $v = \lambda \cdot f$ .

Ao se confinar ondas mecânicas em um tubo, a reflexão progressiva das ondas nas extremidades gera superposição e, portanto, uma onda estacionária é formada. Caso uma das extremidades seja fixa, o nó ali presente acaba limitando as possíveis frequências das ondas estacionárias, sendo cada uma delas denominada frequência de ressonância. Assim, tem-se o harmônico, que é a onda específica de vibração responsável por causar o fenômeno conhecido como ressonância. O primeiro harmônico é também conhecido como modo fundamental e possui  $n = 1$ .

### Materiais e métodos

Para a realização do experimento, foram utilizados os seguintes equipamentos: tubo de acrílico transparente com extremidade móvel, microfone, amplificador, fone de ouvido, gerador de função, um diapazão de frequência desconhecida, termômetro, martelo de borracha e trena.

Na primeira parte do experimento, foi utilizado o tubo de acrílico com um emissor de autôfalante em sua extremidade aberta e um embolo para manter a outra extremidade fechada. Esse embolo era capaz de se mover dentro do tubo, variando seu comprimento e limitando o espaço em que as ondas se propagam. Assim, a extremidade móvel era variada até que se encontrasse a posição em que a intensidade do som fosse máxima, marcando esse local com um



giz. Para obter uma maior precisão foram necessárias várias tentativas. Uma vez que  $A_1$  havia sido identificada, o comprimento  $L$  do tubo foi estendido, de forma que se localizasse os outros níveis de ressonância em toda a extensão do tubo. Esse processo foi realizado com as seguintes frequências (em Hz), emitidas pelo gerador de função: 346,34, 425,99, 479,30, e 525,06.

Na segunda parte, foi repetido um processo análogo ao descrito acima, porém o gerador de função e o altofalante foram substituídos pelo diapásio de frequência desconhecida. Para isso, o diapásio era posicionado próximo à extremidade aberta do tubo e, em seguida, golpeado com o martelo de borracha.

### Resultados e discussões

A partir dos dados obtidos na parte experimental, foram elaboradas as seguintes tabelas:

**comprimento de onda e velocidade do som para  $f = 376,34\text{Hz}$**

$n$	comprimento $L$ médio (m)	$\lambda$ (m)	$v$ (m/s)
1	0,207	0,828	311,61
3	0,662	0,883	332,31
5	1,116	0,893	336,07

**comprimento de onda e velocidade do som para  $f = 425,99\text{Hz}$**

$n$	comprimento $L$ médio (m)	$\lambda$ (m)	$v$ (m/s)
1	0,181	0,724	308,42
3	0,586	0,781	332,7
5	0,993	0,794	338,24

**comprimento de onda e velocidade do som para  $f = 479,30\text{Hz}$**

$n$	comprimento $L$ médio (m)	$\lambda$ (m)	$v$ (m/s)
1	0,162	0,648	310,59
3	0,521	0,695	333,11
5	0,876	0,701	335,99



comprimento de onda e velocidade do som para  $f = 525,06\text{Hz}$

n	comprimento L médio (m)	$\lambda$ (m)	v (m/s)
1	0,141	0,564	296,13
3	0,472	0,629	330,26
5	0,8	0,64	336,04

comprimento de onda para o diapásão

n	comprimento L médio (m)	$\lambda$ (m)
1	0,121	0,484
3	0,39	0,52
5	0,65	0,52

O comprimento de onda e a velocidade do som apontados nas tabelas foram encontrados através das equações dispostas abaixo. Nos cálculos realizados, as medidas das extremidades foram desprezadas para evitar erros de medição, já que nesses pontos as ondas não possuem vibração.

$\rightarrow$  com  $L = \frac{\lambda}{4} + n \cdot \frac{\lambda}{2}$ , temos que  $L = \frac{\lambda}{4} (2n+1)$

Logo,  $\lambda = \frac{4 \cdot L}{2n+1} \Rightarrow \lambda = \frac{4L}{n}$   $v = \lambda \cdot f$   
 $n \rightarrow n^\circ$  ímpar

fórmulas utilizadas para achar  $\lambda$  e  $v_{\text{som}}$

Uma vez que a  $v_{\text{som}}$  para  $n=1,3$  e  $5$  para cada frequência utilizada foi encontrada, calculou-se a média das velocidades, a fim de obter a velocidade média do som.

