

Trabalho 7 – Ondas estacionárias

1. Objectivos

Observar experimentalmente diversas situações em que são geradas ondas estacionárias.

Aprofundar a compreensão dos conceitos de sobreposição de ondas e de ressonância.

Estudar e compreender as várias dependências entre os parâmetros envolvidos.

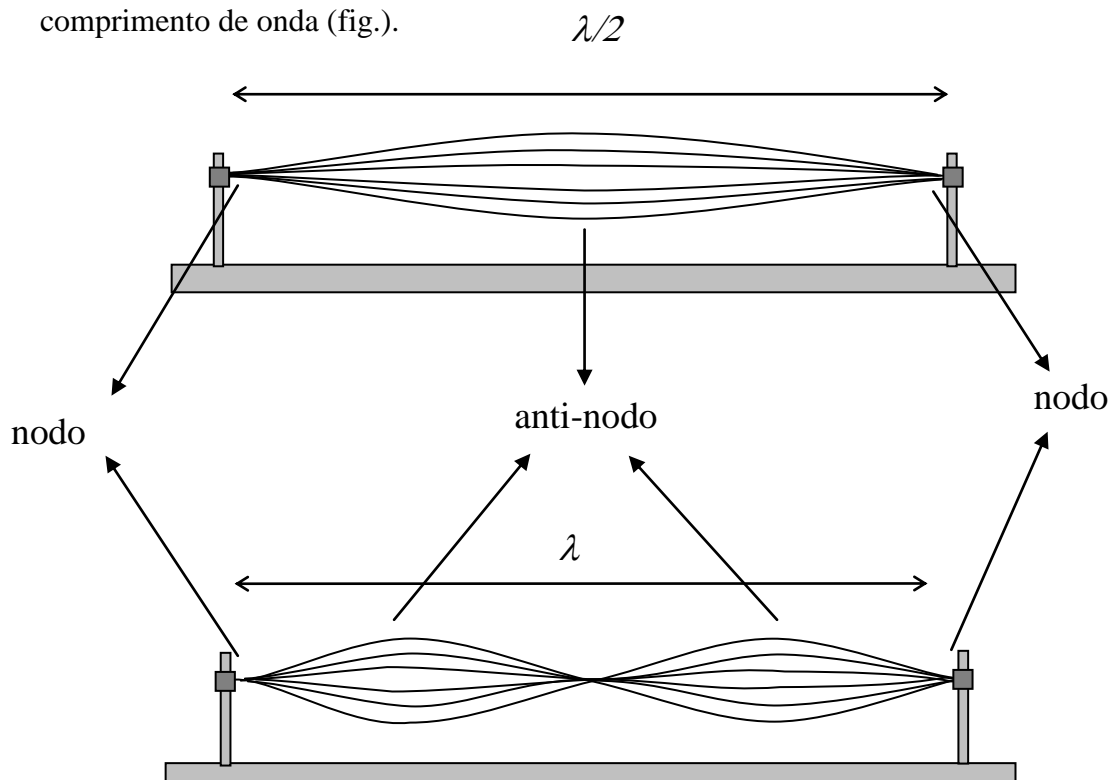
PARTE A – Corda vibrante

A2. Fundamentos

Quando um fio, com as extremidades fixas, é colocado em vibração, as reflexões originadas em ambas as extremidades originam ondas que se propagam na mesma direcção mas em sentidos opostos. Estas ondas combinam-se de acordo com o princípio da sobreposição. Para um dado comprimento do fio existem certas frequências para as quais a sobreposição das ondas dá origem a uma onda denominada **onda estacionária**.

Neste tipo de ondas existem pontos em que a amplitude de vibração é nula. Estes pontos são denominados **nodos**. Entre cada par de nodos, existem pontos de máxima amplitude de vibração denominados **anti-nodos**.

O número de nodos que se formam entre as duas extremidades depende do comprimento de onda (fig.).



A velocidade de propagação das ondas transversais no fio, sujeito a uma certa tensão, pode ser calculada através da equação:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (7.1)$$

em que T corresponde à tensão no fio e μ à massa do fio por unidade de comprimento.

