

Universidade de São Paulo
Instituto de Física

Física Aplicada
Aula 03

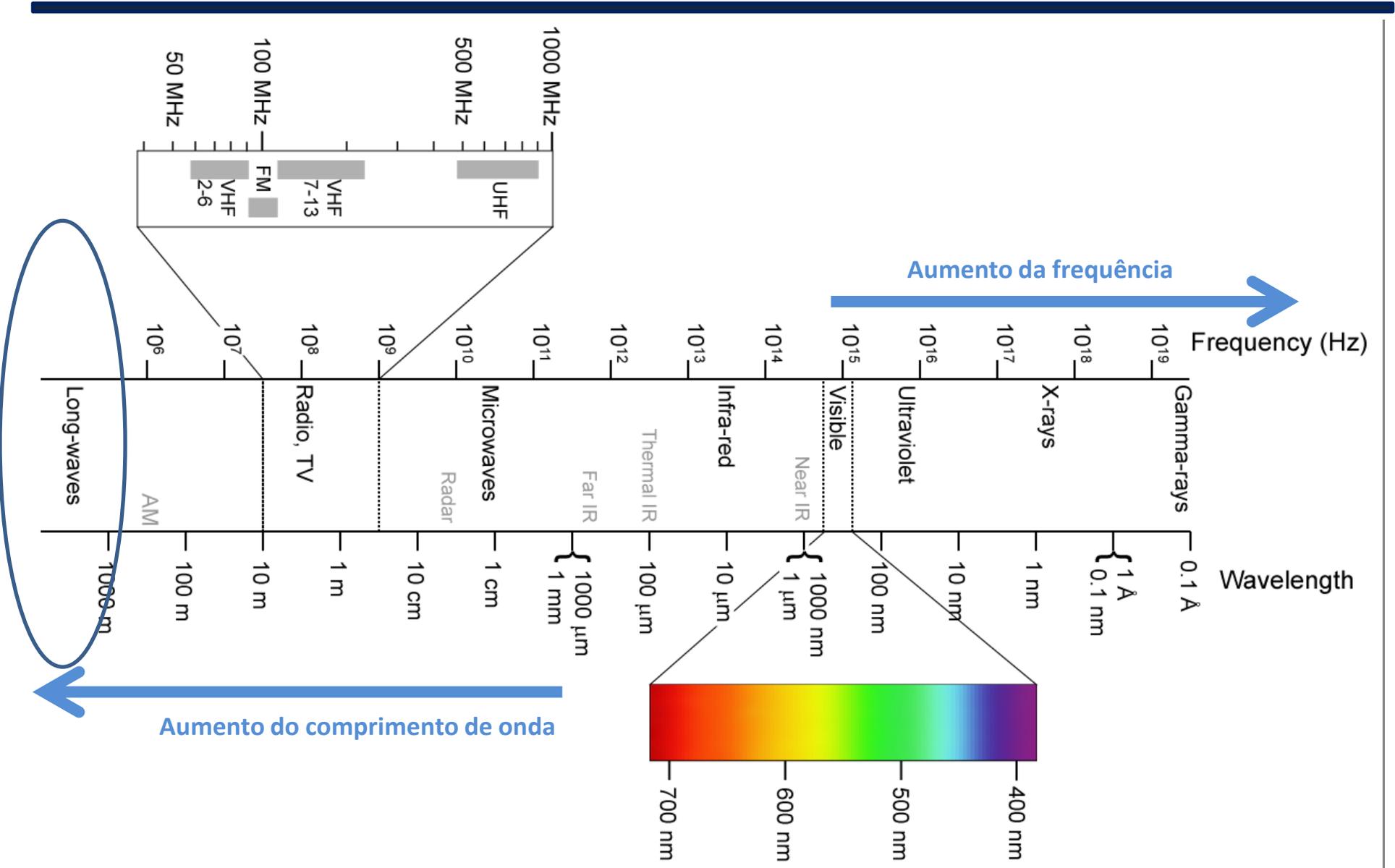
Profa. Márcia de Almeida Rizzutto

Edifício Oscar Sala – sala 220

rizzutto@if.usp.br

1º Semestre de 2019

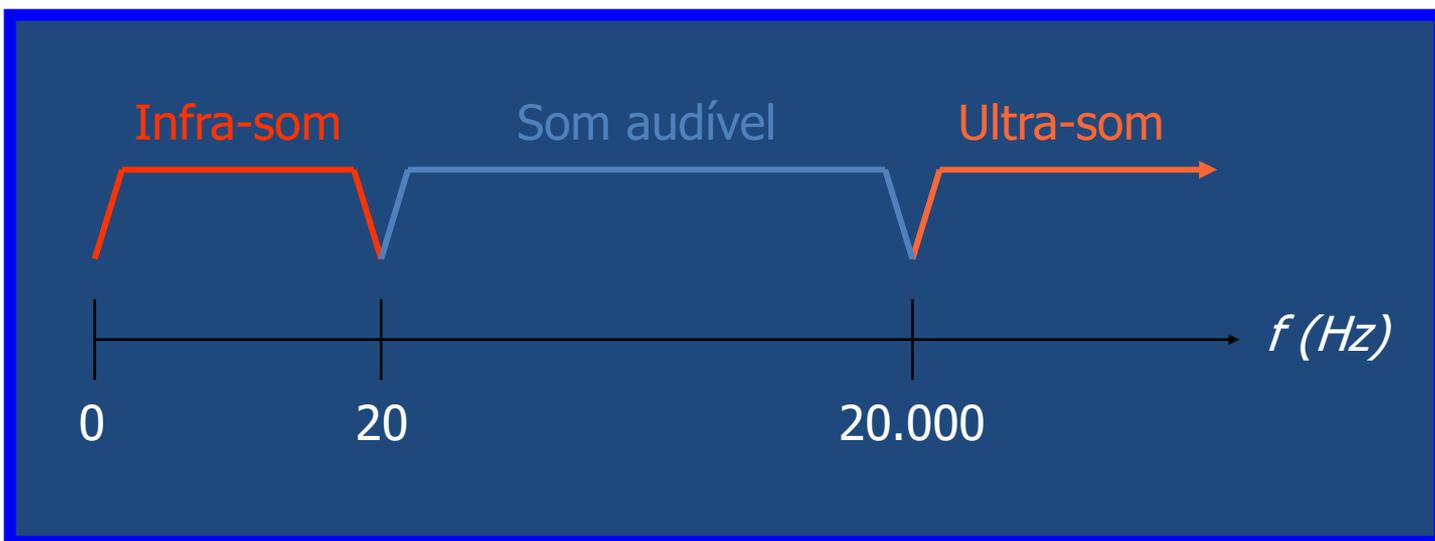
Espectro Eletromagnético (Arco-íris de Maxwell)



Revisão sobre ondas

Acústica – A Freqüência do Som

- Infra-som: sons com freqüências abaixo de 20Hz. Não perceptível ao ser humano;