$F = 346,34\text{Hz} \Rightarrow v_m = 326,66\text{ m/s}$   
 $F = 425,99\text{Hz} \Rightarrow v_m = 326,48\text{ m/s}$   
 $F = 449,30\text{Hz} \Rightarrow v_m = 326,48\text{ m/s}$   
 $F = 525,06\text{Hz} \Rightarrow v_m = 320,41\text{ m/s}$

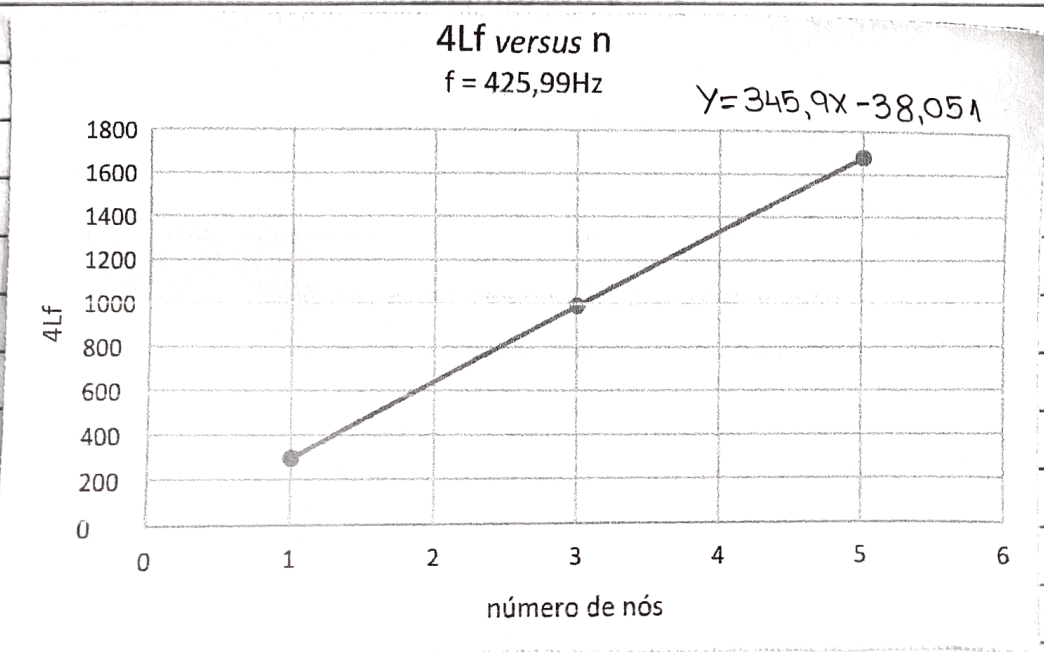
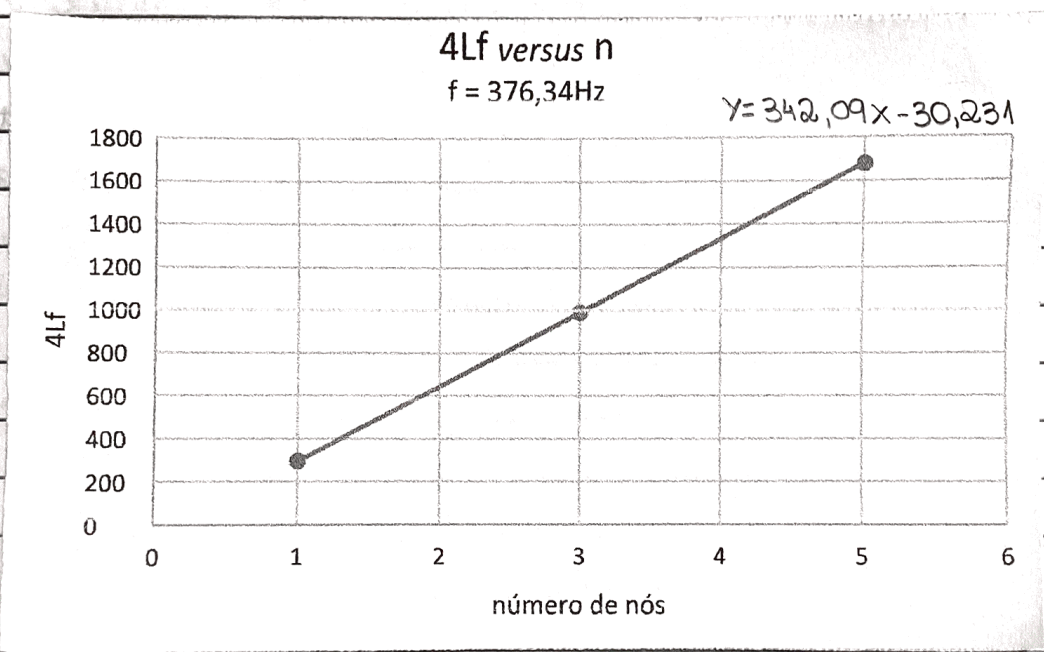
$\therefore v_{m_{\text{som}}} = 325,16\text{ m/s}$

