

ROTEIRO p SIMULAÇÃO: RESSONÂNCIA COM UMA COLUNA DE AR

Prof. Nildo Loiola Dias

1 OBJETIVO

- Determinação da velocidade do som no ar como uma aplicação de ressonância.
- Determinação de uma frequência desconhecida.

2 MATERIAL

- Filme sobre o experimento de ressonância numa coluna de ar em um tubo:

<https://www.youtube.com/watch?v=AxtVGqGETOM>

Neste filme um diapasão vibrando com uma frequência bem definida é colocado na boca de um cano transparente. O comprimento da coluna de ar dentro do cano pode ser variado pela movimentação de um êmbolo. Para uma determinada posição percebemos que a intensidade sonora atinge um máximo. Nesta posição dizemos que ocorre a ressonância.

- Link para uma simulação onde a cavidade ressonante é variada pelo nível da água dentro do cano. É simulado um diapasão com frequência de 440 Hz. Nesta simulação não é considerada a correção de extremidade e a velocidade de 340 m/s corresponde à velocidade do som no ar a uma temperatura de 13,5 °C: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_rezonance&l=pt

- Link para a simulação a ser utilizada nessa prática virtual:

www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/ressonancia-com-uma-cavidade-com-ar

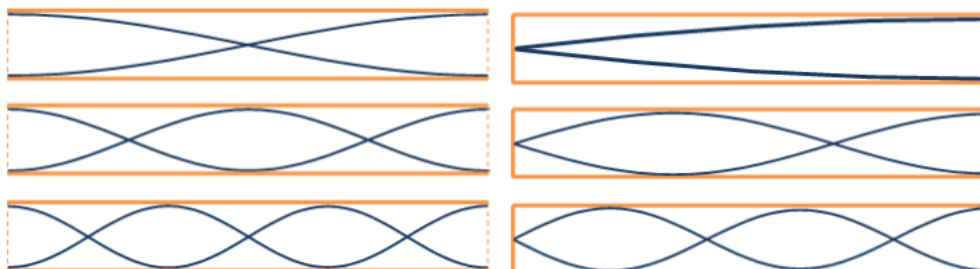
3 FUNDAMENTOS

Cada corda, cada coluna de ar, ou, de modo geral, cada corpo possui uma ou mais frequências naturais de vibração, isto é, frequências em que sua vibração se efetua com maior facilidade, ou seja, com melhor aproveitamento da energia recebida. Em virtude dessa propriedade, se um corpo estiver em repouso e sobre ele incidir uma onda cuja frequência seja igual a uma de suas frequências naturais de vibração, o corpo começa também a vibrar com a frequência considerada. Então se diz que ele está em ressonância com a onda recebida. Assim, um corpo pode reforçar um som com o qual ele se encontra em ressonância.

Encontram-se condições de ressonância em Mecânica, em Ótica, em Física Atômica e Nuclear, etc. Em todos os casos quando o sistema está em ressonância absorverá energia máxima da fonte, e relativamente pouca energia, quando não está em ressonância.

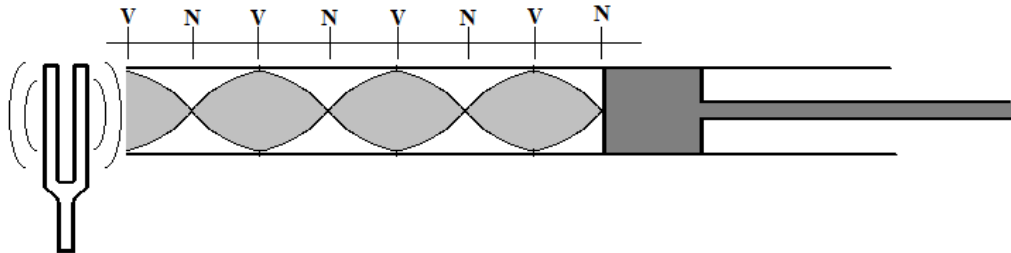
Denomina-se tubo sonoro a toda massa de ar, geralmente limitada por uma superfície cilíndrica fechada que, quando posta a vibrar, produz um efeito sonoro. Os tubos sonoros podem possuir as duas extremidades abertas ou uma de suas extremidades fechadas, Figura 1.

Figura 1. Representação de ondas estacionárias em tubos sonoros: com duas extremidades abertas, e com uma extremidade fechada.