- Ultra-som: sons com freqüências acima de 20000Hz. Não perceptível ao ser humano;
- Som audível: sons com freqüências perceptíveis ao ser humano (20Hz a 20000Hz)



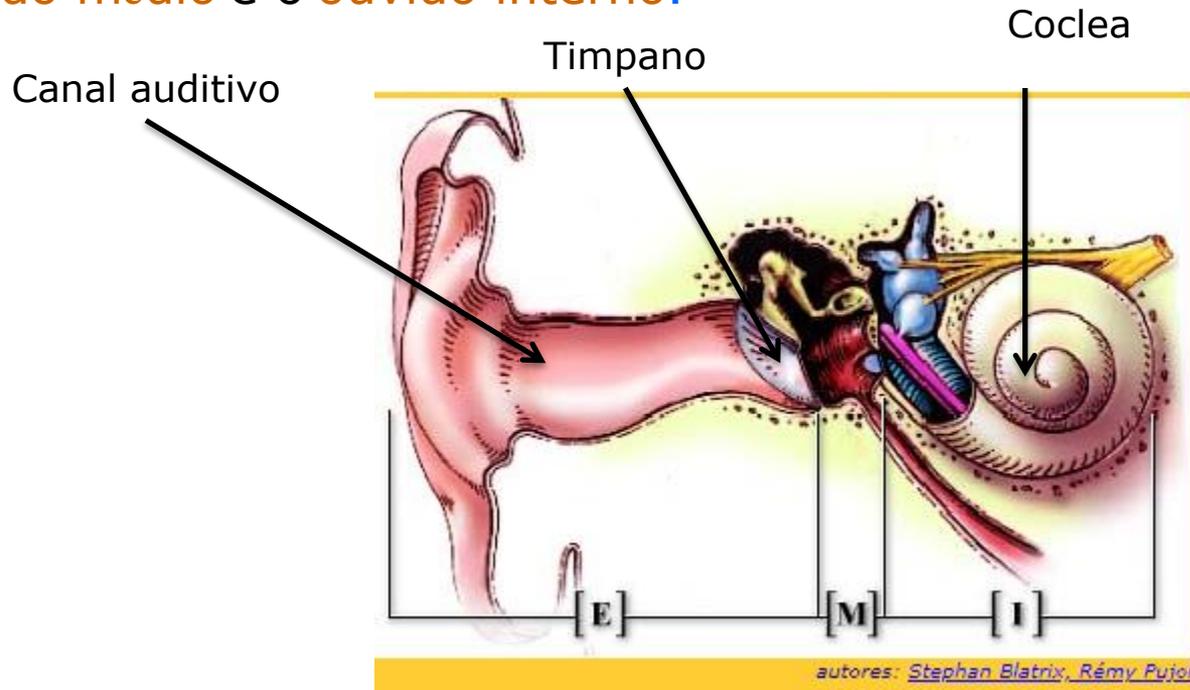
Vimos já que o Homem consegue ouvir sons entre 20 e 20000Hz, mas nem todos os seres têm esta particularidade. Na tabela seguinte é possível comparar as gamas de frequências audíveis para vários animais.