Para determinar a velocidade do som graficamente, foram montados os seguintes gráficos, que relacionam  $4Lf$  com o número de nós. Dessa forma, tem-se que a inclinação da reta, em  $v/m$ , o coeficiente angular, é equivalente à velocidade do som. Tirando a média dos coeficientes angulares, encontra-se que a  $v_m$  é de  $344,06 \text{ m/s}$ .

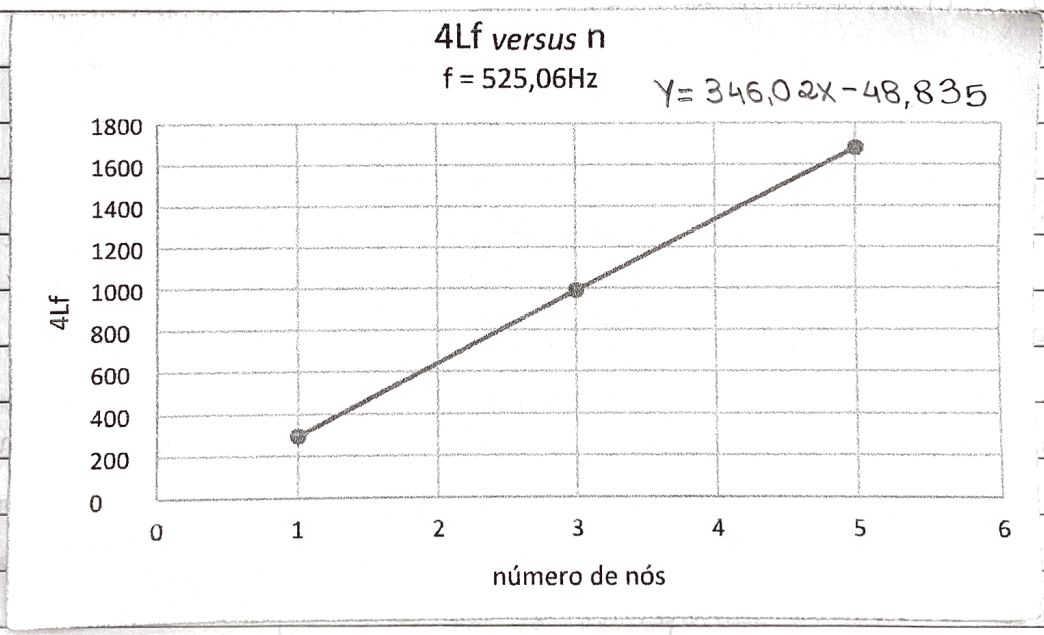
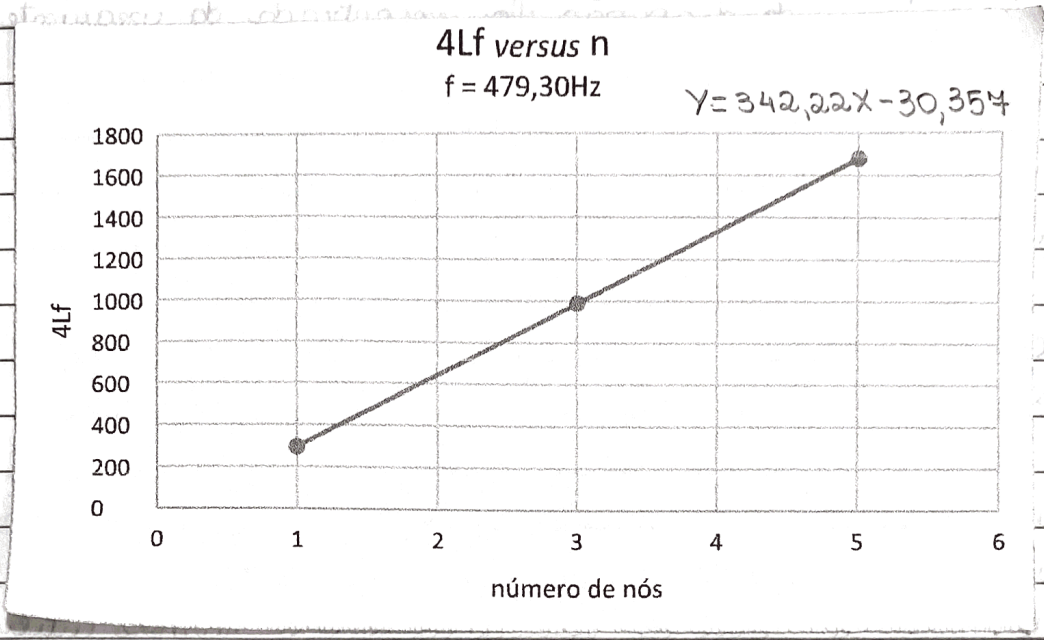
$$\rightarrow v = \lambda \cdot f$$