Produzindo-se um som na boca do cano e fazendo-se variar a frequência, chega um instante em que a coluna de ar entra em ressonância, reforçando o som produzido. As ondas sonoras que penetram no cano e as refletidas nas extremidades (há reflexão até mesmo nas extremidades abertas) produzem uma onda estacionária. Na Figura 1 estão representadas as ondas estacionárias dos três primeiros modos de ressonância de cada configuração dos tubos sonoros. Observe a formação de nós de deslocamento (pontos imóveis - onde há interferência destrutiva) e ventres (pontos de deslocamento máximo, onde há interferência construtiva). Na ressonância, há sempre um nó de deslocamento na extremidade fechada e um ventre na extremidade aberta. Na Figura 2 estão indicados os nós e os ventres em um tubo sonoro com uma extremidade fechada.

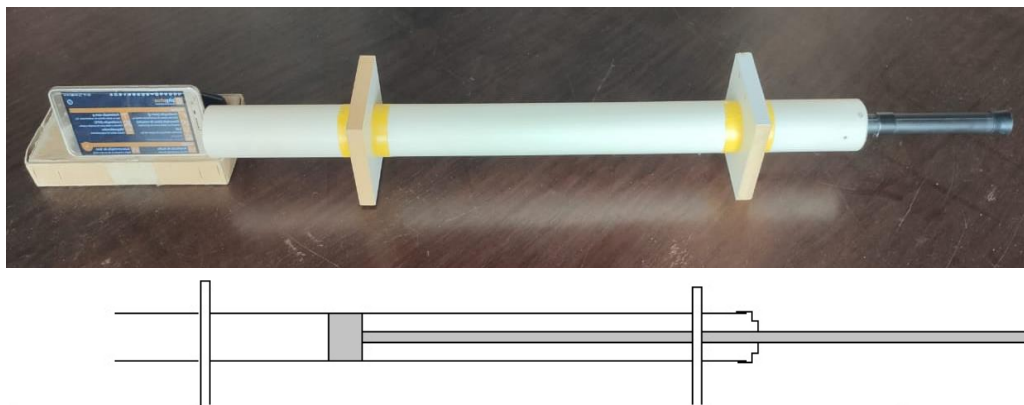
Figura 2. Representação de uma onda estacionária, mostrando os nós e os ventres.



OBS: As ondas estacionárias em um tubo sonoro podem também ser descritas em termos de ondas de pressão; neste caso, numa extremidade fechada haverá um ventre de pressão (ponto onde a pressão sofre variação máxima) e numa extremidade aberta haverá um nó de pressão (ponto onde não há variação de pressão, visto que a pressão será igual à pressão externa).

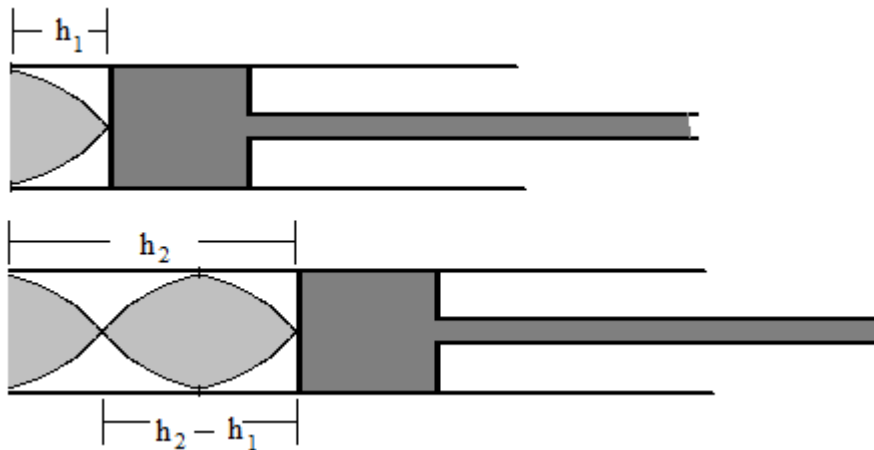
Podemos utilizar a ressonância para medir a velocidade do som no ar. Para isso faz-se variar o comprimento de uma coluna de ar dentro de um tubo fechado em uma das extremidades, Figura 2. No nosso caso usa-se um cano de PVC, Figura 3, no qual o comprimento da coluna de ar pode ser alterado movendo-se um êmbolo localizado no seu interior.