Animal	Mínimo (Hz)	Máximo (Hz)
Elefante	20	10000
Pássaro	100	15000
Gato	30	45000
Cão	20	30000
Chimpanzé	100	30000
Baleia	40	80000
Aranha	20	45000
Morcego	20	160000

Tabela 1 – Gama de frequências que alguns animais conseguem ouvir

Constituição do sistema auditivo humano

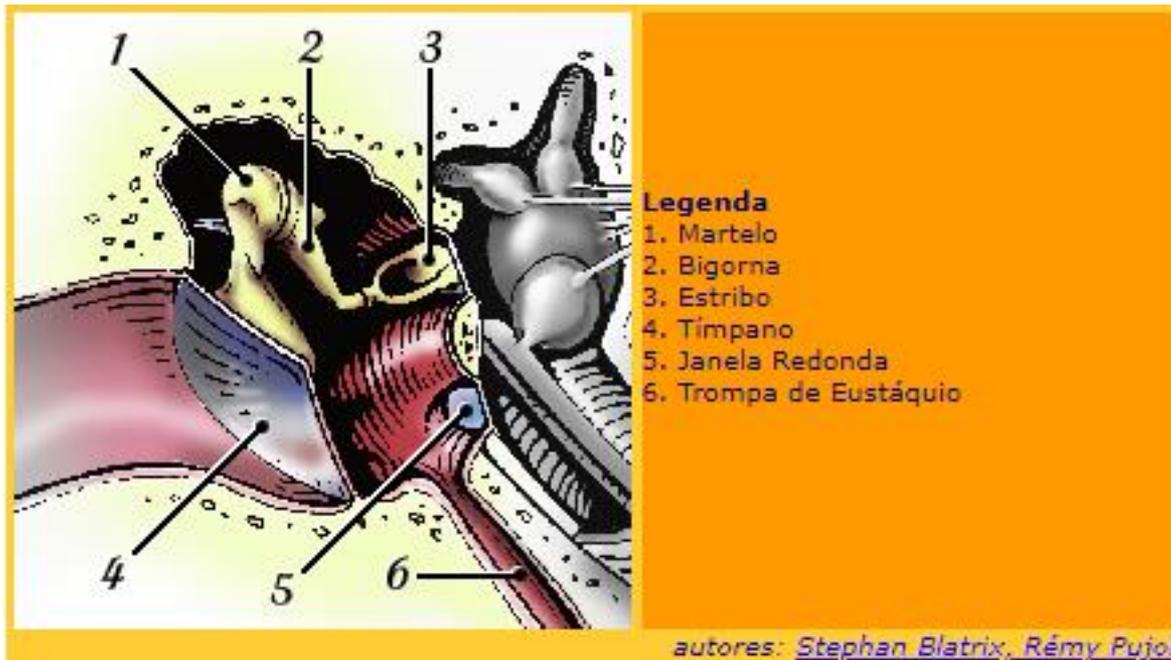
O ouvido humano pode ser separado em três grandes partes, de acordo com a função desempenhada e a localização: o **ouvido externo**, o **ouvido médio** e o **ouvido interno**.



