

Bioacústica

Bioacústica

- Refere-se à investigação da produção, captação e propagação do sinal sonoro através de um meio elástico, tendo grande aplicação no estudo comportamental dos animais, principalmente da espécie humana.
- Envolve todos os aspectos relacionados com a produção e detecção sonora dos sinais acústicos, e com o meio pelo qual se propagam.



Ondas

- São perturbações transmitidas através do vácuo ou de um meio gasoso, líquido ou sólido.
- Transmitem energia de um ponto a outro; algumas vezes por grandes distâncias sem necessariamente haver transporte de matéria.
- Tipos de ondas:

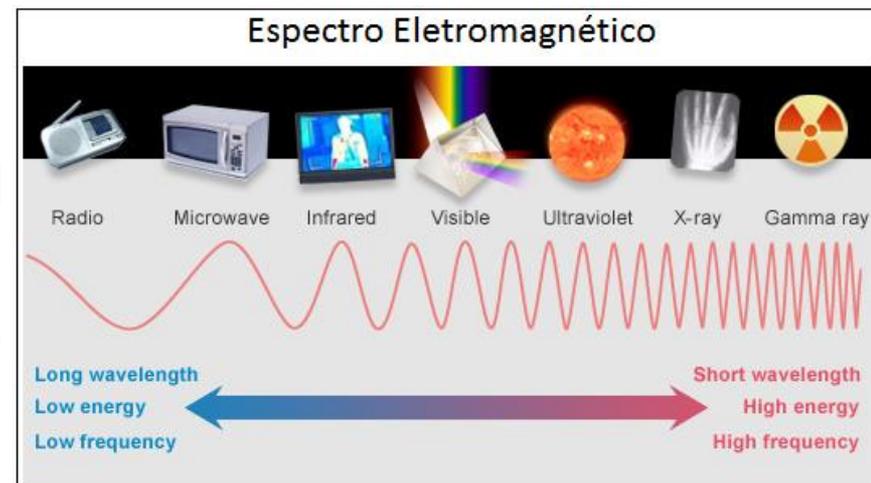
➤ **Mecânicas:**

- se propagam em meios deformáveis ou elásticos
- se originam de uma perturbação no meio, que se propagam de um ponto a outro
- Ex.: ondas na água, **ondas sonoras**



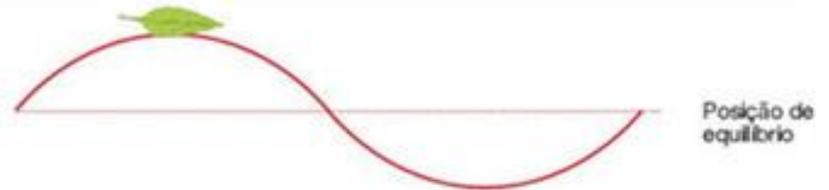
➤ **Não mecânicas:**

- não necessitam de um meio material para sua propagação
- Ex: Ondas eletromagnéticas - **luz visível**, raios X, micro-ondas.

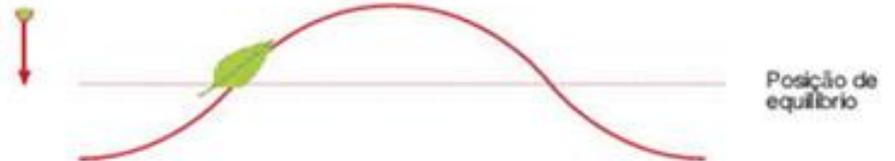




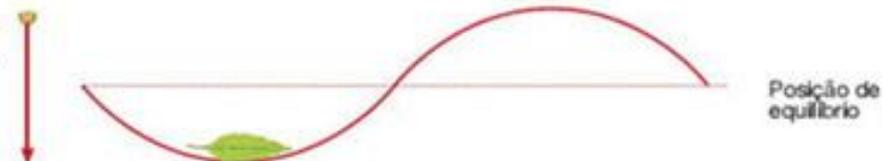
• Num dado momento vês a **folha** acima da posição de equilíbrio.



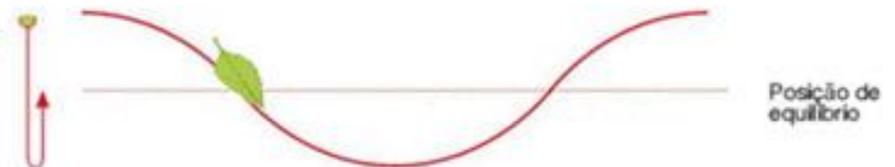
• A **folha** que desceu passa agora pela posição de equilíbrio.
1/4 de vibração



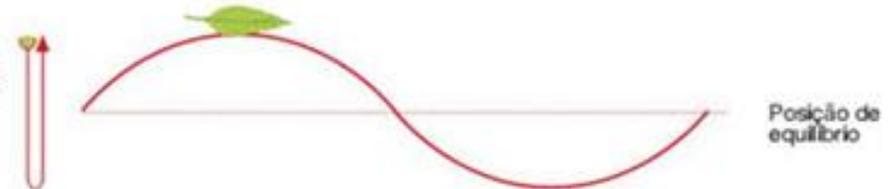
• A **folha** que continuou a descer encontra-se agora na posição mais baixa em relação à posição de equilíbrio.
2/4 de vibração



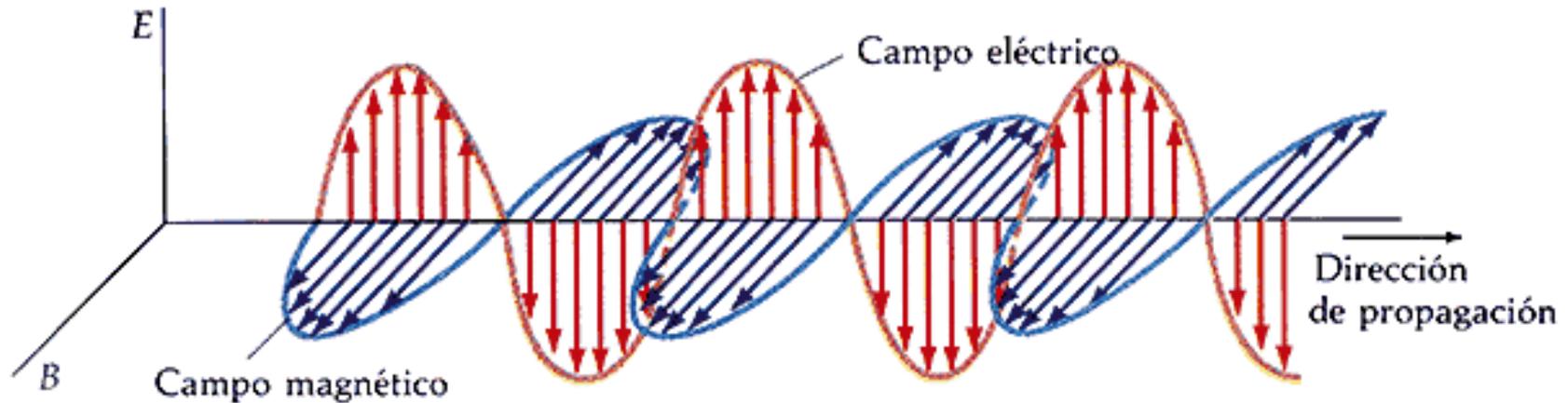
• A **folha**, ao subir, passa de novo na posição de equilíbrio.
3/4 de vibração



• Após algum tempo vês de novo a **folha** na posição mais alta em relação à posição de equilíbrio.
1 vibração

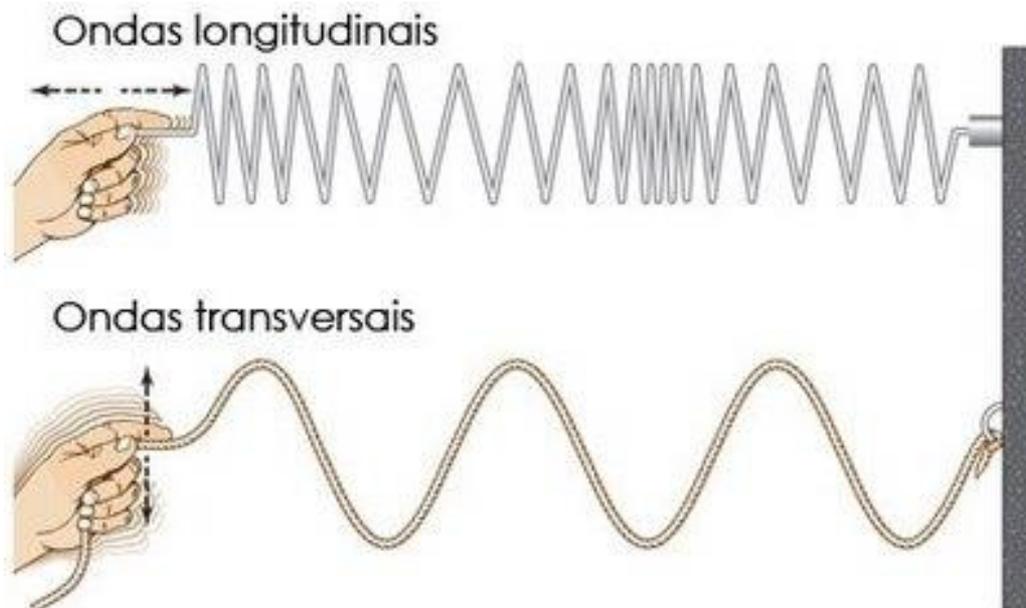


Ondas eletromagnéticas - Luz



- São formadas pela combinação de campos elétricos e magnéticos variáveis;
- O campo eléctrico e o campo magnético são perpendiculares;
- O campo eléctrico e o magnético são perpendiculares à direção de propagação, o que significa que são ondas transversais;
- A velocidade de propagação dessas ondas no vácuo é $c = 3 \cdot 10^8$ m/s;
- Ao propagar em meios materiais, a velocidade obtida é menor do que quando a propagação ocorre no vácuo.

- Analisando a direção de perturbação e a direção da propagação, classificamos as ondas em:
 - **Longitudinais:** a perturbação é paralela à direção de propagação. Ex.: ondas na mola, **ondas sonoras**.
 - **Transversais:** a perturbação é perpendicular à direção de propagação. Ex.: ondas na corda, **onda EM**.



- Analisando-se a duração da perturbação provocada no meio, pode-se produzir:

➤ Uma **sucessão contínua de ondas**

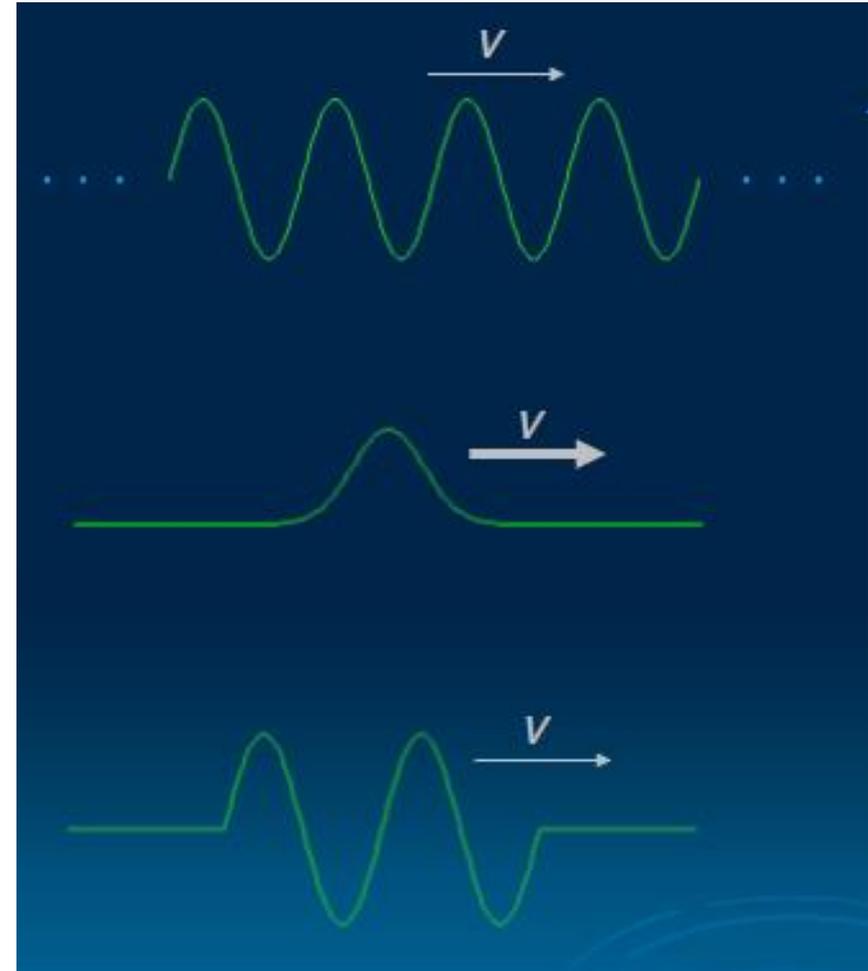
Ex: ocorre por sacudidas periódicas numa corda, que produz uma sucessão contínua de ondas

➤ Um **pulso ou onda única**

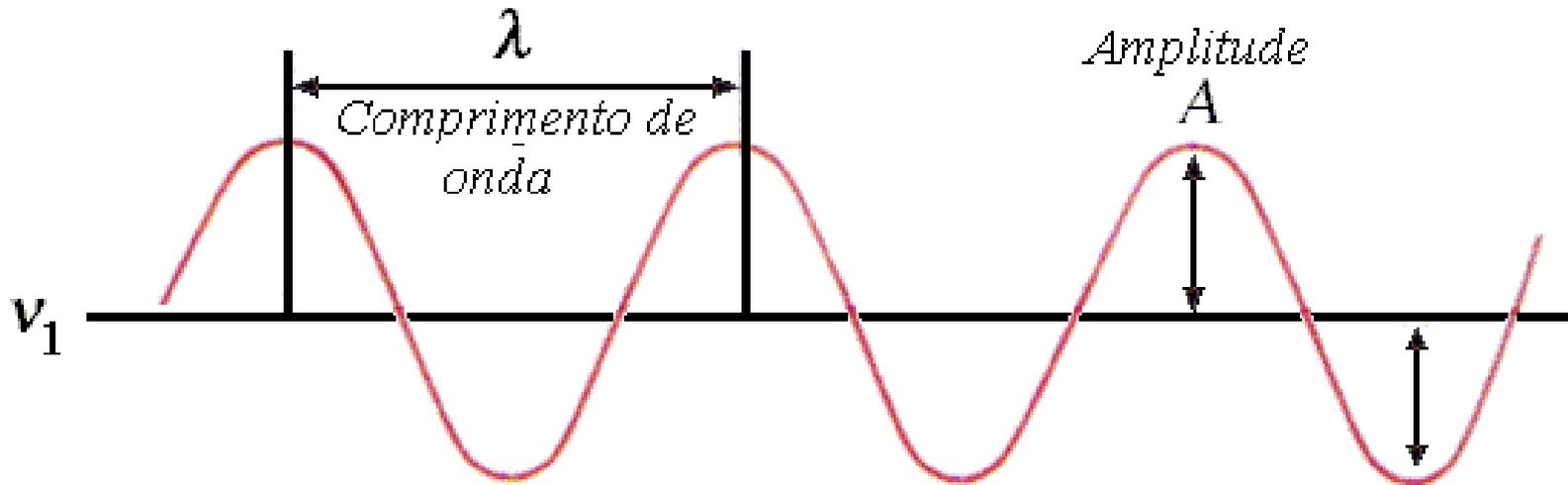
Tem um princípio e um fim
Ex: uma única sacudida numa corda tensionada

➤ Um **trem de ondas**

Também tem um princípio e um fim
Ex: várias sacudidas numa corda tensionada



Características das ondas



- **Comprimento de onda (λ):**
 - Corresponde à distância mínima em que a forma de onda se repete
 - É dada pela distância entre duas cristas ou dois vales sucessivos
- **Amplitude (A):**
 - Corresponde ao deslocamento vertical máximo da onda
 - É dada pela distância entre a linha média e uma crista ou um vale

Características das ondas

- **Período (T):**

- Tempo gasto para completar uma oscilação

- **Frequência (f):**

- Número de oscilações completas da onda em um determinado intervalo de tempo

$$f = \frac{n \text{ oscilações}}{\Delta t} \rightarrow \text{em uma oscilação: } f = \frac{1}{T} \text{ ou } T = \frac{1}{f}$$