Figura 3. Fotografia do equipamento utilizado em nosso laboratório, figura superior, para a determinação da velocidade do som no ar; na extremidade aberta está posicionado um celular como fonte sonora. Na figura inferior a representação do equipamento mostrando o êmbolo no seu interior.



No experimento realizado em nosso laboratório, utilizamos um celular ou um diapasão para produzir um som de frequência bem definida (o celular deve usar um aplicativo para isso) e, partindo com o êmbolo na boca do cano e aumentando gradativamente o comprimento da coluna de ar dentro do cano, observa-se que a intensidade do som atinge um máximo quando o êmbolo está a uma distância h_1 (Figura 4) da boca do cano: a onda estacionária apresenta um nó na superfície do êmbolo e um ventre na boca* do cano.

Figura 4. Posições onde ocorrem ressonâncias.



Se continuarmos aumentando o comprimento da coluna de ar, a intensidade do som atinge um outro máximo quando o êmbolo está a uma distância h_2 da boca do cano. Neste caso, a onda estacionária apresenta um nó na superfície do êmbolo (em h_2) e um outro nó a uma distância h_1 da boca do cano. Como a distância entre dois nós consecutivos é meio comprimento de onda, temos:

$$h_2 - h_1 = \lambda/2 \quad (1)$$

onde λ é o comprimento de onda do som no ar. Como $v = \lambda f$, resulta:

$$v = 2 (h_2 - h_1) f \quad (2)$$

Já que “ f ” é conhecida (frequência da fonte, no caso um celular ou um diapasão) e h_1 e h_2 podem ser medidos, podemos calcular a velocidade de propagação do som no ar.

***CORREÇÃO DE EXTREMIDADE:** O ventre que se forma na boca do cano não se localiza exatamente nessa posição e sim um pouco para fora, cerca de 0,6 do raio interno do cano, sendo esta distância conhecida como “correção de extremidade”. Devido a esta correção, a distância h_1 medida nessa prática será ligeiramente menor que $\lambda/4$; entretanto a distância entre dois nós consecutivos é sempre igual a $\lambda/2$. Na realidade, $\lambda/4 = h_1 + 0,6R$.

4 PROCEDIMENTOS

Para a realização do experimento virtual será utilizado a simulação:

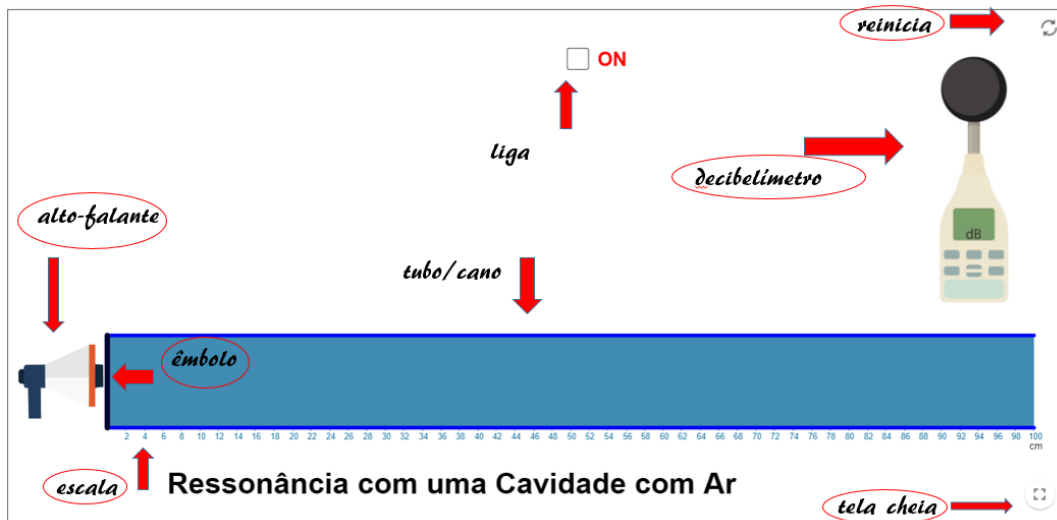
www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/ressonancia-com-uma-cavidade-com-ar

Nesta simulação um alto-falante colocado na boca de um cano produz som com frequência bem definida. A frequência pode ser escolhida no intervalo de 300 Hz à 1000 Hz através de um cursor. Também há a possibilidade de se escolher uma dentre três possibilidades de frequências desconhecidas. Um cursor pode regular o volume do som (intensidade sonora). Um terceiro cursor permite variar a posição de um êmbolo dentro do cano. Ao variar a posição do êmbolo o som varia de intensidade, chegando a uma intensidade máxima nos pontos para os quais há ressonância.