ouvido externo o pavilhão auricular e o canal auditivo, cujas funções são recolher e encaminhar as ondas sonoras até ao tímpano. É também no canal auditivo que se dá a produção de cera, que não é mais do que uma forma de este se manter húmido e limpo. Isto porque a cera ajuda a reter partículas de pó, sujidade e microorganismos. Os cotonetes não devem ser introduzidos no canal auditivo. Isto porque ajudam a empurrar a cera contra o tímpano podendo danificá-lo ou, no mínimo, formar uma barreira que dificulta a audição.

Constituição do sistema auditivo humano

O **ouvido médio**, também denominado de caixa timpânica, é uma cavidade com ar, por detrás da membrana do tímpano através da qual a energia das ondas sonoras é transmitida, do ouvido externo até à janela oval na cóclea, esta já no ouvido interno. Essa transmissão de energia é efetuada através de três ossos minúsculos (o martelo (1), a bigorna (2) e o estribo (3)), que vibram, solidários com o tímpano.. No ouvido médio existe ainda um canal, em parte ósseo, em parte fibrocartilaginêo, denominado de trompa de Eustáquio (6), que o mantém em contacto com a rinofaringe. Esta é a forma encontrada pela natureza de manter uma pressão constante no ouvido médio. Para que isso possa acontecer, a trompa de Eustáquio abre e fecha constantemente.



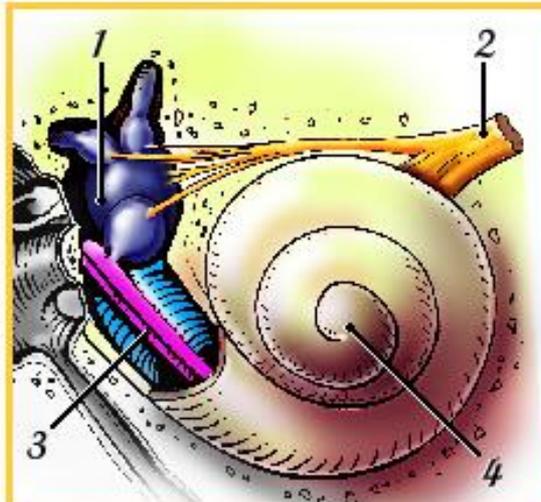
Constituição do sistema auditivo humano

O ouvido interno

É no **ouvido interno** ou **labirinto** que se encontra a parte mais importante do ouvido periférico (o que se encontra entre o pavilhão auricular e os nervos auditivos). A **cóclea**, em forma de caracol, é responsável em grande parte pela nossa capacidade em diferenciar e interpretar sons.

A cóclea desenvolve uma função complexa de conversão de sinais, em resultado da qual os sons nela recebidos (do tipo mecânico) são transformados em impulsos eléctricos que "caminham" até ao cérebro pelo **nervo auditivo**, onde são depois descodificados e interpretados.

A cóclea parece uma concha do mar, sendo constituída por um "tubo" ósseo enrolado sobre si próprio, com as dimensões aproximadas de uma ervilha.



Legenda

1. Canais semicirculares
2. Nervo Auditivo
3. Membrana Basilar
4. Cóclea

Revisão sobre ondas

Quanto ao tipo de propagação:

a) Ondas longitudinais

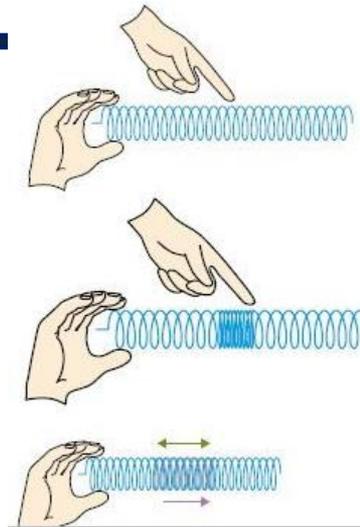
- São aquelas em que os pontos do meio oscilam na mesma direção de propagação.

b) Ondas transversais

- São aquelas em que a direção de propagação da energia (onda) é perpendicular à direção de vibração dos pontos do meio (exemplo uma onda se propagando em uma corda tensionada. A onda se propaga horizontalmente enquanto os pontos da corda se movimentam verticalmente).

c) Ondas mistas

- onda se propaga de forma mista, tanto transversal quanto longitudinal.