Se f for a frequência da onda e λ o seu comprimento de onda, então:

$$v = f\lambda \quad (7.2)$$

Usando a equação 7.1 obtém-se:

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (7.3)$$

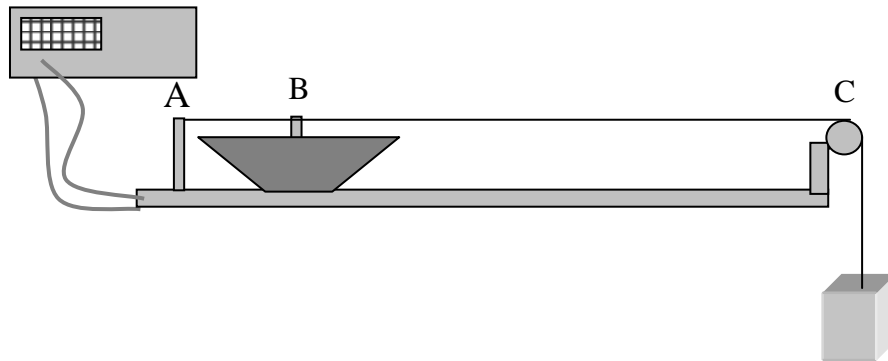
$$f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (7.4)$$

em que l representa o comprimento do fio, que se encontra relacionado com λ através da expressão

$$l = n \frac{\lambda}{2} \quad (7.5)$$

com $n = 1, 2, 3, \dots$

Para estudar experimentalmente a dependência da frequência de ressonância da onda estacionária com a tensão aplicada na corda usa-se, neste trabalho, a montagem esquematizada na figura seguinte:



Um fio é esticado entre os pontos A e C; ao ponto B é ligado um altifalante que permite transmitir à corda uma vibração com uma frequência previamente escolhida; a tensão no fio é controlada suspendendo um corpo na corda.

A3. Sugestões de procedimento

Coloque diferentes massas na extremidade livre do fio de modo a variar de forma controlada a tensão (nota : $T = mg$).

Para cada valor de tensão, obtenha um sistema de ondas estacionárias com frequência diferente: para tal ajuste o gerador de sinal (o que na prática permitirá visualizar um diferente número de anti-nodos para cada valor de frequência da onda estacionária). Registe a frequência e o número de anti-nodos da onda estacionária gerada desta forma (para cada valor de tensão do fio, registe o número de anti-nodos obtidos para pelo menos cinco valores diferentes de frequência).

Verifique se os dados experimentais se encontram em concordância com a equação (7.4), recorrendo, para o efeito, a um gráfico de $f = g(n)$.

Através dos gráficos obtidos, determine o valor da tensão no fio e compare com o valor medido.

Para cada caso, calcule os valores da frequência e compare com os valores lidos no gerador.

PARTE B – Tubo de Kundt

B2. Fundamentos

Nesta experiência ondas longitudinais produzidas numa haste ou barra fina são transmitidas a uma coluna de gás contida num tubo (*Tubo de Kundt*). O objectivo da experiência é determinar a velocidade de propagação da onda na barra e/ou no gás, usando as propriedades do movimento ondulatório.

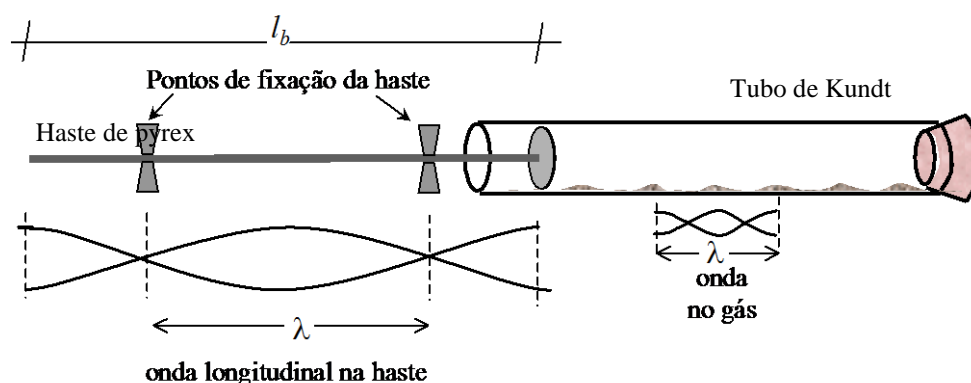


Figura B1 – Montagem experimental utilizada para a determinação da velocidade de propagação do som, utilizando um tubo de Kundt.

O tubo transparente, fechado numa das extremidades, contém um pó fino distribuído uniformemente ao longo do seu comprimento. Quando uma onda sonora é gerada dentro do tubo, o ar vibra e o pó movimenta-se.

Se o comprimento do tubo (distância entre a placa na extremidade da barra e a extremidade fechada do tubo) for igual a um número inteiro de $\lambda_{ar}/2$, uma onda estacionária é criada no tubo e o pó acumula-se em determinados pontos – *os nodos* – onde a pressão é mais baixa. Medindo a distância entre nodos pode-se determinar o comprimento de onda no gás (λ_{ar}).

Se a velocidade de propagação do som no gás (v_{ar}) na barra (v_b) for conhecida a frequência da onda (f) pode ser calculada:

$$v_{ar} = \lambda_{ar} f \quad (7.6)$$

E como a frequência da onda na barra é igual à frequência da onda no gás, fica:

$$f = \frac{v_{ar}}{\lambda_{ar}} = \frac{v_b}{\lambda_b} \quad (7.7)$$

Repare que a barra é móvel, permitindo ajustar o comprimento útil do tubo (ver figura) de forma a obter uma onda estacionária.