Observação 1: Dependendo da configuração do seu dispositivo (Windows, Linux, Mac, IOS, Android, etc) a simulação pode ou não produzir som, entretanto as posições do êmbolo para as quais há ressonância podem ser identificadas observando o decibelímetro virtual (que indica a intensidade sonora) situado à direita. Assim, para cada posição do cursor do volume, o decibelímetro indicará um valor máximo quando o êmbolo estiver em uma posição para a qual há ressonância.

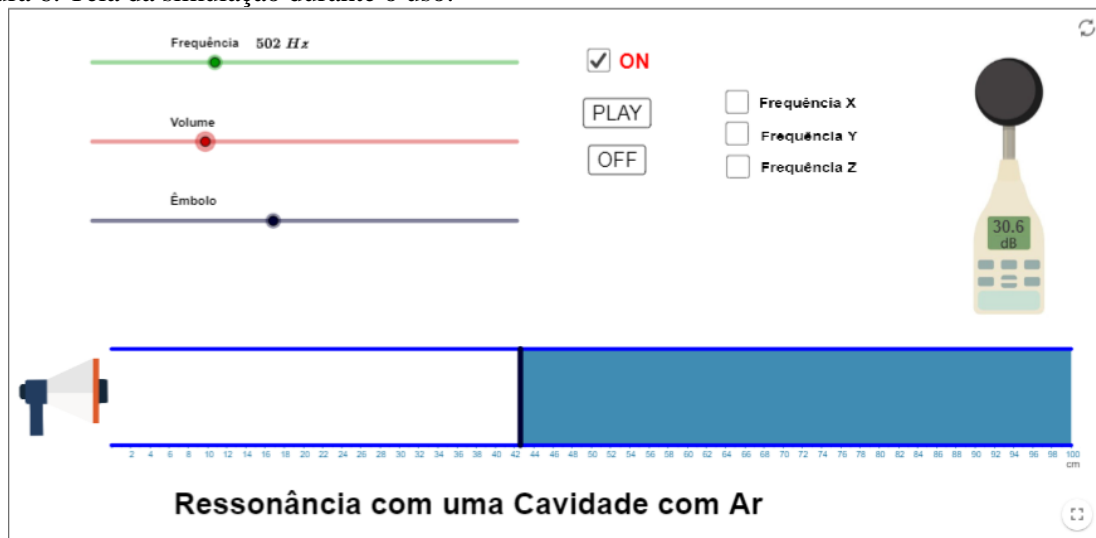
Na Figura 5 mostramos a tela inicial da simulação e a indicação dos principais elementos. Na Figura 6 mostramos a simulação após escolher uma frequência (502 Hz), colocar o volume numa posição qualquer e deslocar o êmbolo de modo a formar uma cavidade.

Figura 5. Indicação dos elementos da simulação.



Para iniciar a simulação clique em **ON**. Ao acionar **ON** aparecerão os demais elementos sobrepostos à janela inicial, conforme mostrado na Figura 8.6. Três barras horizontais coloridas representando a frequência (verde), o volume sonoro (vermelho) e a posição do êmbolo (cinza) aparecerão. Para alterá-los segure e arraste a bolhinha colorida sobre a barra. Os ícones **PLAY** e **OFF** referem-se ao volume do som (veja a **Observação 1** acima). Três opções de frequências desconhecidas: Frequência X, Y e Z também são apresentadas. Ao selecionar uma das frequências desconhecidas, a barra verde desaparecerá, pois a frequência produzida pelo alto-falante será a frequência desconhecida escolhida. A cavidade com ar aparecerá à medida que o êmbolo for deslocado, como é mostrado na Figura 6.

Figura 6. Tela da simulação durante o uso.



PROCEDIMENTO 1: Determinação da velocidade do som no ar para uma frequência de 460 Hz.

- 1.1. Acione o ícone **ON** na página inicial.
- 1.2. Ajuste (arrastando a bolhinha verde) a frequência do Gerador de Frequência (alto-falante) para 460 Hz.