Revisão sobre ondas

Classificação das ondas:

a) Ondas mecânicas

- são aquelas que se manifestam apenas no interior de meios materiais. É o caso do som, dos pulsos nas cordas de um violão e das ondas que se propagam nos líquidos. Tais exemplos mostram que essas ondas estão relacionadas com a oscilação do meio onde se propagam.

b) Ondas eletromagnéticas

- Quando uma carga elétrica está presente em uma dada região do espaço, ela estabelece em suas vizinhanças um campo elétrico. Quando esta carga vibra, o campo elétrico sofre variações que provocam o aparecimento de um outro campo chamado magnético. Nesta região haverá um campo elétrico e um campo magnético que apresentam intensidades oscilantes. As oscilações das intensidades dos vetores representativos desses campos aparecem em pontos cada vez mais afastados da fonte, caracterizando uma onda chamada eletromagnética.
- As [ondas eletromagnéticas](#) podem ser transmitidas em diversos meios, inclusive no vácuo. Alguns exemplos de ondas eletromagnéticas são: luz, ondas de rádio, raios X, micro-ondas, “laser” e radar.

Revisão sobre ondas

Ondas sonoras

VAMOS OLHAR AS ONDAS SONORAS

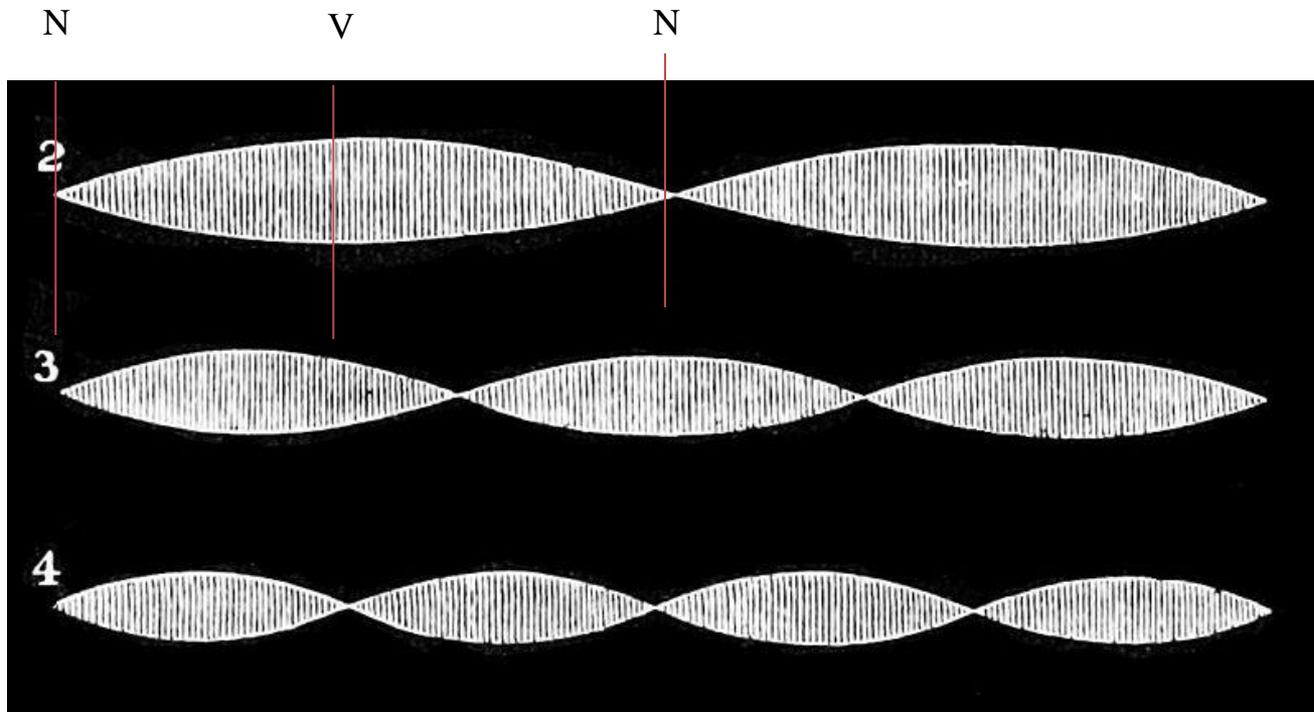
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOM

- Os principais efeitos com os quais os engenheiros de som e músicos têm que lidar são:
- Difração
- Reflexão
- Interferência
- Refração
- Efeitos de transmissão, absorção e dispersão das ondas.

