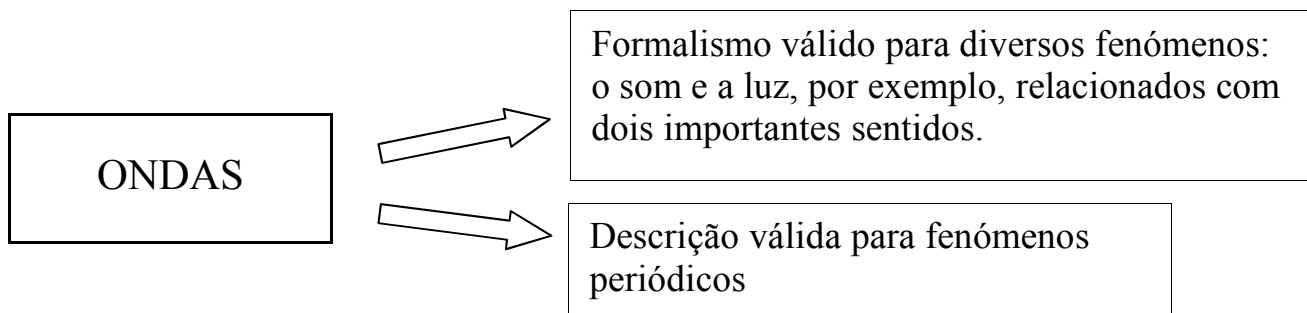


ONDAS ACÚSTICAS



ALGUNS CONCEITOS RELACIONADOS COM AS ONDAS

Amplitude

- Uma onda não é mais do que a propagação de uma perturbação no meio, que permite a condução de energia sem que haja transferência de massa. À intensidade dessa perturbação, dá-se o nome de amplitude.

Frequência

- A frequência de uma onda, ν , é definida como o número de ciclos que esta executa por unidade de tempo. É dada em hertz (H) ou s^{-1} .

Período

- O período é definido como o tempo que a onda demora a executar um ciclo e, portanto, é o inverso da frequência.

$$T = \frac{1}{\nu}$$

Comprimento de onda

- O comprimento de onda, λ , é definido como espaço percorrido por uma onda durante um período.

Velocidade de propagação

- Tendo em conta a definição de comprimento de onda e de período, a velocidade de propagação é dada por:

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

Frequência angular

- Uma outra definição importante no formalismo das ondas é a frequência angular. Esta grandeza tem informação redundante relativamente à frequência da onda, mas as suas unidades são angulares: rad s^{-1} .

$$\omega = 2\pi\nu$$

Número de onda

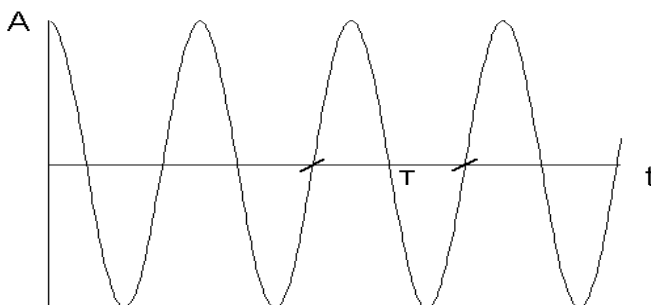
- Existe a grandeza análoga relativamente ao comprimento de onda, à qual se dá o nome de número de onda e que tem como unidade rad s^{-1} .

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Fase

- Assumindo que um ciclo completo pode ser representado por um ângulo de 360° . A fase de uma onda é a situação em que esta se encontra, dada em radianos.

Representação gráfica



Representação matemática

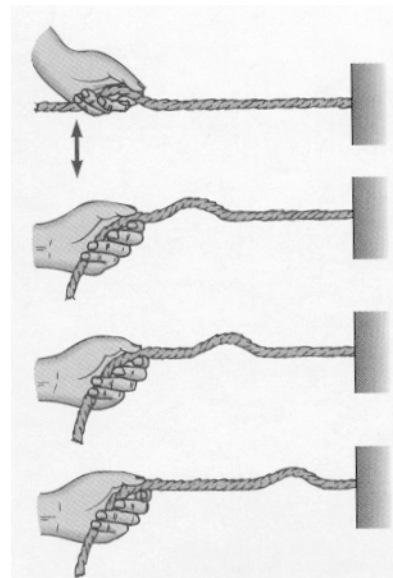
$$\begin{aligned}\psi(t) &= A \operatorname{sen}(kx - \omega t + \phi) = A \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - 2\pi\nu t + \phi\right) = A \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t + \phi\right) = \\ &= A \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - ct) + \phi\right)\end{aligned}$$

- As ondas podem ser longitudinais ou transversais. Na primeira a perturbação do meio tem a mesma direcção da propagação da onda, na segunda, é perpendicular a esta.