Nesta experiência a onda é gerada pela vibração da barra de um material para o qual a velocidade de propagação do som é eventualmente (dê)conhecida. Esta barra tem acoplado um disco, que funciona como fonte geradora da onda que se propaga no tubo.

Esfregando a barra com um papel molhado em álcool, criam-se oscilações longitudinais. Se os pontos de fixação forem bem escolhidos é possível gerar ondas estacionárias na barra cujo comprimento de onda (e por isso também a frequência) depende da posição dos pontos fixos. Nesta experiência a barra deve ser fixada a $1/4$ e $3/4$ do seu comprimento l_b . Estes pontos são obrigatoriamente nodos da oscilação, enquanto o centro e os extremos da barra são pontos de amplitude máxima – antinodos, ou seja, o comprimento da barra l_b corresponde ao comprimento de onda λ_b (ver figura).

Como vimos a partir da equação (7.7), o cálculo da velocidade do som no gás/sólido é imediato, uma vez conhecida a velocidade de propagação num deles:

$$v_{ar} = \frac{\lambda_{ar}}{\lambda_b} v_b \quad (7.8)$$

De lembrar ainda que a velocidade do som num gás ideal depende da temperatura (T), da massa molecular (M) e do expoente adiabático (γ), de acordo com:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}} \quad (7.9)$$

Então, a velocidade do som no ar pode aproximar-se por:

$$v_{ar} = (331.45 + 0.6T[^\circ C]) \text{ m/s} \quad (7.10)$$

B3. Sugestão de procedimento experimental

B3.1 Cuidados a ter na execução da experiência

Em toda a execução deste trabalho é fundamental que todos os movimentos sejam feitos com muito cuidado. O tubo e a barra são frágeis, e como estão fixos em determinadas zonas, qualquer movimento mais brusco pode facilmente quebrar uma das peças da experiência.

Verifique que o disco não toca nas paredes do tubo – se tal acontecer, quando provoca a vibração da barra pode quebrar o tubo.

Durante a experiência, quando friccionar a barra não a desloque dos apoios.

B3.2 Execução da experiência

Distribua uniformemente o pó ao longo de todo o comprimento do tubo. Coloque o tubo no suporte e rode-o ligeiramente ($\sim 45^\circ$) para permitir visualizar a onda estacionária no seu interior.

Friccione a barra, provocando uma onda sonora no tubo. Verifique se a onda é estacionária. Se for necessário, desloque a barra fina, variando o comprimento útil do tubo, até observar que obtém uma onda estacionária no seu interior. Deve conseguir obter uma figura no pó semelhante à esquematizada na figura B1.

Meça a separação entre diversos máximos e/ou mínimos, no interior do tubo.

Meça o comprimento da barra fina. Meça a temperatura da sala.

Repita a experiência até ter confiança nos valores medidos.

Repita a experiência com a outra barra.

B4. Algumas questões e resultados da experiência

Determine a velocidade do som no ar. Confira posteriormente os valores utilizados para a velocidade do som nos outros meios utilizados. Compare com os valores da literatura.

Se variar a força com que fricciona a barra, qual a característica da onda que varia?

Como se poderia variar a frequência do som produzido no tubo?

Justifique a existência de ondas estacionárias no tubo.

Justifique a equação (7.10).

PARTE C – Coluna de água

C2. Fundamentos

Quando um som é emitido num meio gasoso propaga-se em ondas longitudinais, a partir da fonte com uma velocidade de propagação característica do meio em causa e das condições de pressão e temperatura.

Nesta experiência uma onda sonora, de frequência conhecida, é emitida por um alto-falante fixo sobre um tubo aberto, parcialmente cheio com água. A quantidade de água no tubo pode ser facilmente ajustada, fazendo variar a altura da coluna de ar onde se pretende medir a velocidade de propagação da onda emitida.

Para uma frequência emitida, f , existem várias alturas da coluna de ar a que correspondem situações de ressonância. Se enquanto a onda está a ser emitida, se fizer variar o nível da água é possível encontrar as posições em que ocorre ressonância, pela alteração da intensidade do som ouvido.

Como numa situação de ressonância a altura da coluna de ar é um múltiplo de metade do comprimento de onda, o comprimento de onda, λ_{ar} , pode ser determinado a partir de duas ou três situações de ressonância consecutivas (ver figura C1).