Revisão sobre ondas

Ondas sonoras

As ondas sonoras são longitudinais.

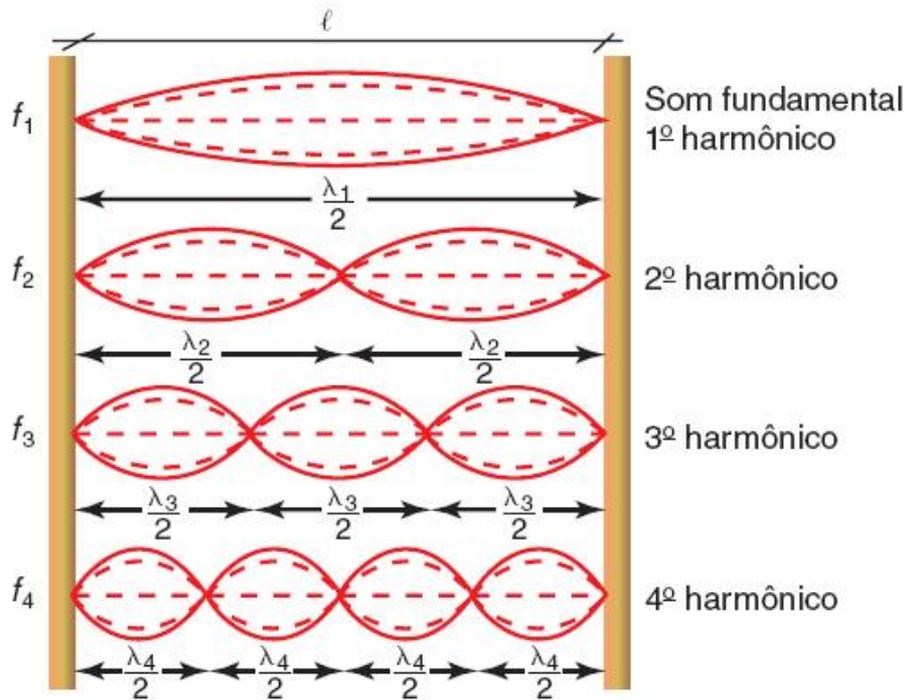


Revisão sobre ondas

Cordas Vibrantes

Modos normais em uma corda.

Instrumentos: pianos, violinos, guitarras – corda (de comprimento l) que está fixa em ambas as extremidades



Ondas estacionárias com nós e ventres. A distância entre dois nós adjacentes é igual a meio comprimento de onda ($\lambda/2$).

$$l = n\left(\frac{\lambda}{2}\right) (n = 1, 2, 3, \dots)$$

Relacionadas a estes comprimentos de onda temos as frequências:

$$v = \lambda f_n$$

$$f_n = \frac{v}{\lambda} = n \frac{v}{2l}$$

Frequência fundamental

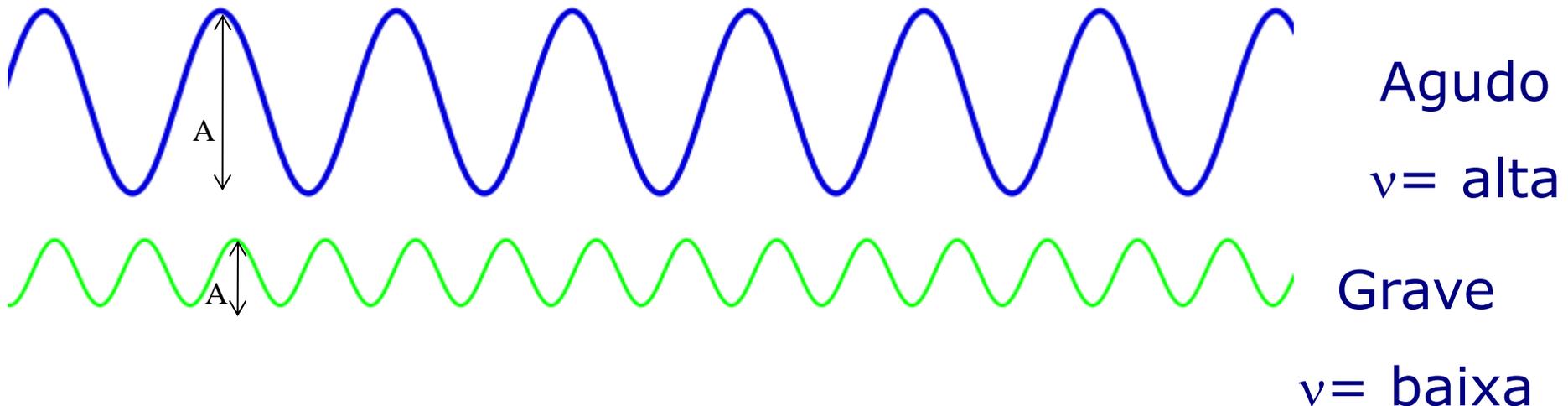
$$f_1 = \frac{v}{2l}$$

Revisão sobre ondas

Ondas sonoras

ALTURA: diferencia sons graves (baixo) de sons agudos (alto).

Está relacionado à frequência da onda.

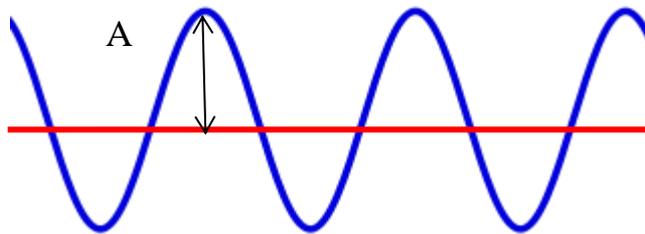


Revisão sobre ondas

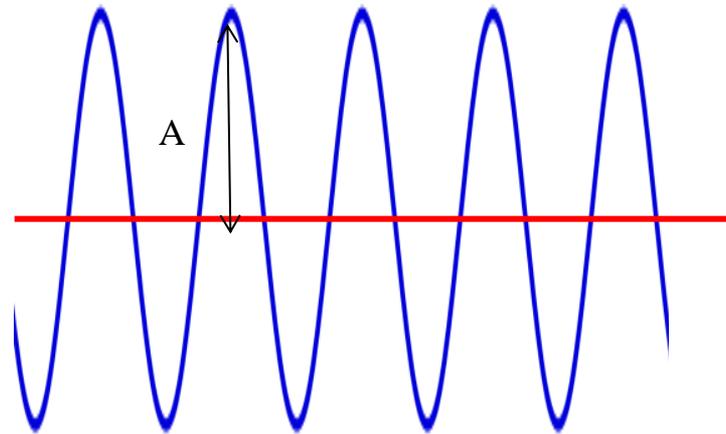
Ondas sonoras

INTENSIDADE (VOLUME): diferencia sons fortes de sons fracos.

Está relacionado à amplitude da onda.



Fraco



Forte

$$I = \frac{P}{A}$$

Razão entre a potência de uma onda sonora e a área atravessa por ela

Revisão sobre ondas

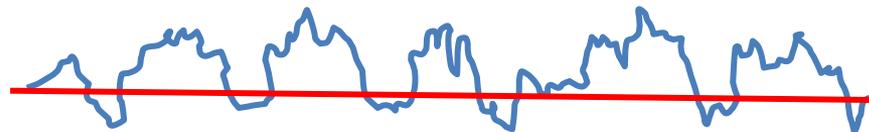
Ondas sonoras

TIMBRE: diferencia sons de mesma altura, mesma intensidade tocados em instrumentos diferentes.

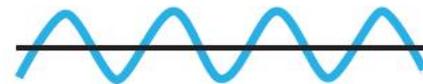
Está relacionado à forma da onda.



Som Musical Simples



Ruido, rock n' roll, etc



Diapasão



Vogal ``a`` (voz)



Violino



Baixo (voz)



Flauta



Vogal ``o`` (voz)



Piano

Os timbres dos vários instrumentos e da voz humana são diferentes porque são constituídos por misturas de frequências.

Revisão sobre ondas

Ondas sonoras

NÍVEL SONORO é a relação entre a intensidade do som ouvido e a intensidade mínima.