- **Período (T):**

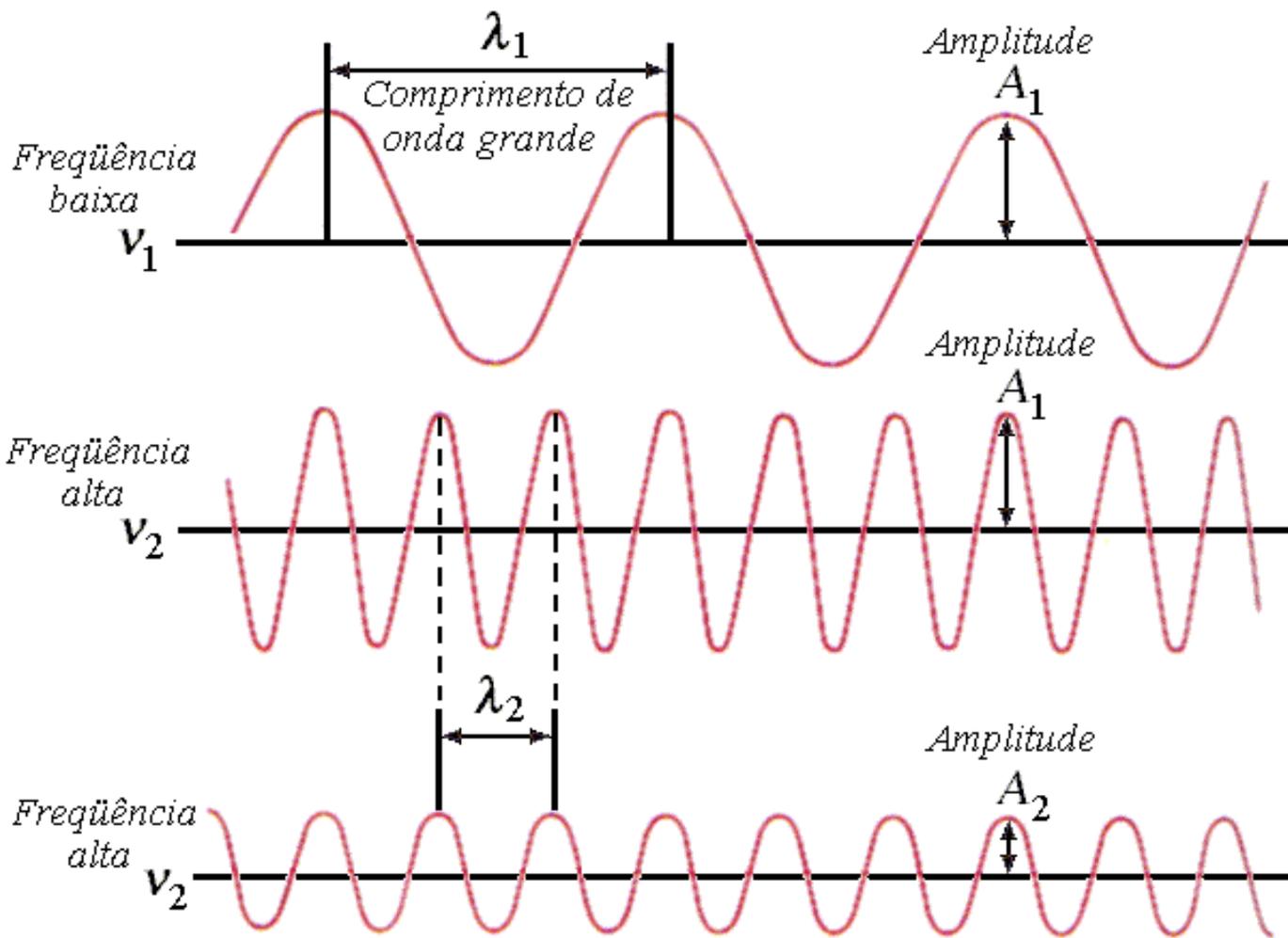
- Tempo gasto para completar uma oscilação

- **Frequência (f):**

- Número de oscilações completas da onda em um determinado intervalo de tempo

$$f = \frac{n \text{ oscilações}}{\Delta t} \rightarrow \text{em uma oscilação: } f = \frac{1}{T} \text{ ou } T = \frac{1}{f}$$

Características das ondas



$$\lambda_1 > \lambda_2 \quad , \quad \nu_1 < \nu_2 \quad e \quad A_1 > A_2$$

Características das ondas

- Velocidade de propagação:

$$v = \frac{\textit{distância percorrida}}{\textit{tempo gasto}} = \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda}{1/f}$$

$$v = \lambda f$$

Exercício 1

- A velocidade da luz no ar é $3,0 \times 10^8$ m/s. Calcule a frequência de uma onda luminosa com um comprimento de onda de 590 nm.

$$f = 5,1 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

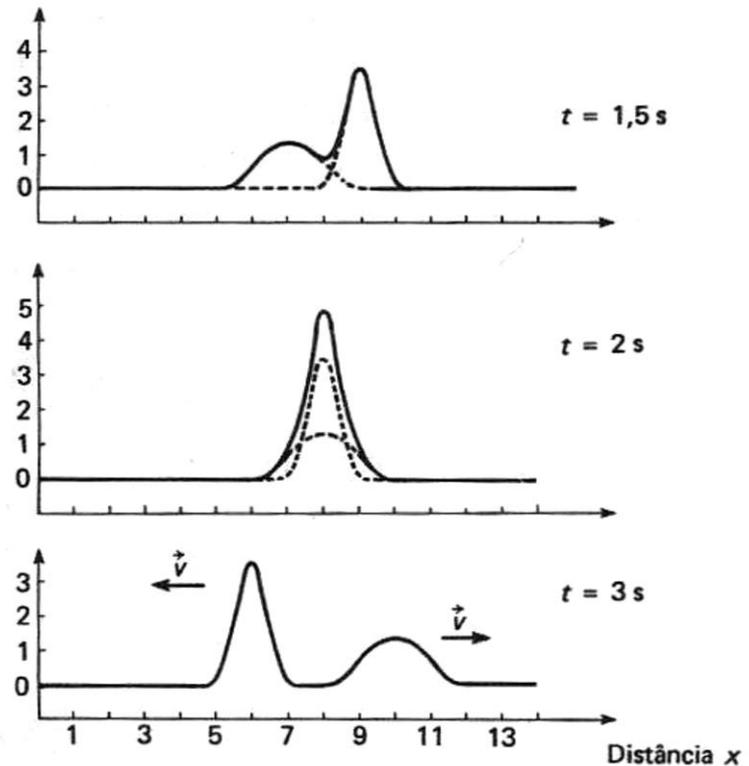
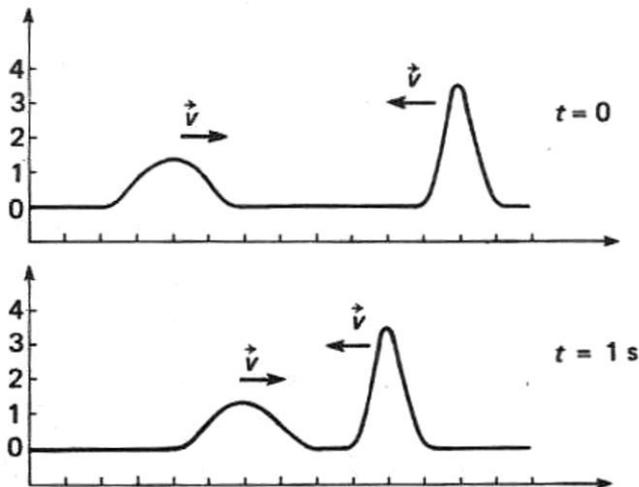
Exercício 2

- A velocidade do som no ar à temperatura ambiente é 340 m/s. Calcule o comprimento de onda de ondas sonoras com uma frequência de 3 kHz que se propagam no ar.

$$\lambda = 0,11 \text{ m}$$

Princípio da superposição

- O que ocorre quando duas ou mais ondas se cruzam numa mesma região do espaço?
 - O princípio da superposição nos ajuda a responder: a perturbação resultante será a soma algébrica das perturbações de cada onda
 - É válido para ondas mecânicas e eletromagnéticas

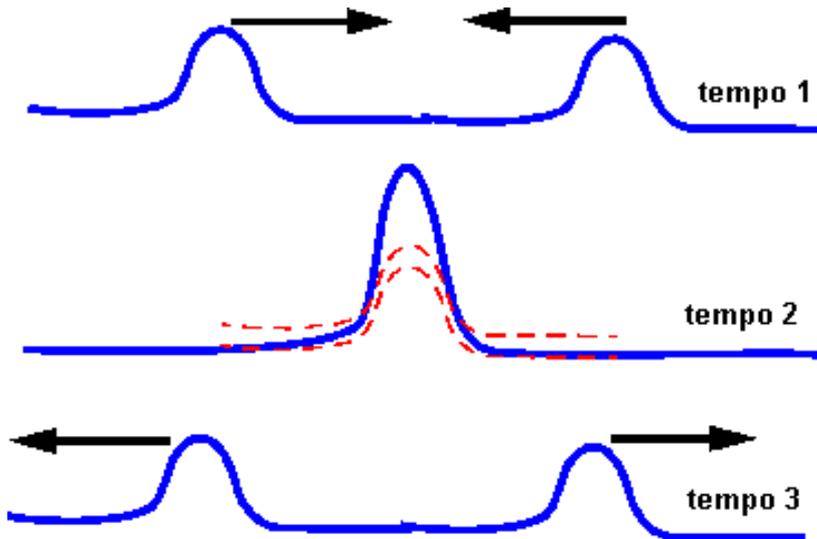


Interferência

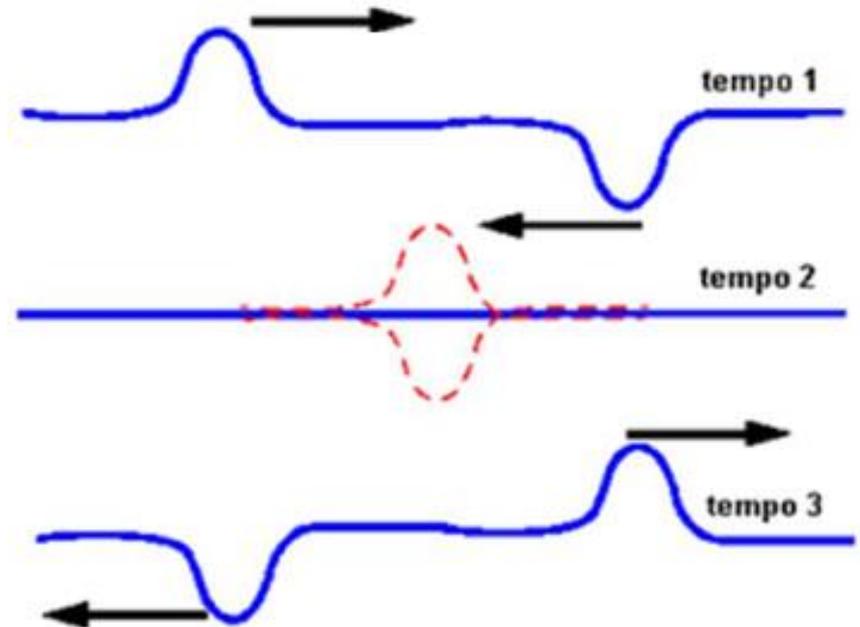


- O efeito combinado de duas ou mais ondas em um ponto é chamado de interferência

Interferência construtiva

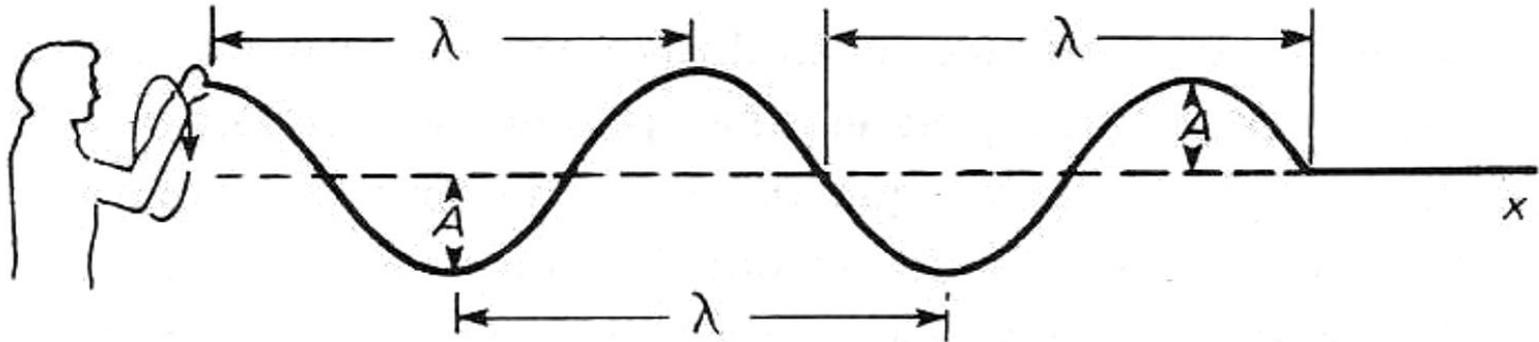


Interferência destrutiva



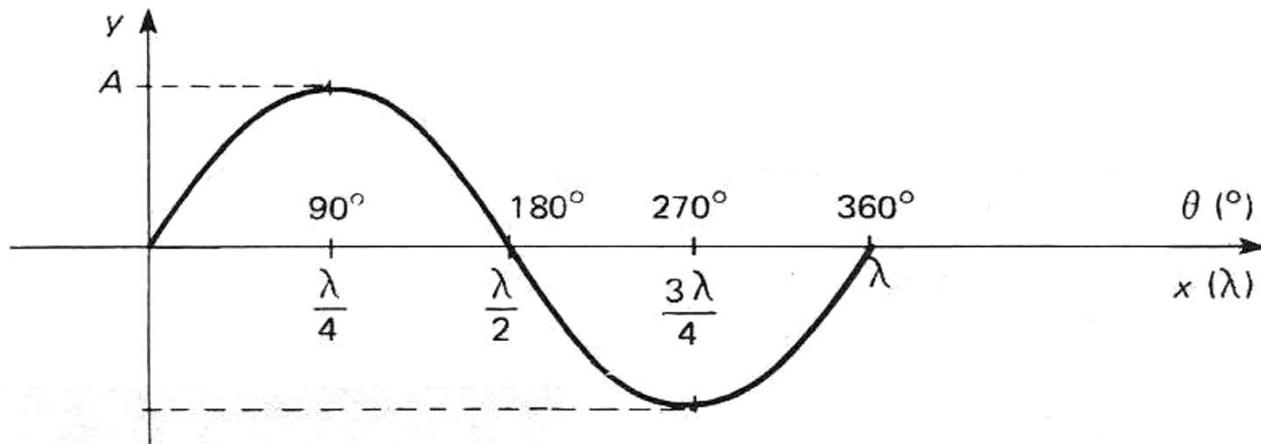
Onda harmônica simples

- Uma onda harmônica simples pode ser produzida numa corda longa movendo-se uma extremidade para cima e para baixo, com igual deslocamento vertical. Após algumas oscilações da corda, sua configuração se torna periódica:



- Esta onda pode ser descrita por uma função seno e portanto, a onda é chamada de onda senoidal.