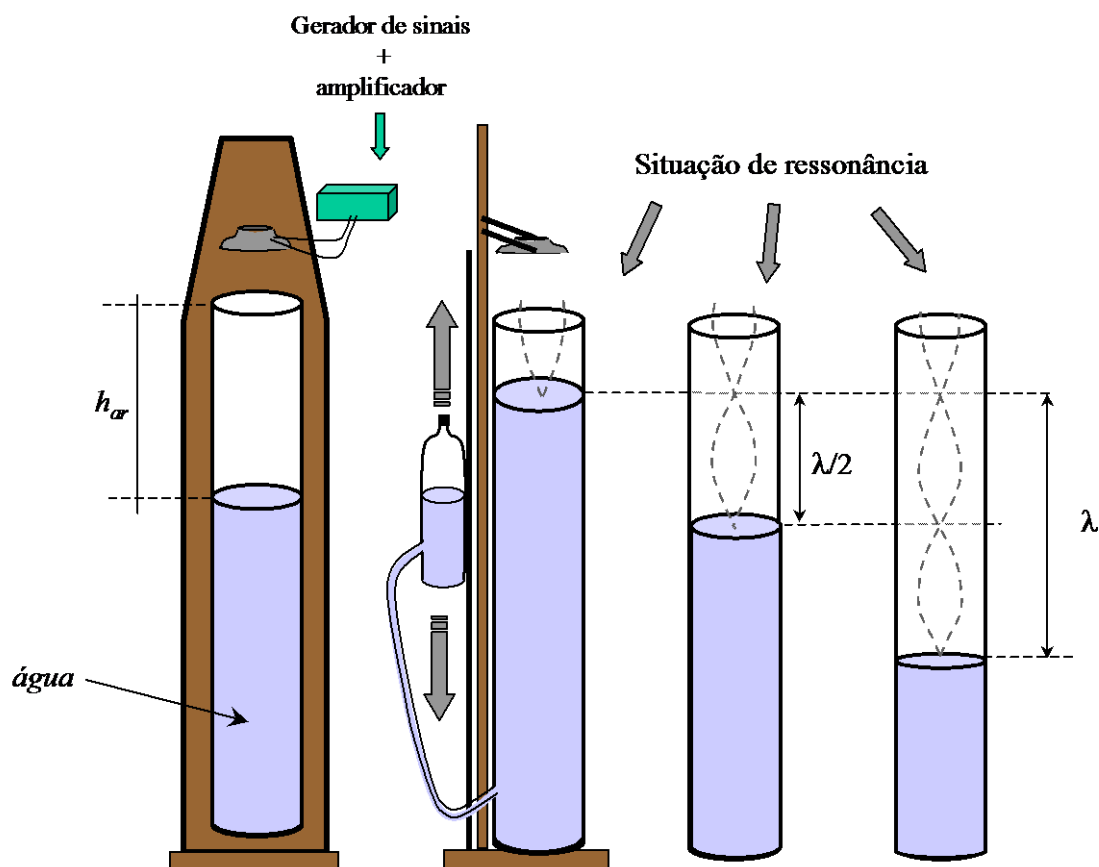


Figura C1 – Montagem experimental utilizada para a determinação da velocidade de propagação do som.

A velocidade de propagação no ar, nas condições de pressão e temperatura do laboratório, pode então ser calculada por:

$$v_{ar} = \lambda_{ar} f \quad (7.11)$$

C3. Sugestão de procedimento experimental

Ligue o gerador de sinal ao alto-falante. Escolha uma frequência de onda na gama 300 a 1300 Hz. Ajuste a intensidade do som no amplificador.

Movimente o depósito cuidadosamente, fazendo variar a altura da coluna de ar, até encontrar uma situação de ressonância. Marque no espelho, com uma caneta a altura correspondente. Desloque levemente o depósito para cima e para baixo em torno dessa posição. Verifique se a posição marcada é correcta.

Procure a 2ª posição de ressonância. Repita o procedimento anterior.

Procure a 3ª posição de ressonância. Repita o procedimento anterior.

Repita os passos 2, 3 e 4 para mais dois ou três valores de frequência na mesma gama.

C4. Algumas questões e resultados da experiência

Determine a velocidade de propagação do som no ar.

Compare os vários métodos presentes neste trabalho, evidenciando os principais méritos e as principais dificuldades experimentais associadas a cada um deles.

ANEXO A

Velocidade de propagação do som em vários meios

GASES

MATERIAL	V(M/S)
Hidrogénio (0°C)	1286
Hélio (0°C)	972
Ar (20°C)	343
Ar (0°C)	331
CO ₂ (0°C)	259

LÍQUIDOS A 25°C

MATERIAL	V(M/S)
Glicerol	1904
Água salgada	1533
Água	1493
Mercúrio	1450

SÓLIDOS

MATERIAL	V(M/S)
Diamante	12000
Vidro (Pyrex)	5640
Vidro (Flint)	4000
Ferro	5130
Cobre	3560
Latão	4700
Alumínio	5100