1.3. Ajuste, se necessário, (arrastando a bolinha vermelha) a intensidade sonora na barra do Volume, até que você o escute. Caso não escute o som veja a **Observação 1** acima.

1.4. Movimente o êmbolo (arrastando a bolinha cinza) de modo a aumentar o comprimento da coluna de ar no tubo/cano. Fique atento à intensidade sonora ou observe seu valor no decibelímetro digital. Quando a intensidade atingir um máximo leia na escala do tubo/cano o comprimento h_1 e anote na Tabela 1. Repita o procedimento de modo a obter h_2 e h_3 .

Tabela 1. Posições de ressonância para a frequência de 460 Hz.

h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)

PROCEDIMENTO 2: Determinação da velocidade do som no ar para uma frequência de 580 Hz.

2.1. Acione o ícone **ON** na página inicial.

2.2. Ajuste (arrastando a bolinha verde) a frequência do Gerador de Frequência (alto-falante) para 580 Hz.

2.3. Ajuste, se necessário, (arrastando a bolinha vermelha) a intensidade sonora na barra do volume até que você o escute. Caso não escute o som, veja a **Observação 1** acima.

2.4. Movimente o êmbolo (arrastando a bolinha cinza) de modo a aumentar o comprimento da coluna de ar no tubo/cano. Fique atento à intensidade sonora ou observe seu valor no decibelímetro digital. Quando a intensidade atingir um máximo leia na escala do tubo/cano o comprimento h_1 e anote na Tabela 2. Repita o procedimento de modo a obter h_2 e h_3 .

Tabela 2. Posições de ressonância para a frequência de 580 Hz.

h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)

PROCEDIMENTO 3: Determinação de frequências desconhecidas.

3.1. Repita o procedimento anterior utilizando as Frequências X, Y e Z para obter os valores de h_1 , h_2 e h_3 (alguns valores podem não ser possível determinar). Anote os resultados na Tabela 3.

Tabela 3. Posições de ressonância para as frequências desconhecidas.

	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)
Frequência X			
Frequência Y			
Frequência Z			

5 QUESTIONÁRIO

1. Determine a velocidade média do som como indicado na tabela abaixo:

Velocidade do Som, V (m/s)		
	460 Hz	580 Hz
A partir dos valores de h_1 e h_2		
A partir dos valores de h_2 e h_3		
Valor médio		

2. A simulação considera a temperatura ambiente local 25 °C. Calcule a velocidade teórica do som no ar utilizando a equação termodinâmica para essa temperatura:

$$V = 331 + \frac{2}{3}T \quad (\text{em m/s})$$

onde T é a temperatura ambiente, em graus Celsius durante o experimento. (A velocidade do som no ar a 0 °C vale 331 m/s. Para cada grau Celsius acima de 0 °C, a velocidade do som aumenta 2/3 m/s).

3. Calcule o erro percentual entre o valor da velocidade de propagação do som no ar obtido experimentalmente (Questão 1) e o calculado teoricamente (Questão 2).

4. Considere o diâmetro interno do cano/tubo 6,0 centímetros. A partir dos valores medidos de h_1 , determine a velocidade do som para as duas frequências (460 e 580 Hz) com e sem a **CORREÇÃO DE EXTREMIDADE** (ver seção 3 FUNDAMENTOS).

Velocidade do Som, V (m/s)		
	460 Hz	580 Hz
Sem CORREÇÃO DE EXTREMIDADE		
Com CORREÇÃO DE EXTREMIDADE		

5. Quais os valores das frequências desconhecidas? Considere a velocidade do som teórica determinada na Questão 2. Mostrar os cálculos.

6. Nesta prática, foram observadas “experimentalmente” três posições de máximos de intensidade sonora para as frequências de 460 Hz e 580 Hz. Calcule as posições esperadas para o quarto e o quinto máximos de intensidade sonora para cada frequência. Considerando o comprimento total do cano/tubo, esses máximos poderiam ser observados com o tubo/cano utilizado nesta “experiência”? Justifique.

7. Quais seriam os valores de h_1 , h_2 e h_3 se o som tivesse a frequência de 880 Hz? Considere a velocidade do som teórica determinada na Questão 2. Mostrar os cálculos. (Não considerar a correção de extremidade).