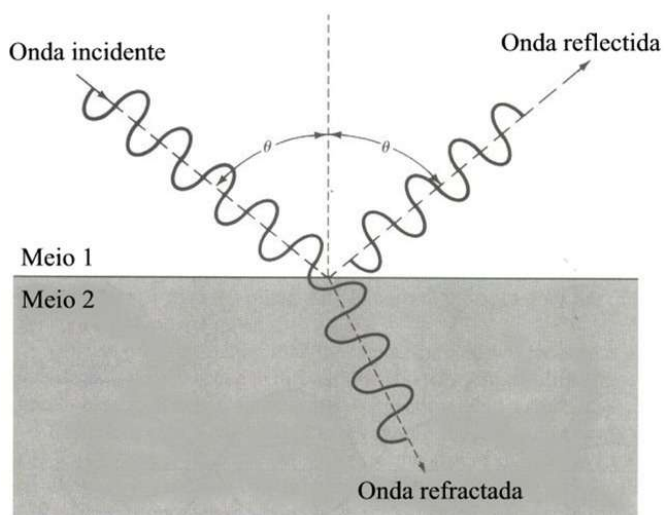
Longitudinais



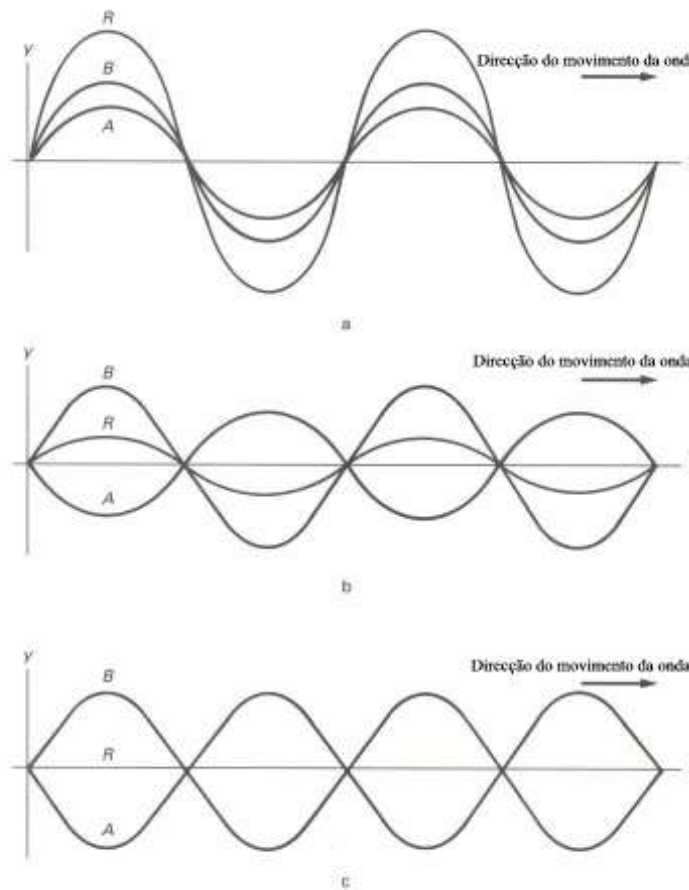
Transversais



- As ondas apresentam um comportamento distinto quando atravessam a interface entre dois meios. Nessa situação, em geral, parte da onda é reflectida.
- Quando as irregularidades da superfície de separação entre os dois meios são pequenas relativamente ao comprimento de onda essa reflexão é especular, caso contrário é difusa (raio de luz sobre um espelho no 1º caso, ou sobre um papel no 2º).
- Sofre ainda refacção:



- A soma de ondas é vectorial. Por isso, quando duas ou mais ondas se propagam no mesmo meio observam-se fenómenos de interferência.