- Considere em $t=0$, um comprimento de onda λ de uma onda senoidal com amplitude A :



- O deslocamento vertical y , em função do ângulo θ é descrito por:

$$y = A \sin \theta$$

- Como um comprimento de onda corresponde a 360° ou 2π radianos, o deslocamento vertical y também pode ser escrito em função da distância x :

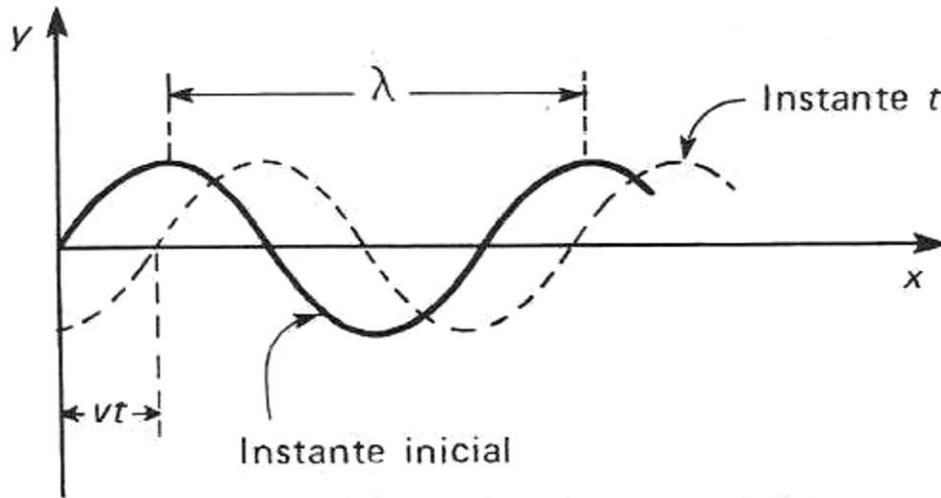
$$\lambda - 360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

$$x - \theta$$

$$\theta = \frac{360^\circ}{\lambda} x = \frac{2\pi}{\lambda} x$$

$$y = A \sin \left(\frac{360^\circ}{\lambda} x \right) = A \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

- Considerando agora o decorrer do tempo, se essa onda se propaga para a direita com velocidade v , a onda terá percorrido uma distância vt :



$$y = A \operatorname{sen} \left(\frac{360^\circ}{\lambda} x \right) = A \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

- A equação da onda no instante t será: $y = A \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \right]$
- Como: $v = \frac{\lambda}{T} \rightarrow T = \frac{\lambda}{v}$ $y = A \operatorname{sen} \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right]$
- Definindo-se o número de onda k como o comprimento de onda na distância 2π : $k=2\pi/\lambda$ e a frequência angular ω : $\omega=2\pi/T=2\pi f$, temos:

$$y = A \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

Onda senoidal que se propaga para direita

$$y = A \operatorname{sen}(kx + \omega t)$$

Onda senoidal que se propaga para esquerda

Exercício 3

- A equação de uma onda progressiva em uma corda é:

$$y = 20\text{sen}[\pi(0,01x - 2,00t)]$$

Em que x e y são medidos em centímetros e t em segundos. Determine:

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| a. Amplitude | $A = 20\text{cm}$ |
| b. Comprimento de onda | $\lambda = 200\text{cm}$ |
| c. Velocidade | $v = 200\text{cm/s}$ |
| d. Frequência da onda | $f = 1\text{Hz}$ |

Velocidade de propagação da onda em meios elásticos

- Um meio elástico é constituído por um material que tende a preservar seu comprimento, forma e volume contra as forças externas.
 - Estes materiais possuem forças restauradoras que retornam o material à sua condição inicial após a remoção da força externa
- A velocidade de propagação da onda em meios elásticos depende da elasticidade e densidade do meio:

– Para ondas transversais numa corda:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

com T =tensão na corda e μ =densidade linear da corda (massa/comprimento)

– Para ondas longitudinais num fluido:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Com B= módulo volumétrico (tendência de um material em manter seu volume contra forças externas: $B = \frac{F/A}{\Delta V/V}$) e ρ =densidade do fluído

– Para ondas longitudinais num sólido:

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

Com Y = módulo de Young do sólido (tendência de um material manter seu comprimento contra forças externas: $Y = \frac{F/A}{\Delta L/L}$) e ρ = densidade do sólido

OBS: Como a densidade e as características elásticas do meio variam com a temperatura e pressão do meio, e a velocidade de propagação das ondas depende destes fatores, ela também varia com a temperatura e pressão do meio

Exercício 4

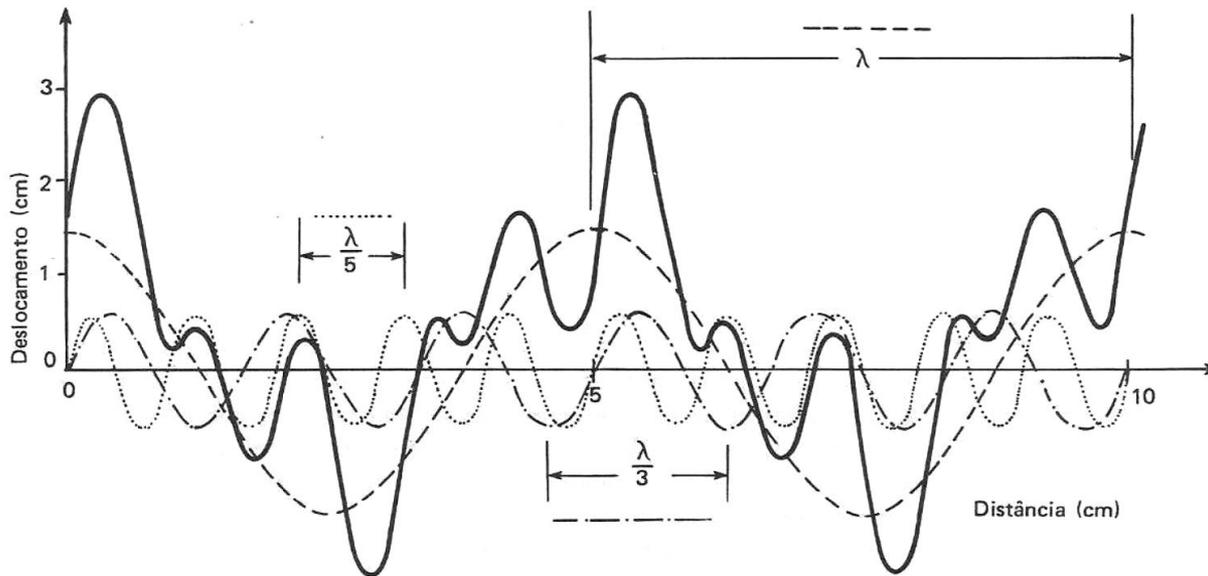
Qual a velocidade da onda numa corda de violão, cuja massa por unidade de comprimento é de $0,015\text{kg/m}$, na qual é aplicada uma tensão de 30N ?

Exercício 5

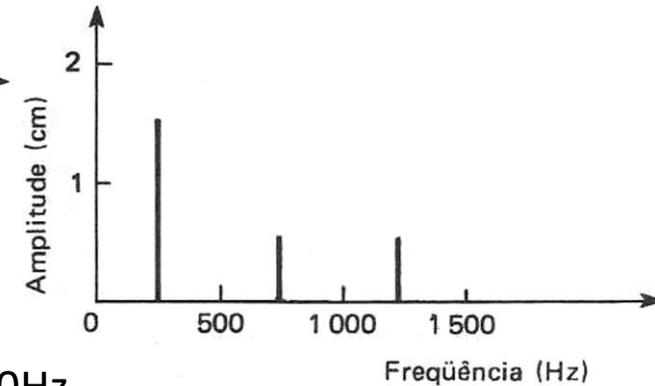
Uma corda de 2m , mantida sob tensão de 50N possui uma massa de 40g . Determine o comprimento de onda de uma onda nessa corda cuja frequência é de 200Hz ?

Teorema de Fourier

- Fornece base matemática para analisar qualquer forma de onda como uma superposição de ondas senoidais de comprimentos de onda e amplitudes específicos.



Análise de Fourier

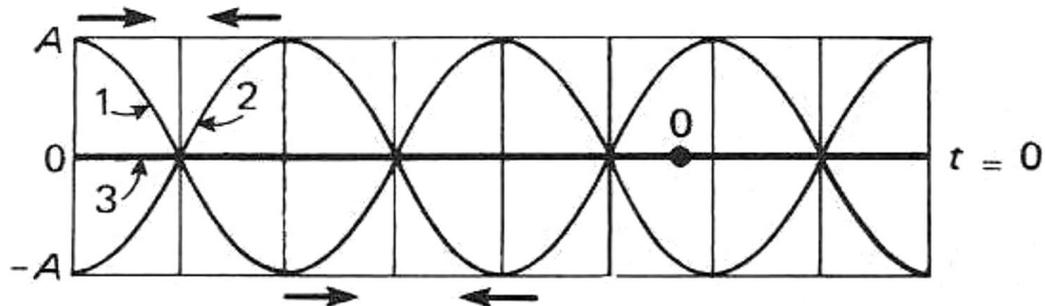


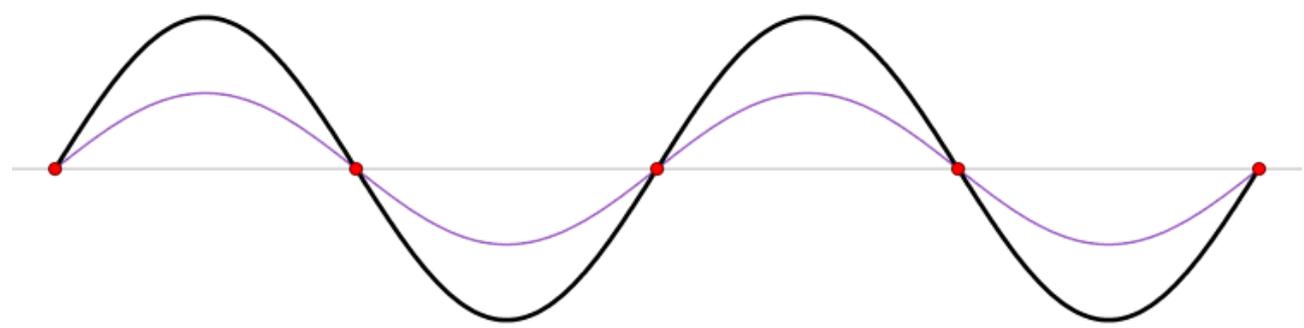
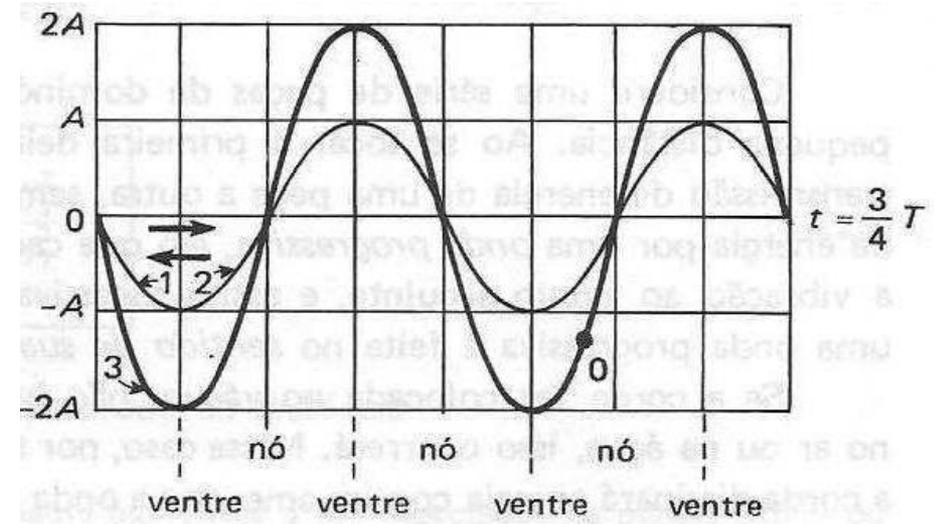
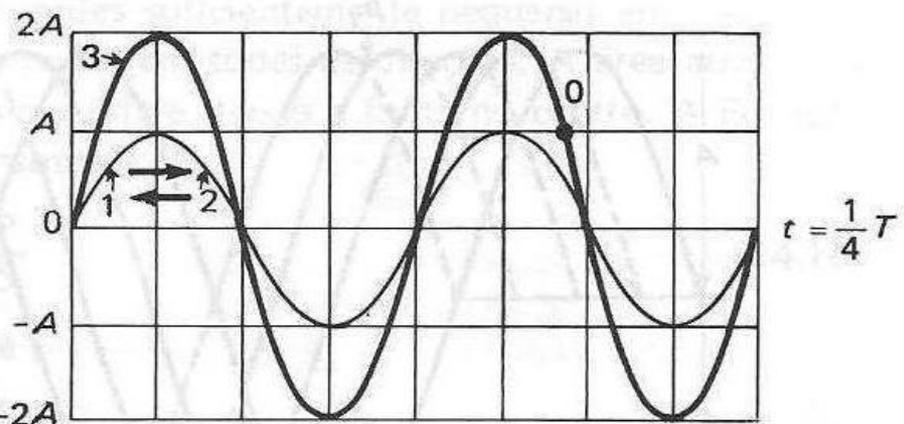
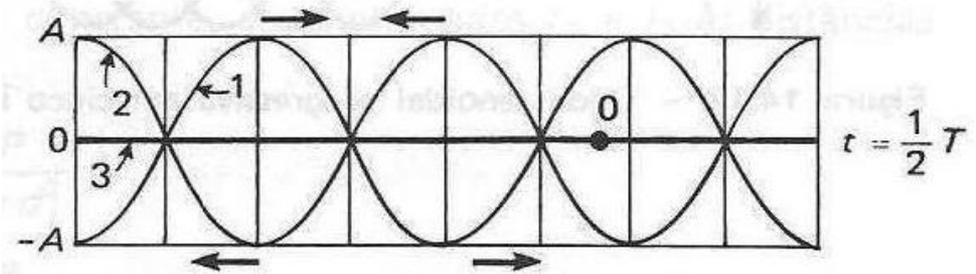
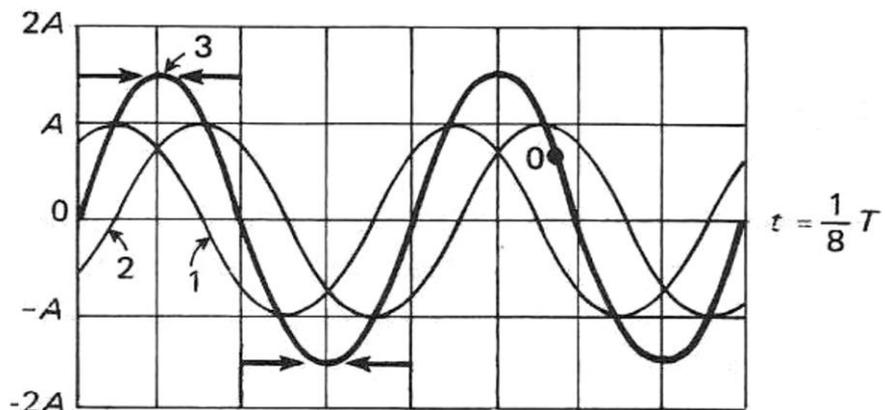
Se $\lambda=5\text{cm}$ e a velocidade da onda é de 12m/s :

$$f_1=v/\lambda=12/0,05=240\text{Hz}, f_2=12/0,017=720\text{Hz} \text{ e } f_3=12/0,01=1200\text{Hz}$$

Ondas estacionárias

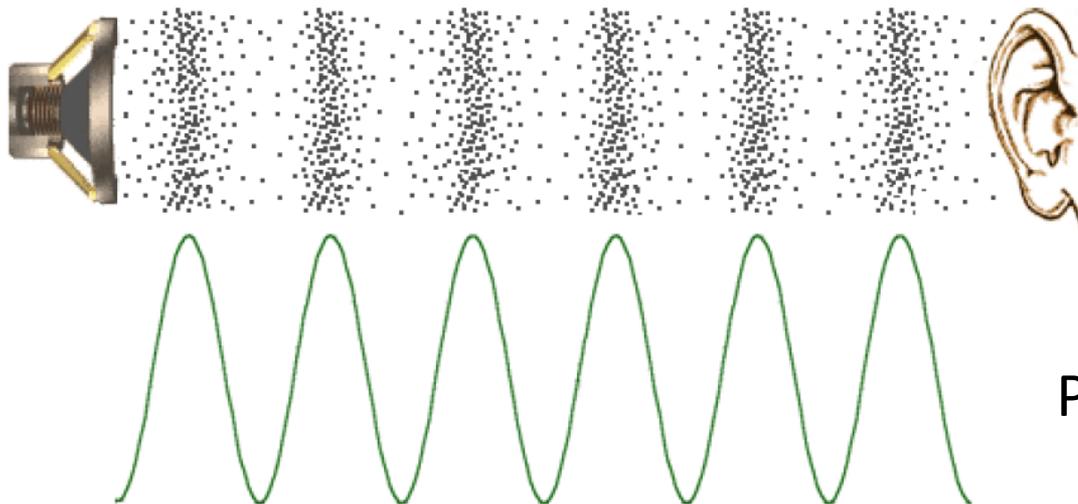
- Quando existem ondas em um espaço confinado, as ondas se propagam e sofrem reflexões em suas extremidades. As ondas refletidas se propagam em sentido oposto e se somam às ondas incidentes seguindo o princípio da superposição
 - Ex: corda esticada e presa pelas extremidades – corda de violão
- Considere duas ondas senoidais de comprimento de onda e amplitude iguais, propagando-se em sentidos opostos:





Ondas sonoras

- Produzida por elementos vibradores (cristal, cordas vocais), que causam variações na pressão do meio ao redor.
 - No ar ocorre compressão e rarefação que se propagam como onda
 - As partículas materiais que transmitem a onda oscilam paralelamente à direção de propagação da própria onda
- Ondas sonoras são frequentemente chamadas de ondas de compressão, ondas de pressão ou som.
- São ondas longitudinais que se propagam em sólidos, líquidos e gases.