$$L = n \lambda$$

$$L = n (v/f) \Rightarrow v = 4Lf \therefore \text{gráfico } 4Lf \times n$$







Considerando que o valor conhecido na literatura para a velocidade do som no ar a uma temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  é de aproximadamente  $346\text{ m/s}$ , e que a temperatura ambiente do laboratório era de  $24^{\circ}\text{C}$ , conclui-se que a velocidade encontrada por meio gráfico ( $344,06\text{ m/s}$ ) é mais próxima desse valor e, portanto, tal técnica é mais eficiente e precisa quando comparada ao cálculo pela fórmula  $v = \lambda \cdot f$  (com que  $v = 325,16\text{ m/s}$ ).

—♥—♥—

A frequência de diapasão foi encontrada da seguinte forma:

$$v = \lambda \cdot F \Rightarrow F = \frac{v}{\lambda}$$

assumindo  $v = 344,06 \text{ m/s}$ :

$$F = \frac{344,06}{0,484} = 710,84 \text{ Hz}$$

$$F = \frac{344,06}{0,52} = 661,65 \text{ Hz}$$

Durante toda a discussão, os valores apresentados para a  $v_{\text{som}}$  são equivalentes a  $24^\circ\text{C}$ , que era a temperatura ambiente. Para descobrir a velocidade a  $0^\circ\text{C}$ , vamos utilizar a seguinte expressão:

$$v(T) = v_0 \sqrt{1 + \beta \cdot T}$$

para  $v(24) = 344,06 \text{ m/s}$ , temos:

$$344,06 = v_0 \cdot \sqrt{1 + 24/273} \Rightarrow v_0 = 329,88 \text{ m/s}$$

Este experimento também pode ser montado com um balde de 50 cm de altura e cheio de água, no qual é introduzido um cano de PVC de 60 cm de comprimento e 32 mm de largura, o que possibilita variar o comprimento da coluna, durante com que a audição detecte os pontos de ressonância ao colocar o ouvido na extremidade superior do cano. O diapasão é substituído por um programa de computador.

### Conclusão

A partir do experimento é possível compreender as ondas mecânicas sonoras, desde a formação da onda estacionária até o fenômeno de ressonância. Nota-se também que o cálculo da  $v_{\text{som}}$  pode ser realizado tanto em um laboratório como em sua casa. Além disso, foi possível perceber a influência da temperatura na  $v_{\text{som}}$  no ar.