Exemplos de interferência construtiva, genérica e destrutiva.

- Quando as ondas que interferem não têm a mesma frequência, o resultado é, em geral, muito complexo!

Ondas sonoras - exemplo de ondas mecânicas

- Como as ondas sonoras apresentam amplitudes numa gama muito larga. A sua intensidade é dada em dB (decibel):

$$dB = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

- A intensidade do som relaciona-se com a pressão máxima que o meio de propagação sofre através da relação:

$$I = \frac{P_{\text{máx}}^2}{2\rho c}$$

- Pelo que o decibel pode também tomar a forma:

$$dB = 20 \log \frac{P_{\text{máx}}}{P_{\text{máx}_0}}$$

- O comportamento acústico de um meio é descrito, em parte, pela sua impedância acústica e define-se através da expressão:

$$Z = \rho c$$

- Ao considerar uma onda sonora que incide perpendicularmente numa superfície, a fracção de energia incidente que é reflectida (ou coeficiente de reflexão) é dada por:

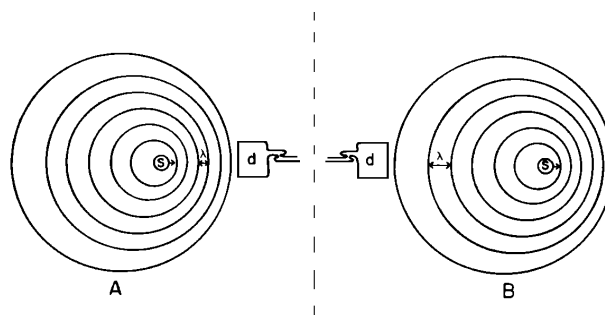
$$\alpha_R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

- O coeficiente de transmissão (fracção da energia incidente que é transmitida) é definido como:

$$\alpha_T = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Efeito de Doppler

- O efeito de Doppler corresponde a uma alteração da frequência de uma onda, devido ao movimento relativo entre a fonte e o sensor.



- Após um intervalo de tempo t depois da criação de uma determinada frente de onda, a distância entre a frente de onda e a fonte é de:

$$(c - v_s)t$$

- O comprimento de onda na direcção do movimento é diminuído para:

$$\lambda = \frac{c - v_s}{v_0}$$

- E, portanto, a variação de frequência é dada por:

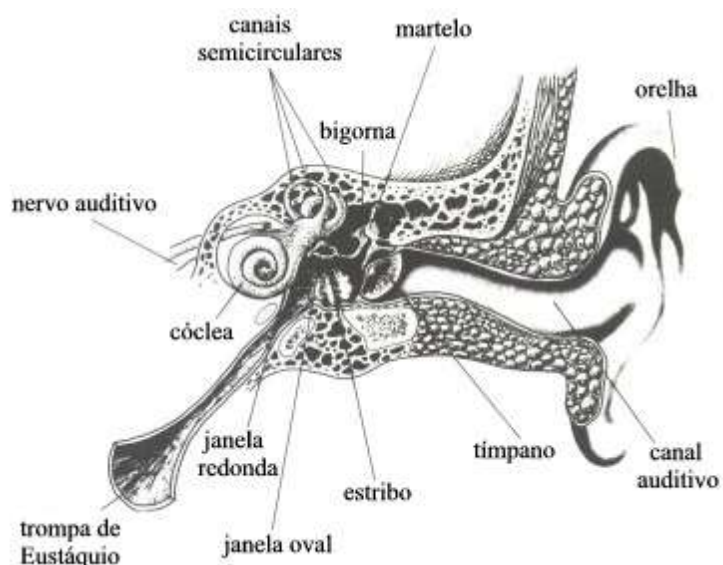
$$\Delta v = v_0 \left(\frac{v_s}{c - v_s} \right) \text{ ou, admitindo que } v_s \text{ é muito menor que } c: \Delta v = v_0 \left(\frac{v_s}{c} \right)$$

- No caso mais geral, em que o feixe não tem a direcção do movimento e em que o desvio é causado pelo movimento de um objecto reflector móvel, a variação da frequência vem:

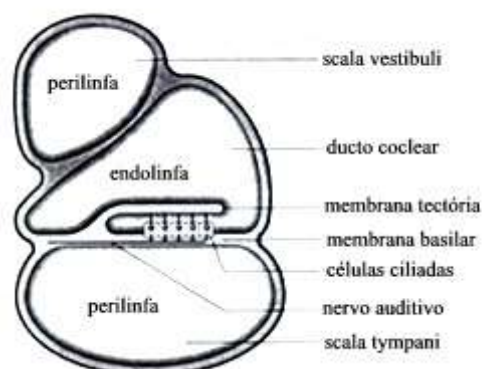
$$\Delta v = 2v_0 \left(\frac{v}{c} \right) \cos \vartheta$$

Funcionamento do ouvido humano

- O ouvido divide-se em 3 partes: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno.

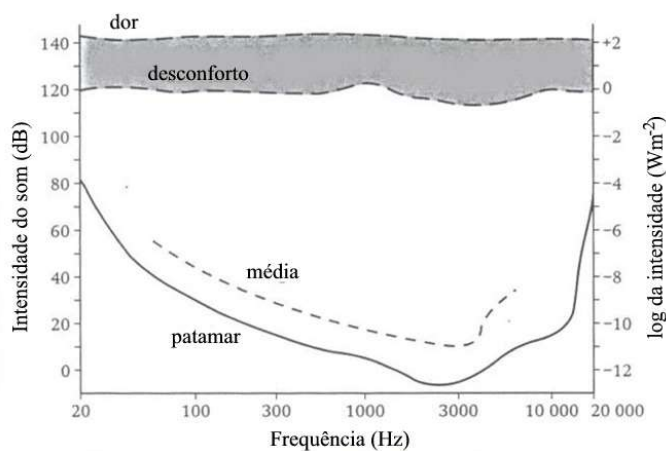


- Há alguns factos muito curiosos a realçar no funcionamento do ouvido:
 1. O canal auditivo tem dimensões tais que funciona como uma cavidade de ressonância para frequências na ordem de 3000 Hz, frequência típica do discurso oral.
 2. Tanto o ouvido externo, como o ouvido médio estão construídos de modo a amplificar o sinal (aumento da pressão).
 3. A trompa de Eustáquio é responsável pela manutenção da pressão atmosférica no interior do ouvido interno.
 4. Existem dois músculos no ouvido médio que atenuam as baixas frequências e intensidades de som excessivas (quando estas são graduais ou quando têm origem no nosso próprio discurso).
 5. Os ossículos funcionam como adaptadores de impedância acústica (entre o ar do ouvido externo e o fluido do ouvido interno).
 6. Os canais semicirculares dão informação ao cérebro a respeito da posição e do movimento da cabeça, estando relacionados com o equilíbrio.
 7. As células ciliares da cóclea estão de tal forma organizadas que as que se encontram mais próximas da base da cóclea são sensíveis às frequências mais altas, enquanto que as que se encontram mais próximas do ápex são sensíveis às frequências mais baixas.
 8. A janela redonda permite dissipar o excesso de energia das ondas que se propagam através da cóclea.



- O normal funcionamento do ouvido humano permite sermos sensíveis a frequências que vão desde 20 Hz até 20 000 Hz nos adultos. Esta capacidade é diminuída com o passar dos anos.

- O nosso ouvido consegue detectar diferenças de som na ordem de 0.1% da frequência considerada.



Nível do som (dB)	Situação
0	Som mínimo audível
10	Movimento das folhas das árvores
20	Uma rua com pouco movimento
30	Sussurro
40	Conversação
50	Ruído médio de uma casa
60	Conversação (de um indivíduo para outro que se encontra a 1 m)
70	Ruído no interior de uma loja de grandes dimensões
80	Ruído de uma estrada com grande movimento a 18 m
85	Primeiro nível de perigo
90	Ruído no interior de um camião ou de um metropolitano
100	A 8 m de um camião numa rua estreita
110	A 1 m de um grupo <i>rock</i> ou a 15 m de um apito de comboio.
120	A 175 m de um avião
130	A 35 m de um avião a jacto