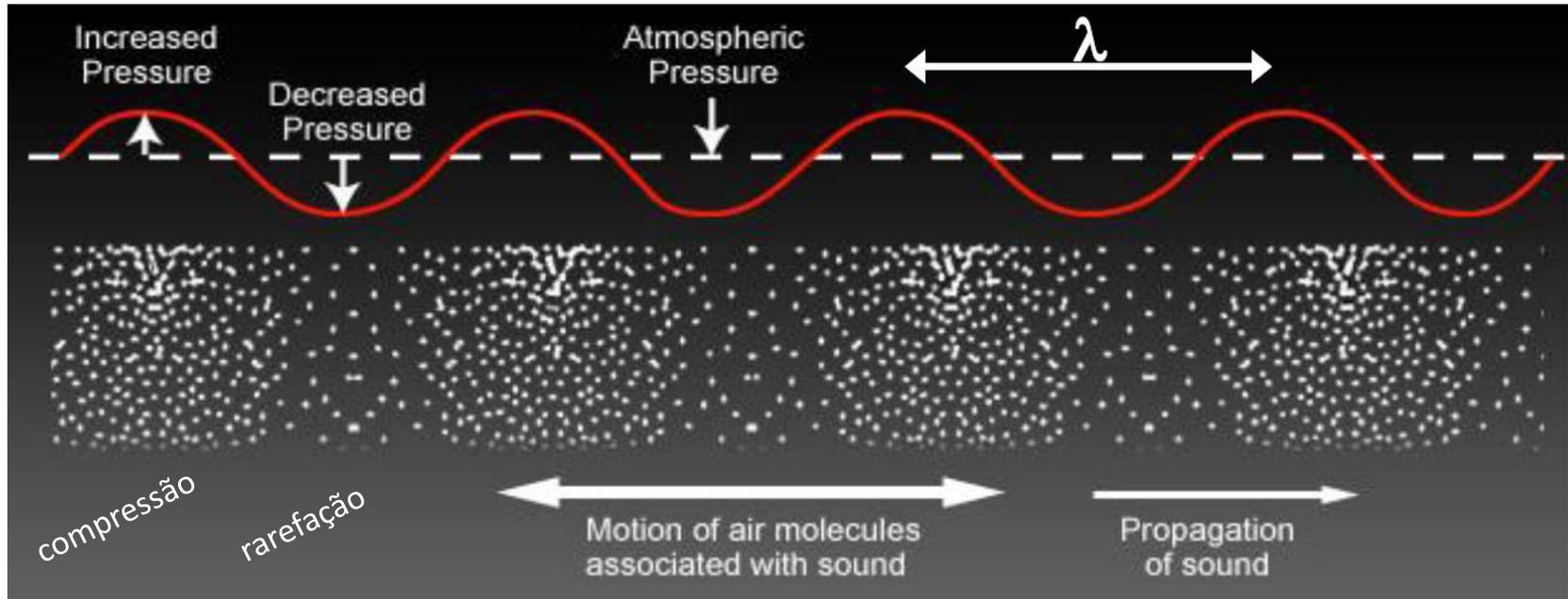


$$P = P_0 \text{sen}(kx - \omega t)$$

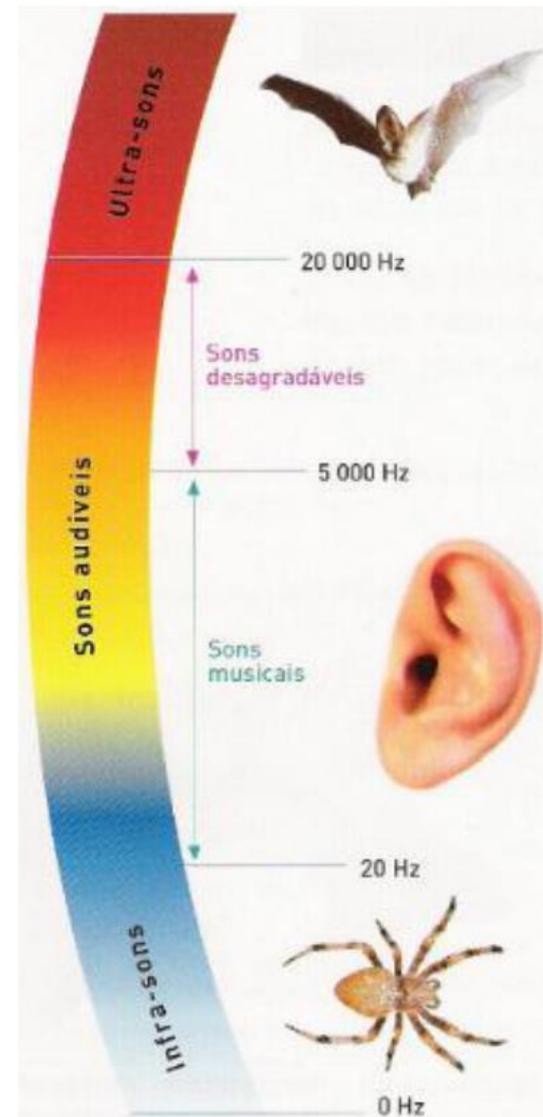
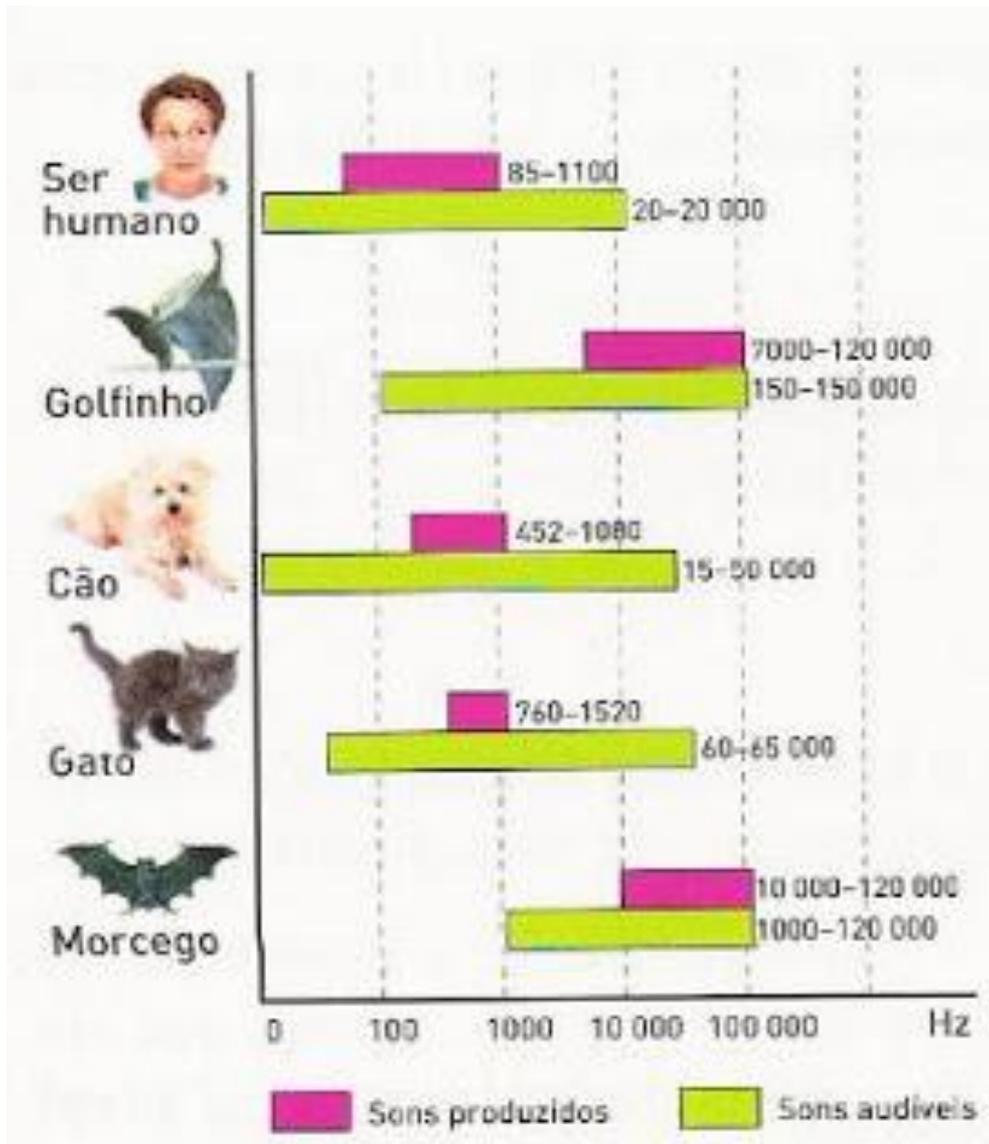
$$P = P_0 \text{sen} \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right]$$

Propagação do som

- A onda sonora não arrasta as partículas de ar por onde passa, ela apenas faz com que estas vibram em torno de sua posição de equilíbrio.



Ondas sonoras



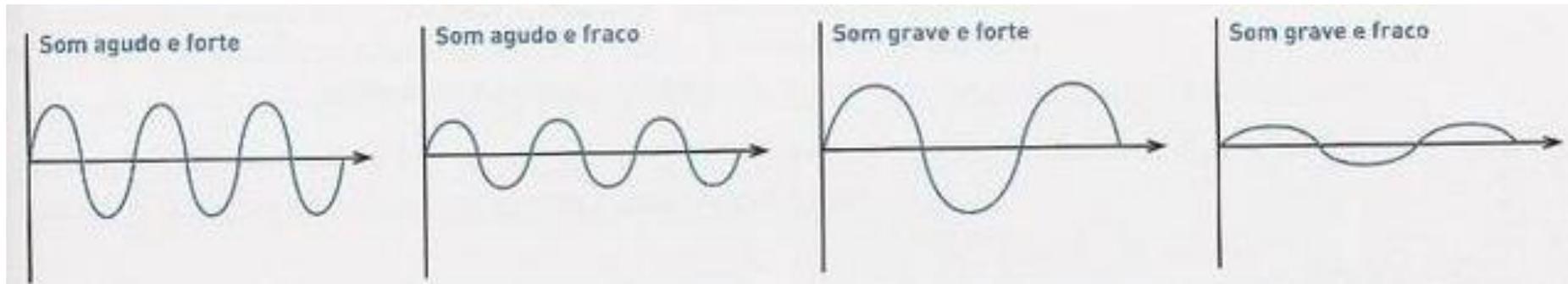
Intensidade da onda sonora

$$I = \frac{\text{Potência}}{\text{área}} = \frac{\text{Energia/tempo}}{\text{área}} \quad [I] = \text{W/m}^2$$

- A intensidade pode ser escrita em função da amplitude do deslocamento horizontal dos elementos de volume de ar (A):

$$I = \frac{1}{2} Z A^2 \omega^2$$

com $Z = \rho v$ sendo a impedância acústica do meio (ρ = densidade do meio e v = velocidade de propagação do som no meio) e ω = frequência angular



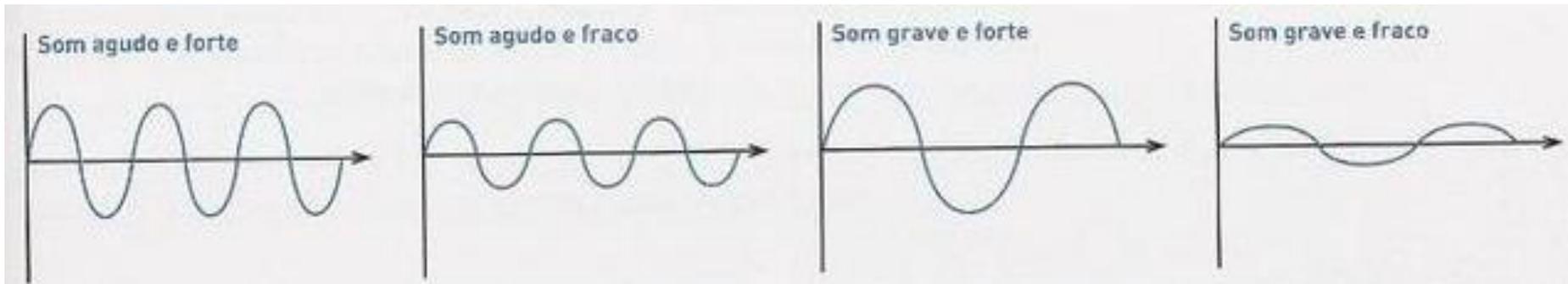
Intensidade da onda sonora

$$I = \frac{\text{Potência}}{\text{área}} = \frac{\text{Energia/tempo}}{\text{área}} \quad [I] = \text{W/m}^2$$

- A intensidade pode também ser escrita em função da amplitude de pressão (P_0):

$$I = \frac{P_0^2}{2\rho v}, \text{ com } P_0 = \rho v \omega A$$

com ρ =densidade do meio, v =velocidade de propagação do som no meio e ω =frequência angular



Exercício 6

- Um microfone com uma área efetiva de 3 cm^2 recebe durante 5s uma energia sonora de $1,5 \times 10^{-9} \text{ J}$. Qual é a intensidade do som?

$$I = 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

Exercício 7

- A intensidade máxima do som com frequência de 1 kHz que o ouvido humano pode tolerar é de aproximadamente 1 W/m^2 . Qual é o deslocamento máximo horizontal dos elementos de volume do ar correspondente a essa intensidade? Dados: a velocidade do som no ar a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ é de 344 m/s e a densidade do ar é de $1,2 \text{ kg/m}^3$.

$$A = 1,1 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Nível de intensidade sonora

- O ouvido humano pode detectar intensidades de 10^{-12}W/m^2 a até 1W/m^2 , devido a esse grande intervalo, utiliza-se uma escala logarítmica para definir o nível de intensidade sonora em decibéis (dB):

$$\beta(\text{dB}) = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Com I =intensidade sonora e I_0 =intensidade de referência (10^{-12}W/m^2)

- Limites de intensidade sonora audíveis para humano:
- Intensidade de 10^{-12}W/m^2 :

$$\beta(\text{dB}) = 10\log\left(\frac{10^{-12}}{10^{-12}}\right) = 10\log 1 = 0\text{dB}$$

- Intensidade de 1W/m^2 :

$$\beta(\text{dB}) = 10\log\left(\frac{1}{10^{-12}}\right) = 10\log 10^{12} = 10 \cdot 12 \cdot \log 10 = 120\text{dB}$$

Som	Intensidade (W/m ²)	Nível de intensidade (dB)
Limiar de audição	10 ⁻¹²	0
Respiração normal	10 ⁻¹¹	10
Murmúrio (a 5 m)	10 ⁻⁹	30
Conversação normal (a 1 m)	10 ⁻⁶	60
Tráfego pesado	10 ⁻⁵	70
Metrô (interior)	10 ⁻³	90
Concerto de <i>rock</i> (limiar doloroso)	10 ⁰	120
Decolagem de jato (nas vizinhanças)	10 ³	150

Exercício 8

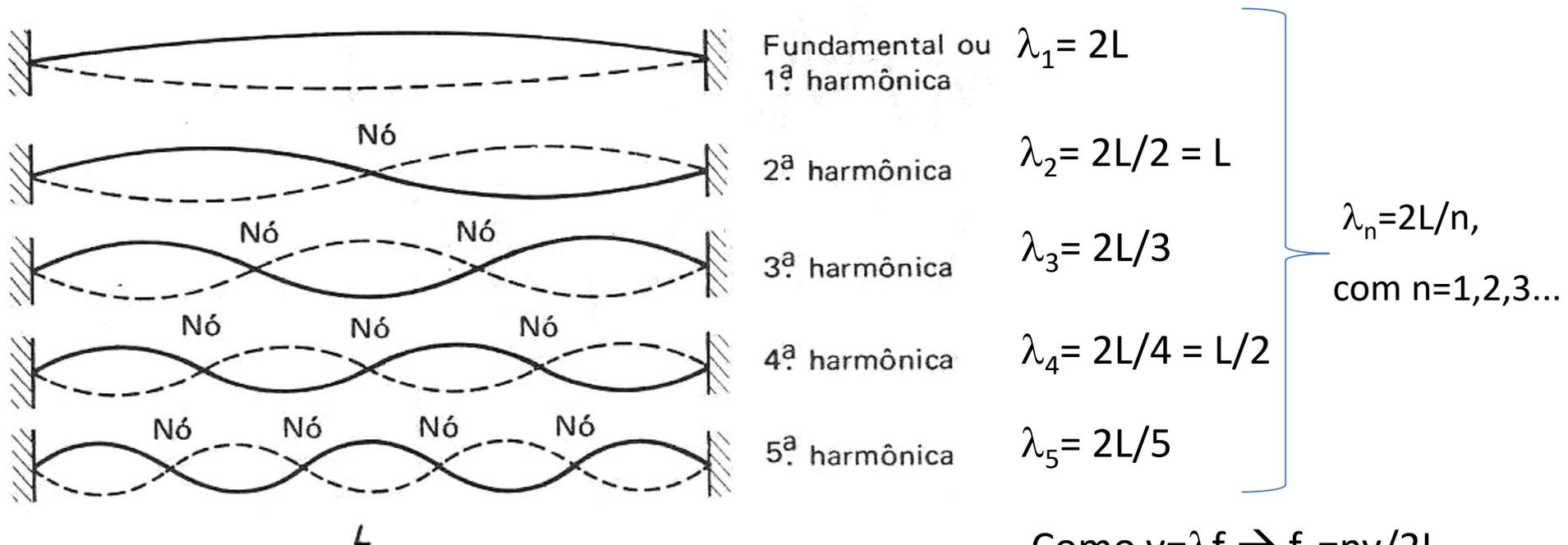
- Uma onda sonora com nível de intensidade de 80 dB incide sobre um tímpano de área 0,6 cm². Quanta energia absorve o tímpano em 3 minutos?

$$E = 1,08 \times 10^{-6} J$$

Sistemas vibrantes

1. Corda fixa em ambas extremidades - Instrumentos musicais

- Quando as cordas vibram, produzem ondas transversais estacionárias que funcionam como fontes de ondas sonoras – ao oscilarem, as cordas vibram o ar em seu redor, gerando ondas sonoras de igual frequência
- Seja uma corda de comprimento L fixa nas duas extremidades:



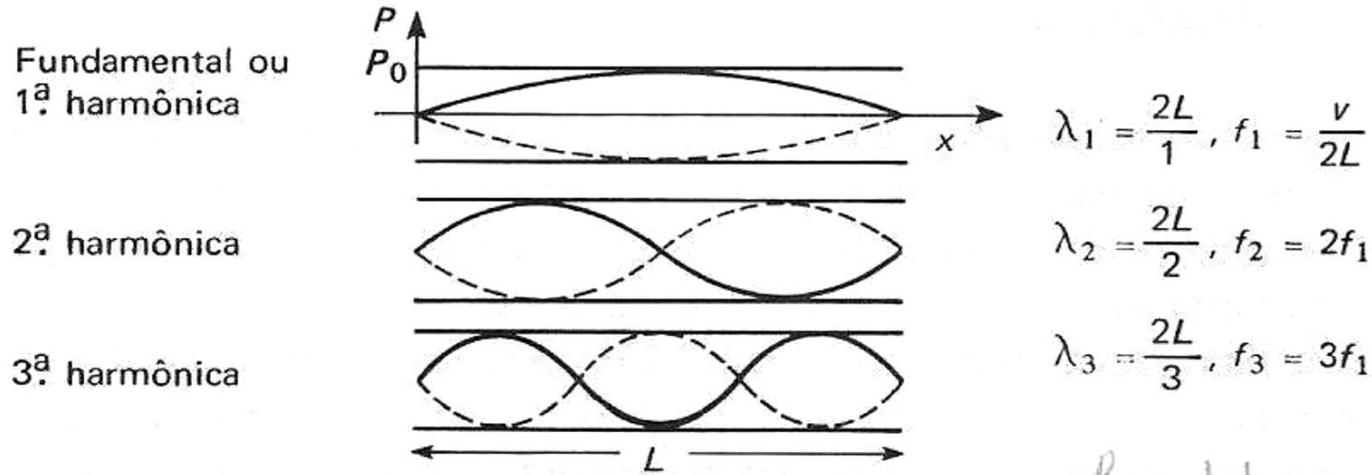
$$\text{Como } v = \lambda f \rightarrow f_n = nv/2L$$

$$\text{Para } n=1: f_1 = v/2L \therefore f_n = nf_1$$

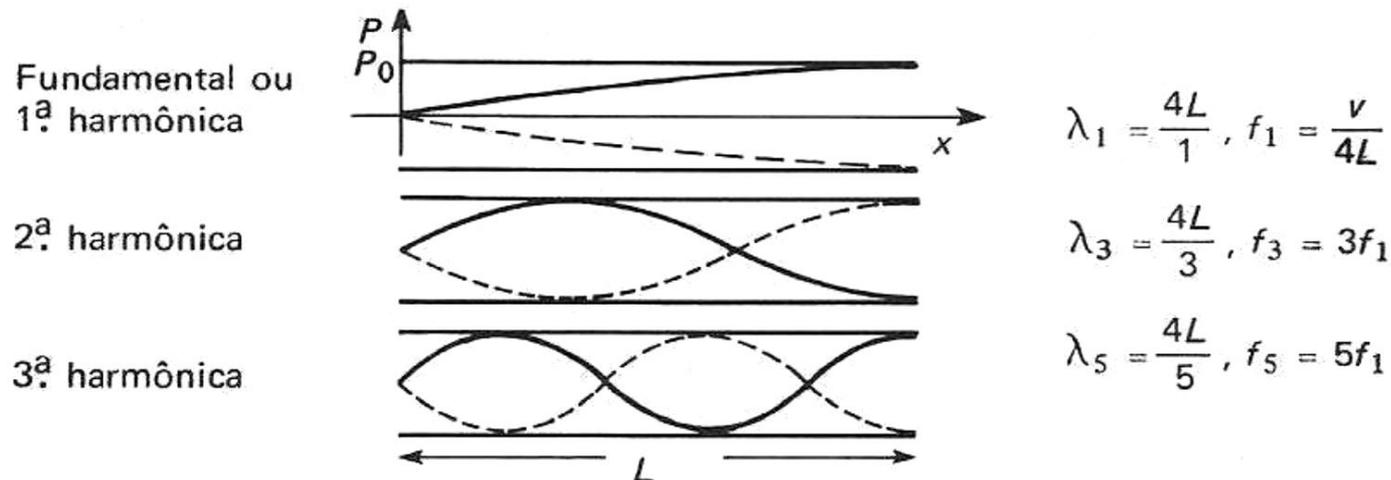
2. Coluna de ar no interior de tubos

- O ar no interior da cavidade pode produzir vibrações com frequências múltiplas da fundamental, a depende da forma e comprimento da cavidade

a. Tubo aberto em ambas extremidades



b. Tubo aberto em uma extremidade e fechado na outra



Ressonância

- Quando um elemento vibrador é colocado na extremidade aberta do tubo, não se observa, em geral, nenhuma alteração na intensidade do som emitido pelo diapasão.
 - Pequena fração da energia mecânica do vibrador é transformada em energia sonora
- No entanto, se a frequência de vibração do diapasão for igual, ou aproximadamente igual, à frequência natural do tubo, ocorre a ressonância
 - Grande fração da energia mecânica do vibrador é transformada em energia sonora, aumentando a amplitude de vibração com frequência f

Audição

Audição

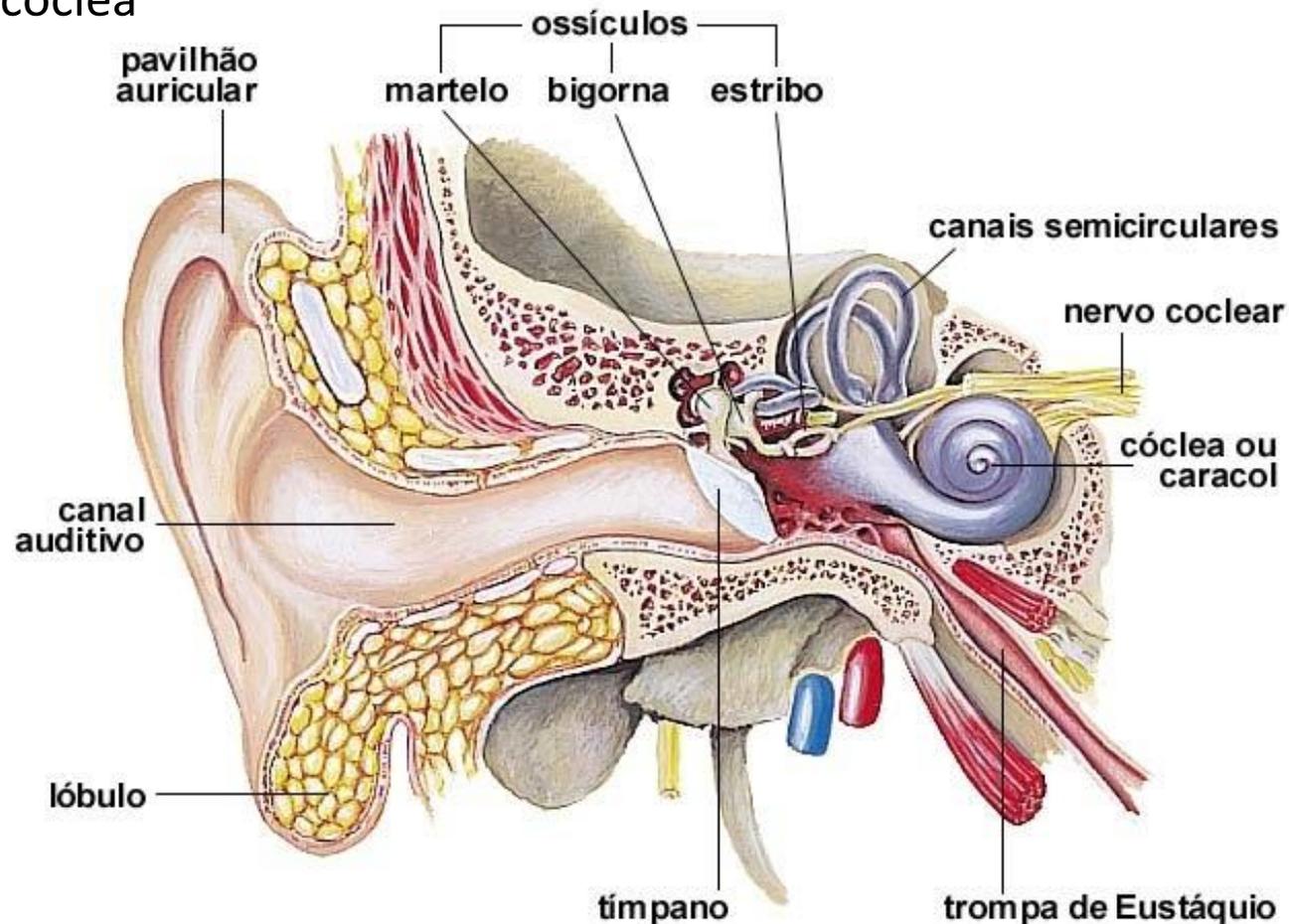
- Permite a comunicação, pois podemos ouvir os outros e nós mesmos
- Crianças que nascem surdas precisam de treinamento especial para falar
 - Voz normalmente soa anormal
- Pessoas surdas podem “ouvir” sons fortes sentindo a vibração provocada pelo som
 - Existem células sensoriais na raiz dos cabelos que podem permitir a “audição”
- Podemos ouvir uma faixa de frequência que varia de 20 a 20000Hz (1000 vezes), enquanto enxergamos uma faixa de frequências luminosas que varia de 400-790THz (2 vezes)

Sentido: audição

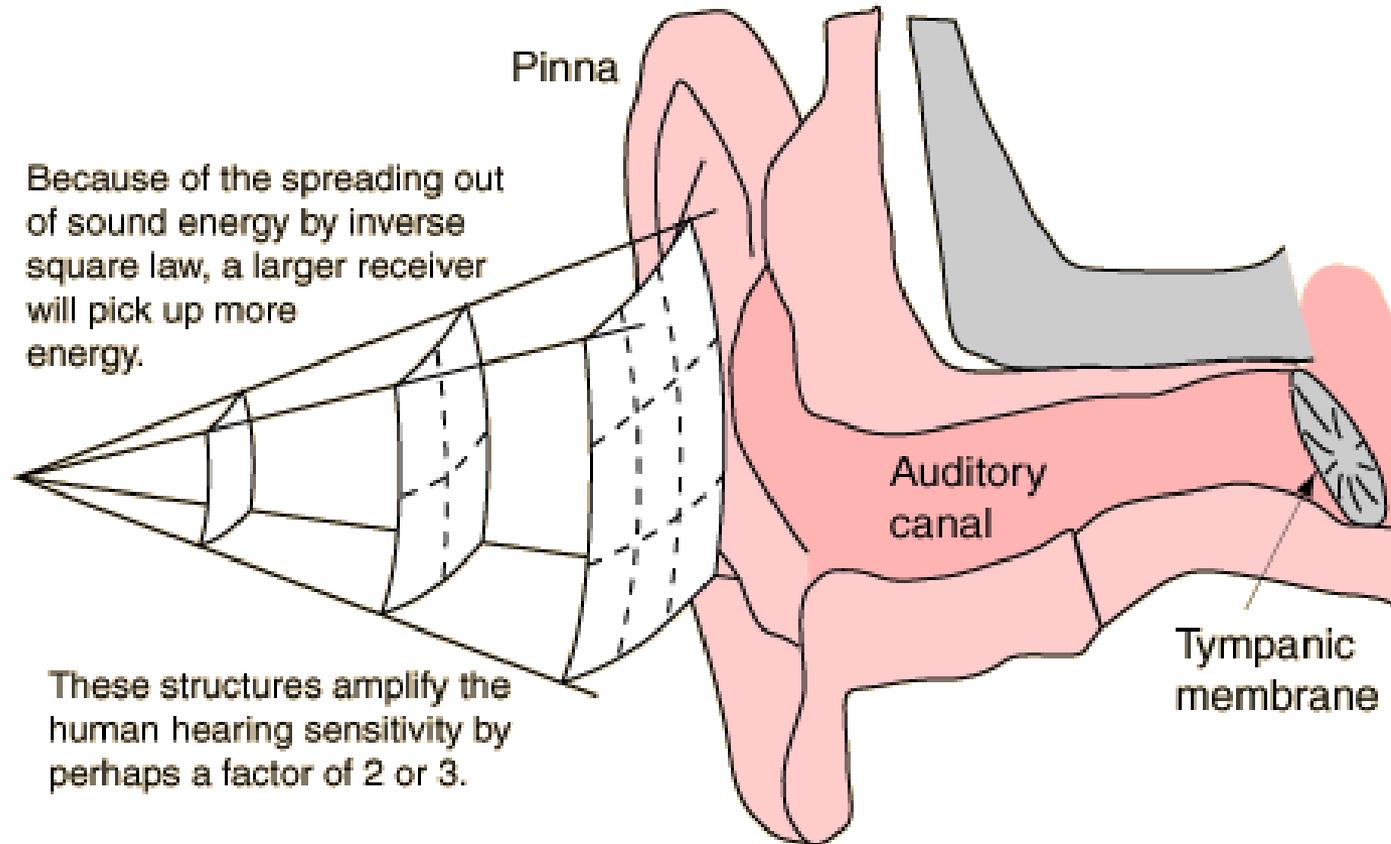
- A audição envolve:
 1. O sistema mecânico que recebe e transmite a informação sonora, estimulando as células ciliares na cóclea;
 2. Os sensores que produzem a ação potenciais nos nervos auditivos;
 3. O córtex auditivo, a parte do cérebro que decodifica e interpreta os sinais dos nervos auditivos.

O ouvido

- Converte ondas sonoras mecânicas em pulsos elétricos
 - Ouvido externo: canal auditivo até a membrana do tímpano
 - Ouvido médio: 3 ossículos e a trompa de Eustáquio
 - Ouvido interno : cóclea



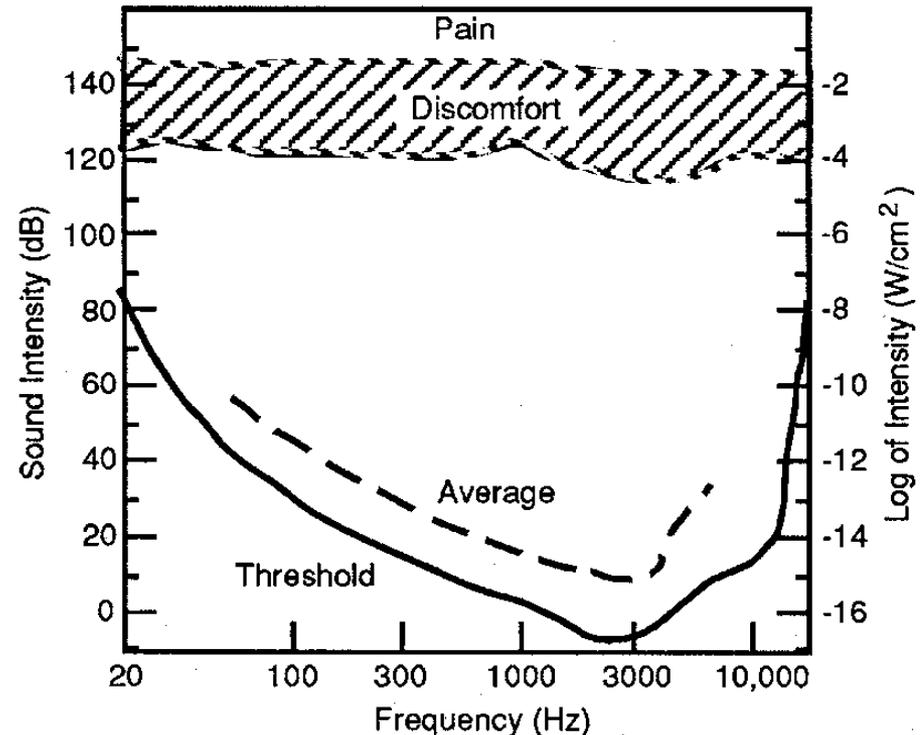
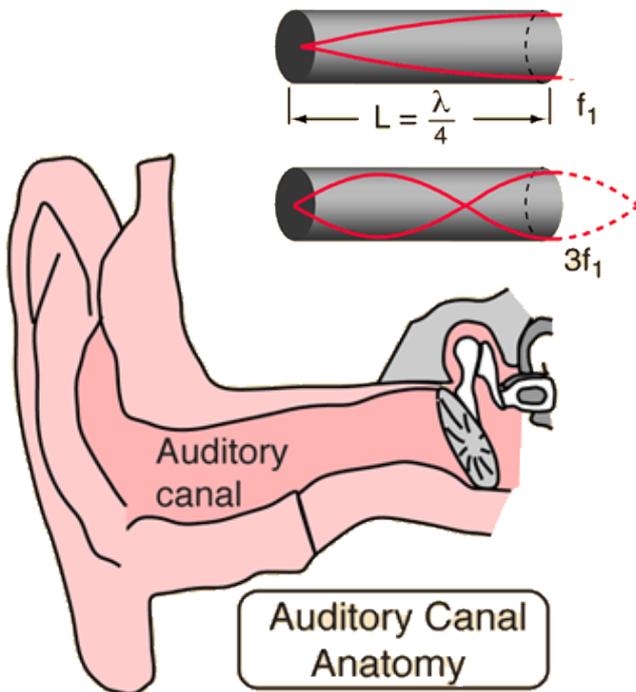
Ouvido externo - orelha



- Com as mãos podemos aumentar a amplificação do som no ouvido
- O posicionamento da orelha ajuda na localização da origem sonora
- [Exemplo](#)

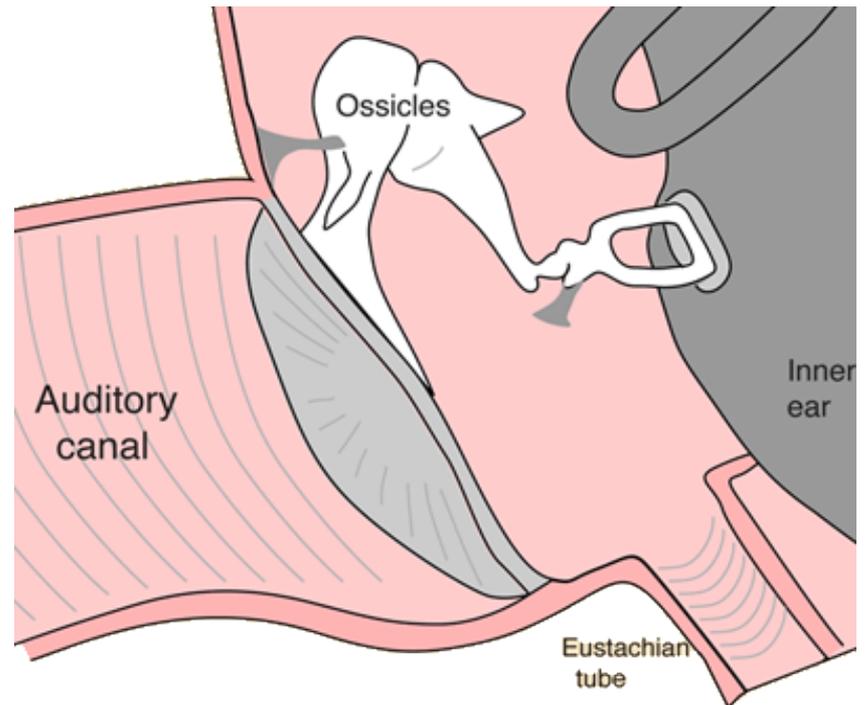
Ouvido externo – canal auditivo

- Aumenta a sensibilidade do ouvido na região de 3000-4000Hz
- Pode ser modelado como um tubo de comprimento 2,5cm, aberto na sua ligação com o ar e fechado no tímpano:
 - modo fundamental tem $\lambda=4L \rightarrow$ frequência fundamental: $f=v/4L$ ($v=340\text{m/s}$ e $L=2,5\text{cm}$: $f=3400\text{Hz}$)



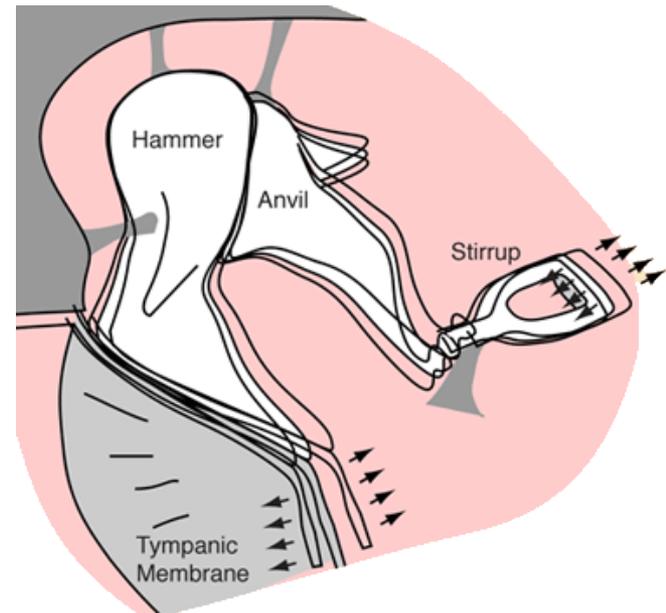
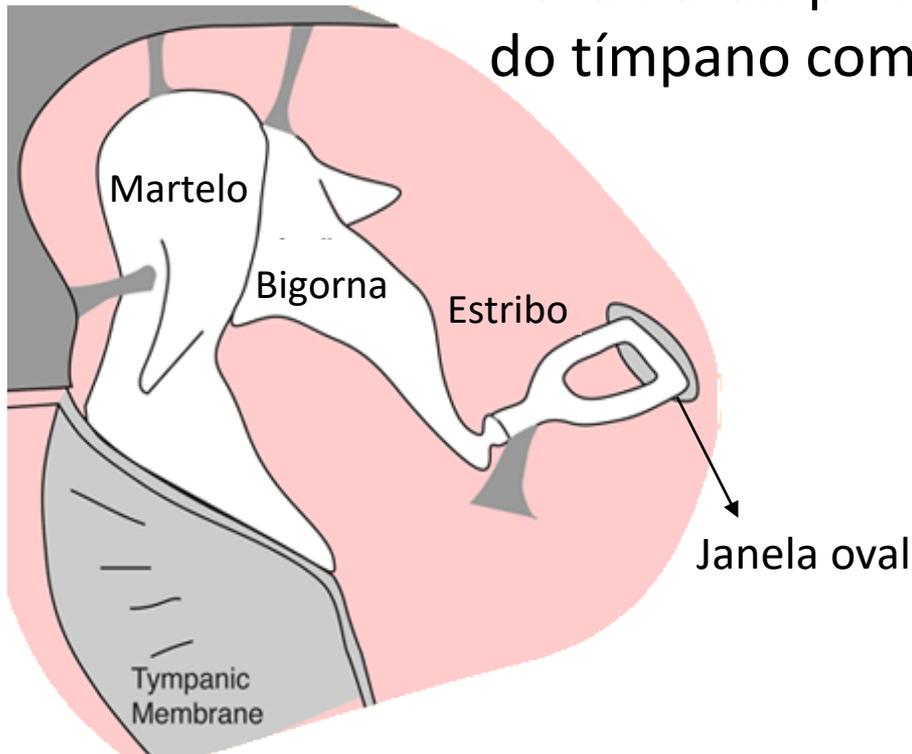
Ouvido externo – tímpano

- Membrana do tímpano possui uma espessura de 0,1mm e área de 65mm².
- Acopla a vibração do ar com a vibração dos pequenos ossos do ouvido interno.
- Pela descentralização dos ossículos o tímpano não vibra simetricamente
- No limiar da audição em 3000Hz, a oscilação do tímpano é de 10⁻¹¹m, em 20Hz é de 10⁻⁷m
- Pressões acima de 160dB podem romper o tímpano



Ouvido médio

- Composto pelos 3 ossículos: martelo, bigorna e estribo.
- Já tem seu tamanho adulto antes do nascimento.
- Transmite as vibrações do tímpano para o ouvido interno.
- Ajusta a impedância dos dois meios.
- Há uma amplificação do som devido à grande área do tímpano comparada a área da janela oval ($\cong 26\text{dB}$)



Se o ouvido médio não estivesse presente...

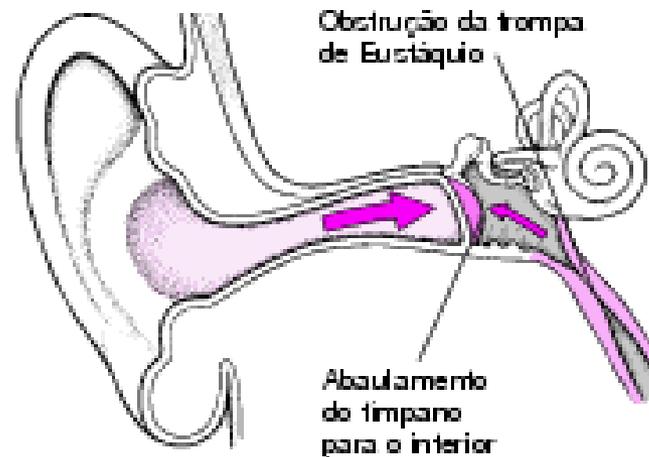
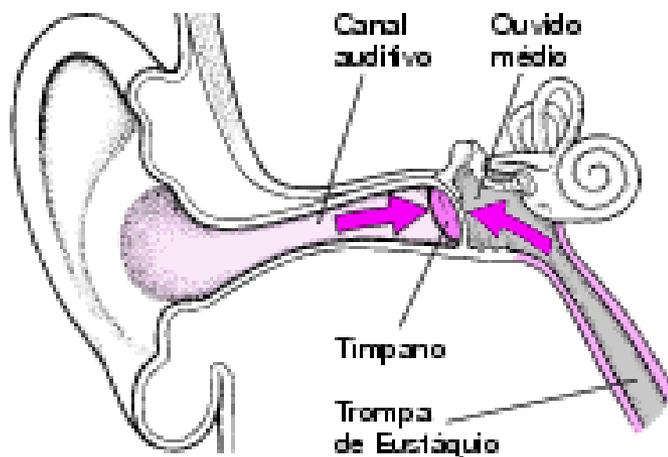
- O som incidiria diretamente na cóclea
- 99% dele seria refletido, o que resultaria em 30dB de perda de intensidade auditiva
- Assim: o ouvido médio provoca o acoplamento da energia sonora no ar na membrana do tímpano com a energia sonora no líquido da cóclea

Ouvido médio

- Acoplamento de impedâncias do ouvido médio depende da elasticidade e massa do tímpano:
 - É muito bom de 400-4000Hz
 - Acima de 4000Hz: tímpano é muito duro
 - Abaixo de 400Hz: a massa do tímpano é muito grande
- Possui um sistema de proteção para sons muito altos: o músculo ligado a bigorna e ao martelo
 - Em altos sons eles puxam os ossículos e reduzem a intensidade que chega ao ouvido interno em 15dB
 - Este sistema demora 15ms para reagir ao som, então certo dano pode ser provocado neste período

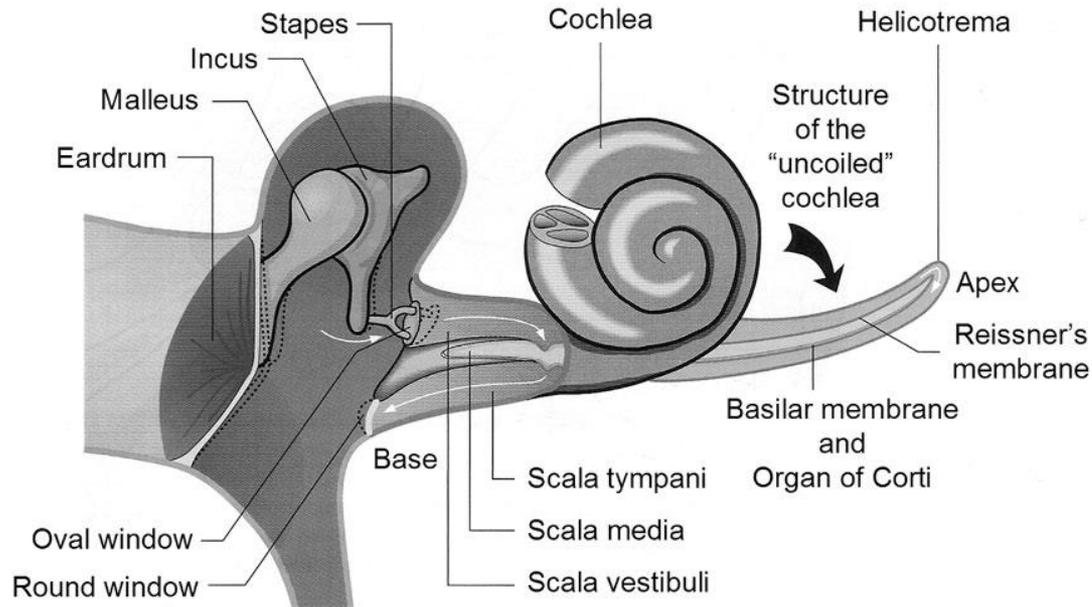
O tubo de Eustáquio

- Conecta o ouvido médio à boca:
 - Drena fluídos produzidos no ouvido médio
 - Equaliza a pressão do ouvido médio com a pressão externa quando se abre
- Permanece fechado a maior parte do tempo
- Se ele está bloqueado ou não se abre apropriadamente:
 - o ar não chega ao ouvido médio
 - a pressão externa se torna maior que a pressão do ouvido médio
 - tímpano é puxado para dentro, fica tenso e não vibra adequadamente



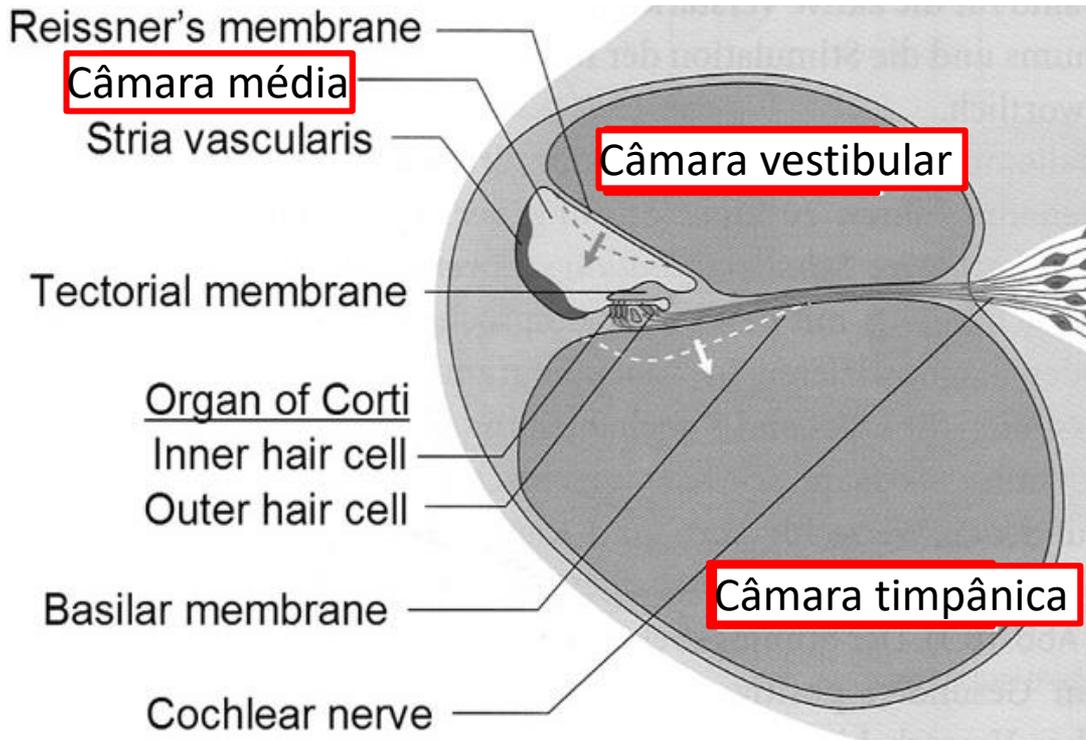
O ouvido interno

- É composto pela cóclea, estrutura espiral preenchida por um fluido
- Fica protegido pelo osso mais duro do corpo, o osso petroso do crânio
- Caminho do som ao entrar no corpo:
vibração no tímpano → ossículos → membrana flexível da janela oval → fluido coclear → células ciliadas (órgão de Corti) → potenciais de ação no nervo auditivo → cérebro

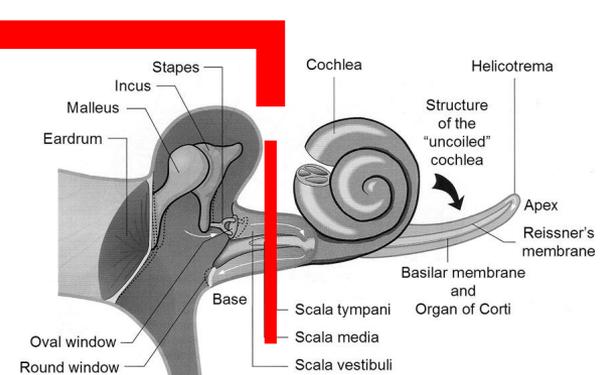


O ouvido interno - cóclea

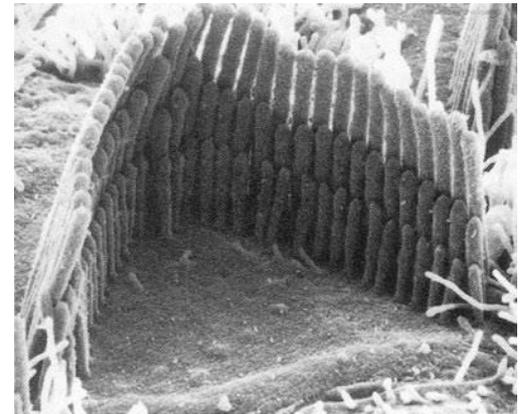
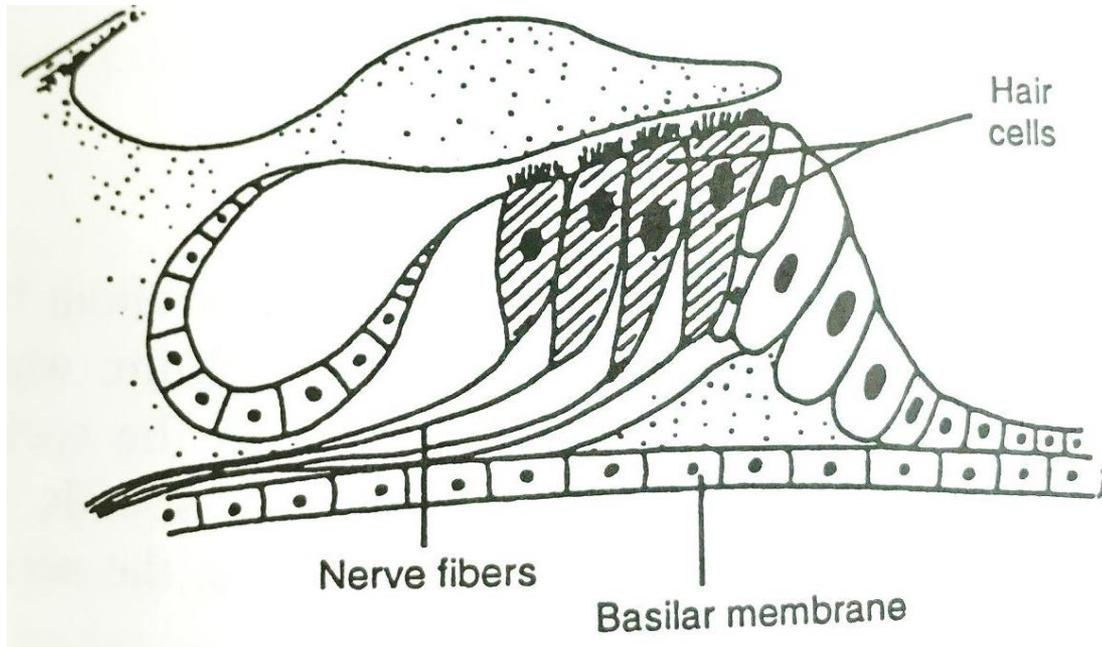
- Desenrolada: cilindro de 2mm de diâmetro e 35mm de comprimento
- Câmara vestibular: janela oval / Câmara média: órgão de Corti / Câmara timpânica: janela redonda
- Acoplamento entre câmara vestibular e timpânica: membrana basilar (que excita células ciliadas)



- Nervo coclear: transmite informação de frequência e intensidade do som



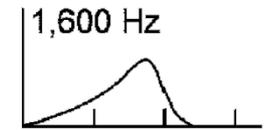
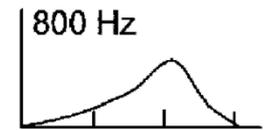
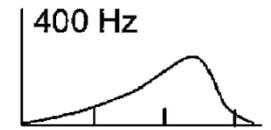
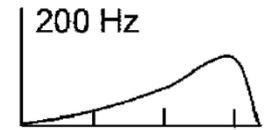
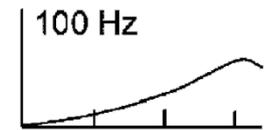
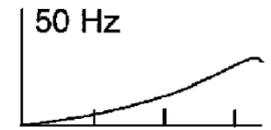
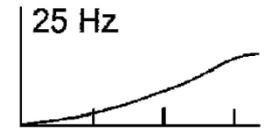
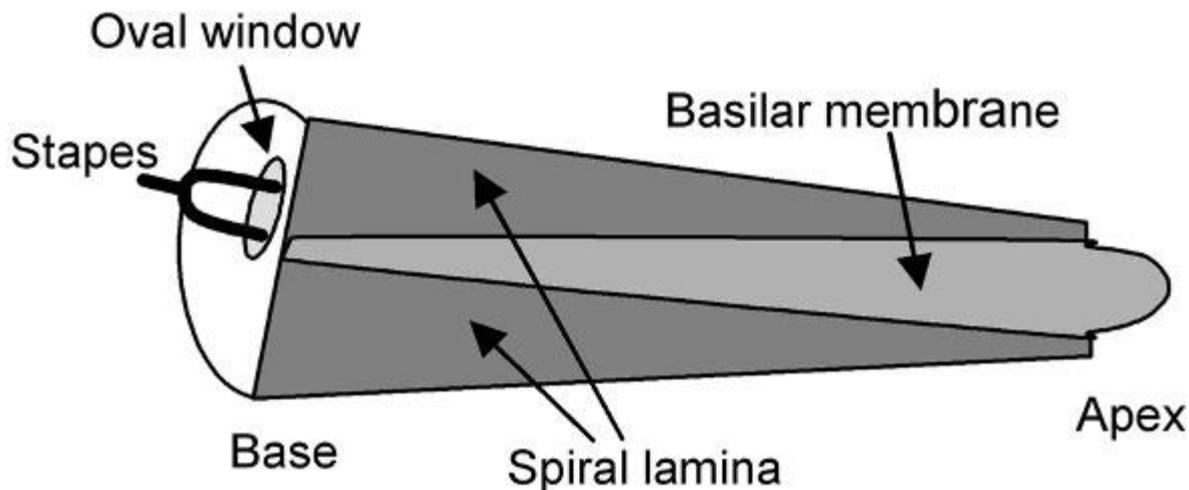
Ouvido interno – órgão de Corti



- A membrana basilar transmite a onda sonora às células ciliares, provocando seu movimento
- Movimentos de 10^{-10} m podem ser detectados

Ouvido interno – membrana basilar

- Cóclea afina ao longo de seu comprimento
- Membrana basilar engrossa e fica menos rígida ao longo da cóclea
- Detecção de sons:
 - Alta frequência: perto da janela oval
 - Baixa frequência: final da cóclea

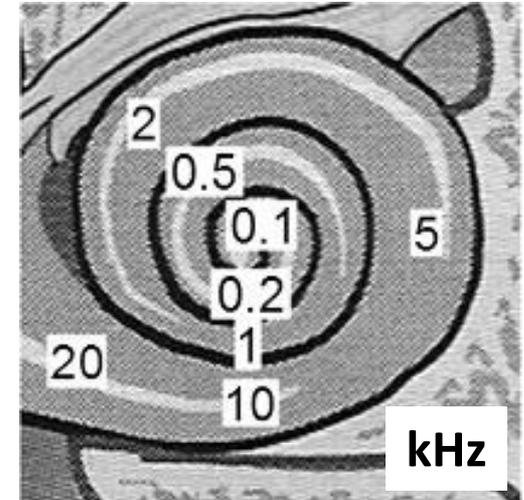


Amplitude relativa

Dist. Estribo (mm)

Ouvido interno – membrana basilar

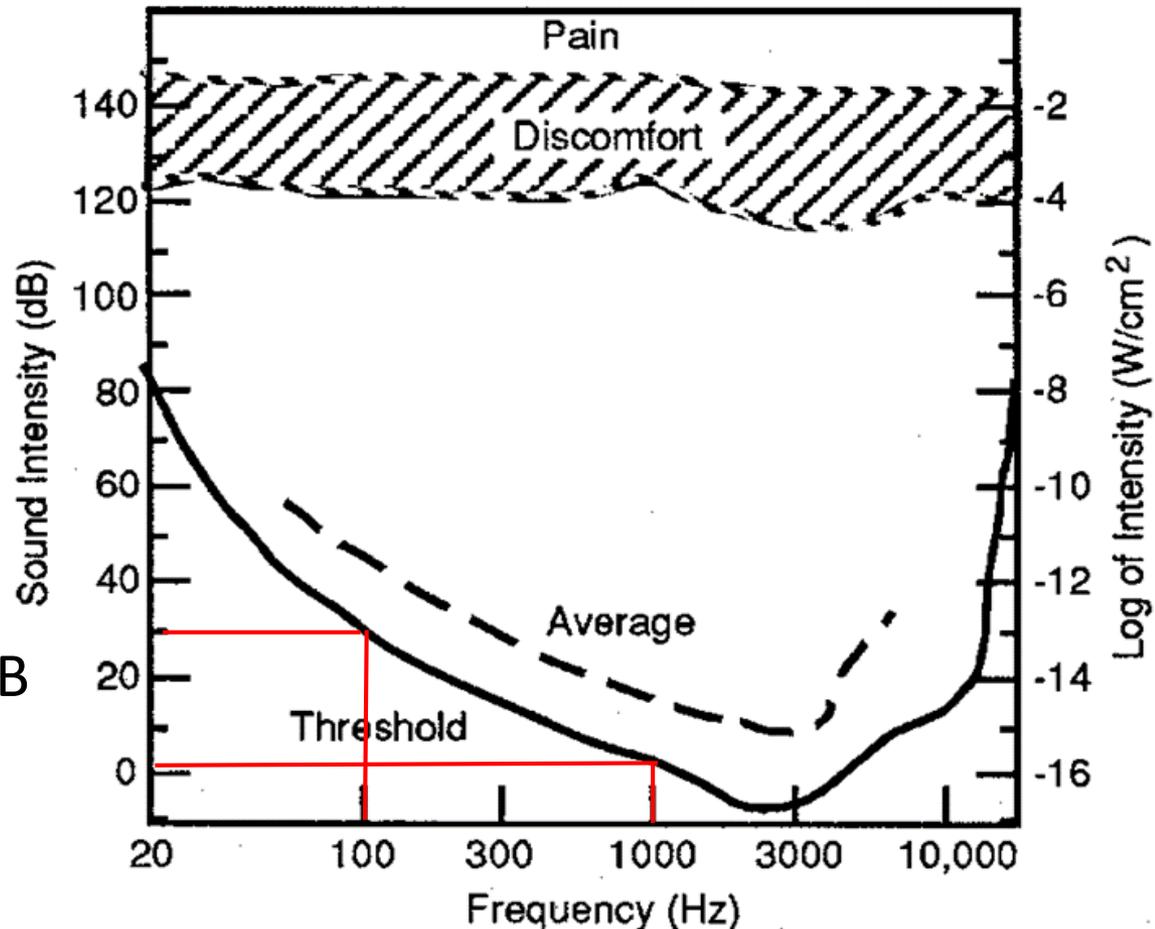
- Codificação de frequências ao longo da cóclea



- Codificação temporal:
 - Alta frequência sonora: alta taxa de disparos elétricos
 - A taxa máxima de disparos dos neurônios é de 500Hz, assim vários neurônios atuam cooperativamente para disparos em altas frequências sonoras

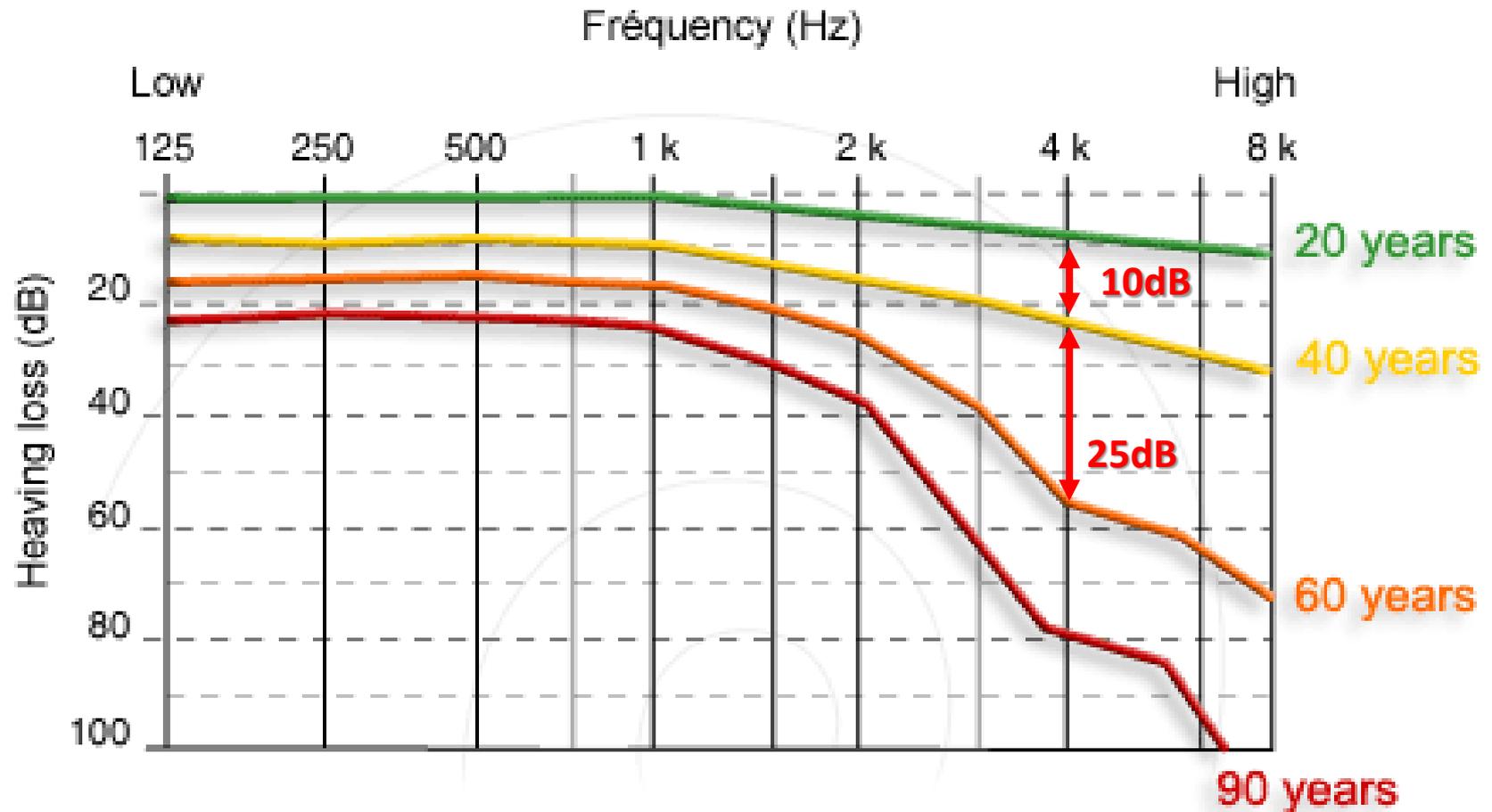
Sensibilidade do ouvido

- O ouvido não é igualmente sensível à todas as frequências
 - Maior sensibilidade: 2000-5000Hz
 - Diminui com a idade



Ex: O ouvido precisa de 30dB a mais de intensidade para detectar um som de 100Hz ao invés de 1000Hz

Perda auditiva com a idade

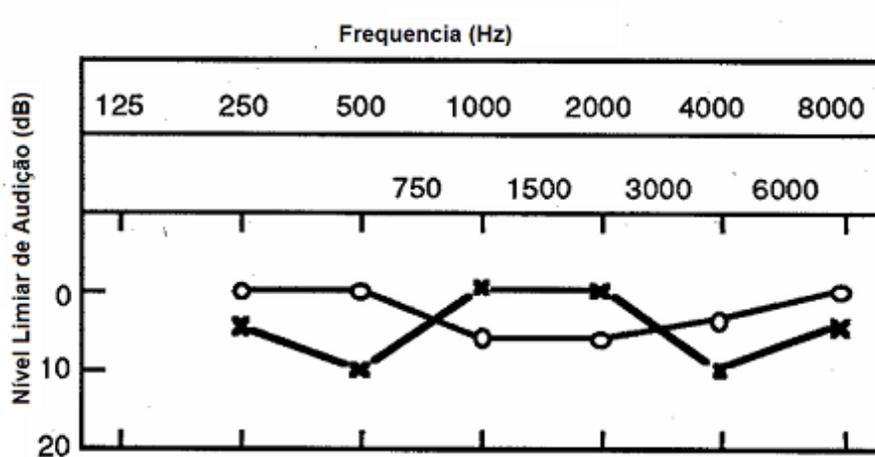


- Este efeito pode ser antecipado se a pessoa jovem fica exposta a sons altos por muito tempo.

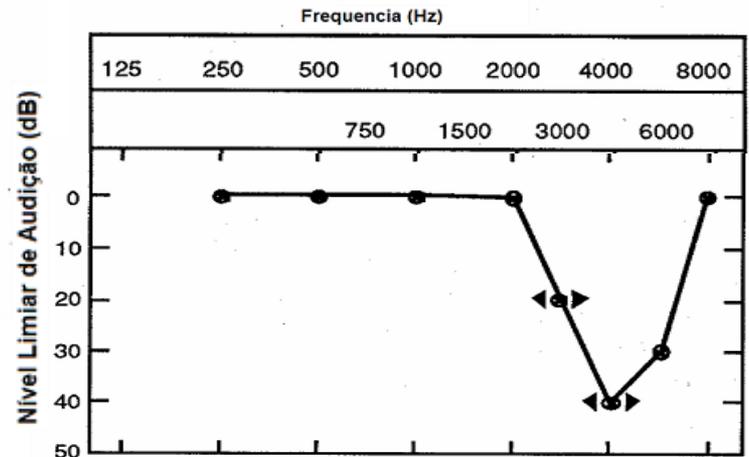
Testes de audição

1. Audiometria de tom puro:

- Estabelece o limiar da audição
- Realizado em ambiente isolado
- Cada ouvido é testado separadamente
- São emitidos sons de tons puros com frequências de 250-8000Hz e o operador pode aumentar ou diminuir o volume até que o paciente perceba o som



Resultado normal

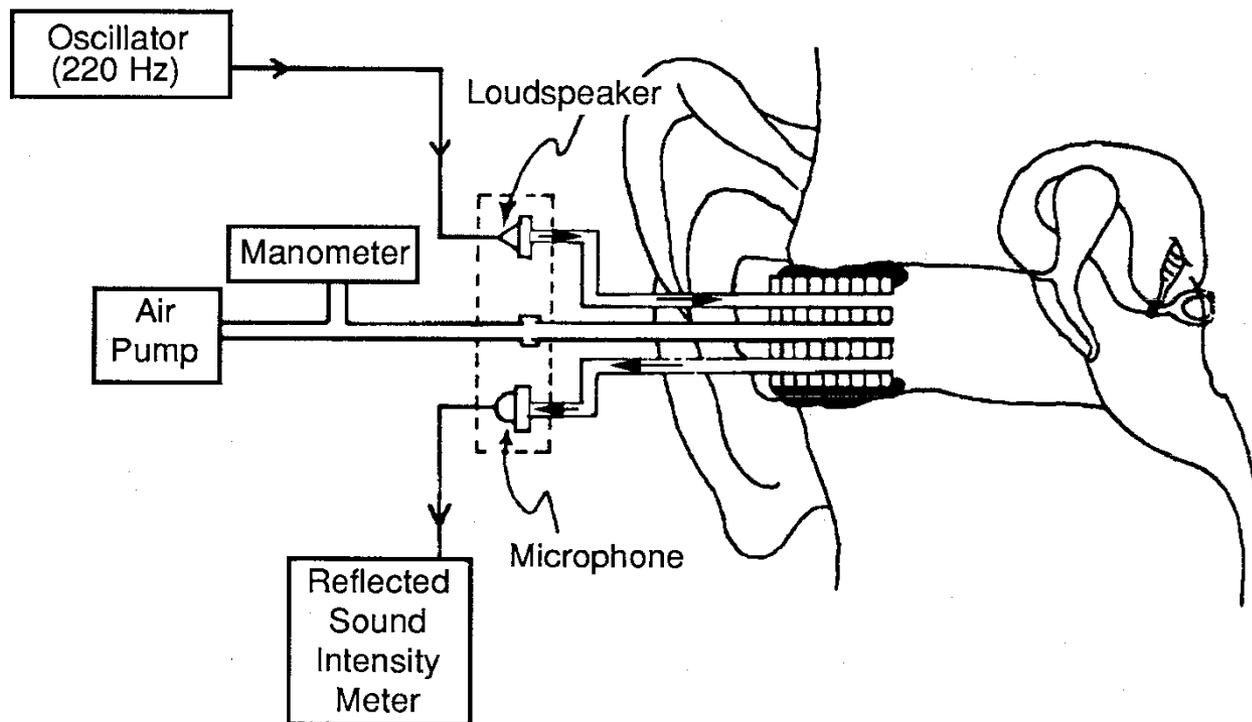


Resultado típico de perda auditiva por ruído

Testes de audição

2. Emitância do ouvido médio

- Avalia o tímpano e o ouvido médio, além dos músculos envolvidos em seus movimentos, do ouvido interno e dos nervos envolvidos na condução sonora



Aparelhos auditivos

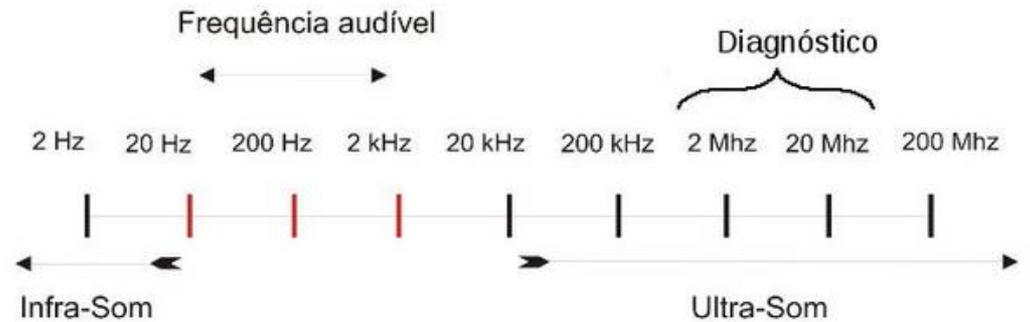
Microfone → Amplificador → Auto-falante

- Amplifica o som e o ruído ambiente
- É mais útil para perdas de 40-85dB
- É limitado pelo limiar da dor na audição (100dB)
- Pode ser melhor usado em conjunto com a leitura labial
- Permite o ajuste da frequência e amplificação em que é usado
- Avanços ainda ocorrem neste campo e tendem a aparelhos com amplificações variáveis para cada frequência de forma a melhor se adaptar as perdas do usuário

Por que nosso ouvido apita após ouvirmos música alta?

- Não se sabe ao certo...
- Acredita-se que alguma trauma no ouvido interno é produzido, fazendo com que as células ciliadas continuem enviando sinais nervosos ao cérebro (*self-firing*)
- No entanto, existem evidências de que o cérebro também contribui para este ruído.

Ultrassom



- Alguns animais (morcegos, golfinhos, mariposas etc.) se locomovem, encontram alimento e fogem do perigo através de ondas ultrassônicas que eles próprios emitem.
- Pode detectar objetos sob a água.
- Como o US está fora da faixa de frequência audível ao homem, ele pode ser empregado com intensidade de baixas à muito altas.
- Aplicações
 - **Baixa intensidade:** objetivo de transmitir energia através do meio e com isso obter informações do mesmo, como por exemplo, em medidas das propriedades elásticas de materiais e diagnóstico médico
 - **Alta intensidade:** objetivo de produzir alteração no meio através do qual se propaga, como por exemplo, em terapia médica.

Uso do ultrassom na medicina

- Se baseia na reflexão das ondas ultrassônicas nas interfaces (separação entre dois meios) ou no efeito Doppler.
- Obtém-se informações sobre:
 - Tamanho de estruturas ou órgãos
 - Ex: cefalometria fetal, volume fígado ou bexiga
 - Anomalias anatômicas
 - Ex: cistos no ovário ou metástases hepáticas
 - Função
 - Ex: escleroses da válvula mitral
- Ultrassom é mais segura quando comparado à radiação ionizante, é não invasivo e não traumático e tem particularidades de detecção que outros métodos diagnósticos não possuem

Geração e detecção de ultrassom

- Ultrassom é gerado por transdutores ultrassônicos
- Transdutor = dispositivo que converte energia elétrica em mecânica e vice-versa:

Campo elétrico → variação na dimensão dos materiais → ondas sonoras

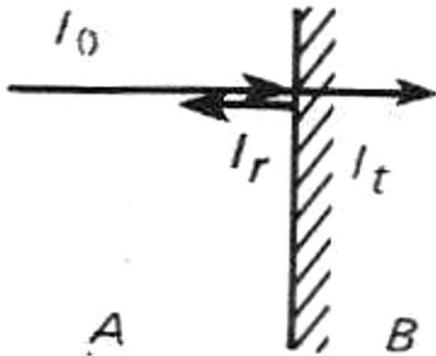
Onda sonora → variação na dimensão dos materiais → Campo elétrico



- Ultrassom é transmitido ao corpo colocando o transdutor em contato com a pele, usa-se gel ou água para obter bom acoplamento e aumentar a transmissão ou detecção do ultrassom

Propriedades das ondas ultrassônicas

- O que acontece com o som quando ele alcança uma interface entre dois meios?
 - Para os pequenos λ do ultrassom em relação as dimensões da interface, e incidência perpendicular:
 - o coeficiente de reflexão de intensidade R:



$$R = \frac{I_r}{I_0} = \frac{(Z_A - Z_B)^2}{(Z_A + Z_B)^2}$$

com I_r e I_0 as intensidades das ondas refletidas e incidentes, Z_A e Z_B as impedâncias acústicas dos meios A e B.

- O coeficiente de transmissão de intensidade T:

$$T = \frac{I_t}{I_0} = \frac{4Z_A Z_B}{(Z_A + Z_B)^2}$$

- Sendo que: $\frac{I_r}{I_0} + \frac{I_t}{I_0} = 1$

Densidade e impedância acústica para alguns materiais e velocidade do som neles

Material	ρ (kg/m ³)	v (m/s)	Z [kg/(m ² · s)]
Ar	1,29	$3,31 \times 10^2$ (CNTP)	430
Água	$1,00 \times 10^3$	$14,8 \times 10^2$	$1,48 \times 10^6$
Cérebro	$1,02 \times 10^3$	$15,3 \times 10^2$	$1,56 \times 10^6$
Músculo	$1,04 \times 10^3$	$15,8 \times 10^2$	$1,64 \times 10^6$
Gordura	$0,92 \times 10^3$	$14,5 \times 10^2$	$1,33 \times 10^6$
Osso	$1,90 \times 10^3$	$40,4 \times 10^2$	$7,68 \times 10^6$

Propriedades das ondas ultrassônicas

- Outra característica importante das ondas ultrassônicas é que ao atravessar um meio homogêneo, ocorre um decréscimo de sua intensidade com a distância
 - Ele ocorre por espalhamento, divergência da onda sonora e por sua absorção
 - Chamamos este fenômeno de atenuação e ele obedece a lei exponencial:

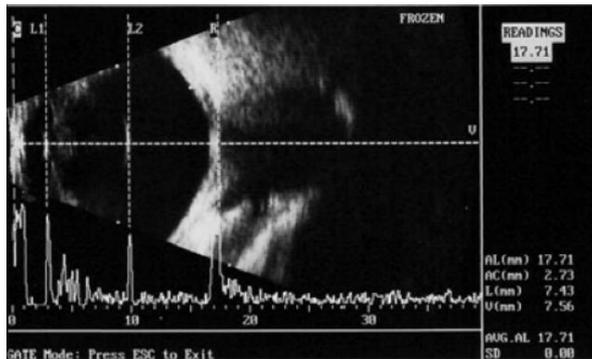
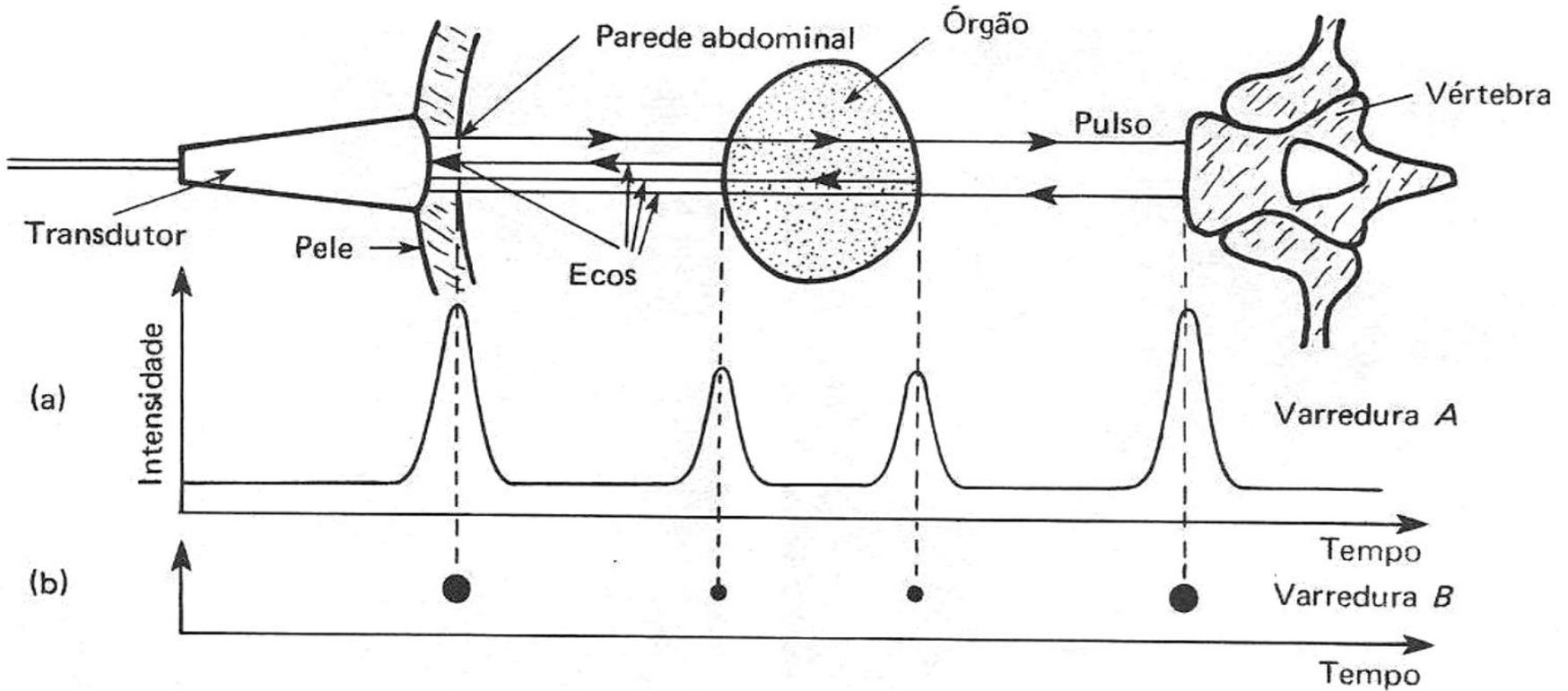
$$I = I_0 e^{-2\alpha x}$$

com I sendo a intensidade do ultrassom (W/m^2 , W/cm^2) após atravessar uma espessura x (cm) de um material de coeficiente de atenuação α (cm^{-1}) e I_0 a intensidade inicial.

Ultrassom na medicina

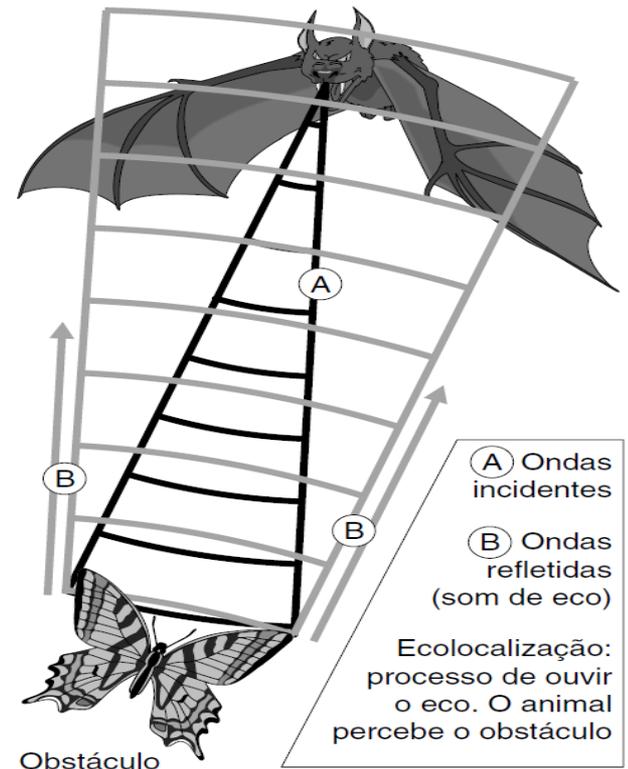
- Quanto maior a frequência do ultrassom, menor o comprimento de onda e maior a absorção.
 - Na fisioterapia dermatofuncional é usada frequência de 3MHz, pois terá maior absorção superficial, fazendo com que haja menor penetração.
- Para os propósitos de obtenção de imagens (ultrassonografia): frequências entre 1 e 10 MHz são usadas.
 - O ultrassom na faixa de frequência de 1MHz é empregado normalmente em lesões profundas, e o ultrassom de 3MHz é utilizados em lesões superficiais (profundidade média de 1 a 2cm, ou até mesmo 2,5cm).

Formação de imagens com ultrassom



Ecolocalização

- Sistema de auto-informação no qual um mesmo animal possui um órgão para emitir um sinal acústico e outro órgão para receber os sinais do eco do sinal emitido.
- A energia usada para obter estas informações é gerada pelo próprio animal
- Estes animais usam esta informação para avaliar a distância dos obstáculos e também de seu contorno, no caso do sinal varrer certa região do espaço.
- As características principais das espécimes com capacidade de ecolocalização são:
 - Possuem um mecanismo evoluído para gerar sons (morcegos, pássaros).
 - Possuem grande extensão espacial para suas atividades (nadadores e voadores).
 - Realizam sua atividade diária em mais ou menos completa escuridão.



Referências

- Okuno, E. et al. Física para ciências biológicas e biomédicas (1982). Capítulo 14 e 15.
- Cameron, J. R. et al. Physics of the Body. (1999). Capítulo 11