Limiar de audição: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Intensidade máxima suportável (limiar da dor):

$$I = 1 \text{ W/m}^2$$

$$\beta = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

unidade: decibel(dB)

Revisão sobre ondas

Ondas sonoras

$$\beta = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

unidade: decibel(dB)

Níveis sonoros
exemplificados por
ruídos do cotidiano



Revisão sobre ondas

Fenômenos ondulatórios

Reflexão do som

O cérebro humano tem persistência acústica de cerca de 0,1 s: se dois sons chegarem à orelha num intervalo de tempo menor que esse, a pessoa não será capaz de distingui-los.

O som refletido é chamado de:

- **eco**: o tempo de reflexão é superior a 0,1 s. O indivíduo ouve o som emitido e o som refletido separadamente.
- **reverberação**: o tempo é ligeiramente inferior a 0,1 s. A sensação do som emitido está começando a desaparecer quando ele é reforçado pelo som refletido. O indivíduo interpreta o som original como tendo duração ampliada.
- **reforço**: o tempo é bem inferior a 0,1 s. O organismo não distingue os sons, interpretando-os como um som único, de intensidade maior.

Revisão sobre ondas

Fenômenos ondulatórios

Difração do som

- O som consegue contornar uma abertura (ou obstáculo), desde que as dimensões dessa abertura sejam próximos do comprimento de onda sonora.
- No ar, respeitando-se o espectro de frequência audíveis, essas dimensões situam-se entre 1,7 cm e 17 m.

Revisão sobre ondas

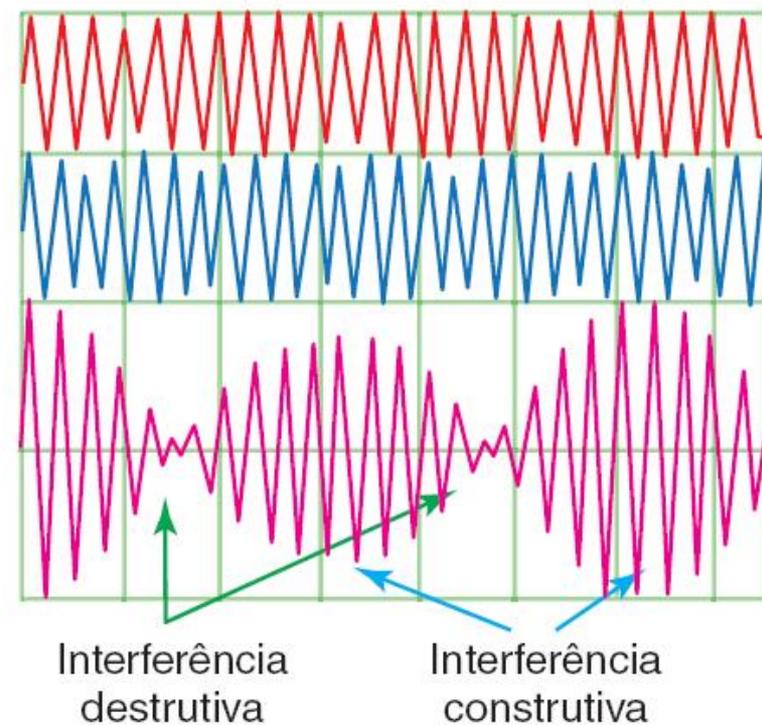
Fenômenos ondulatórios

Interferência sonora

Ocorre quando duas ondas sonoras se superpõem. Se possuem a mesma amplitude e frequências muito próximas, ocorre o chamado **batimento**.

As ondas vermelhas e azuis têm amplitude e frequências muito próximas. Quando combinadas, geram as ondas em magenta, que batem ou pulsam.

Observe as regiões de interferência destrutiva, em que a amplitude é praticamente zero, e as regiões de interferência construtiva, com uma amplitude que é praticamente o dobro da inicial.



A frequência da onda resultante do batimento depende das frequências das ondas originais:

$$f_{\text{magenta}} = |f_{\text{vermelha}} - f_{\text{azul}}|$$

Revisão sobre ondas

Acústica – A Velocidade do Som

- As ondas sonoras propagam-se em meios sólidos, líquidos e gasosos, com velocidades que dependem das diferentes características dos materiais. De um modo geral, as velocidades maiores ocorrem nos sólidos e as menores, nos gases.
- A 20°C , o som propaga-se no ferro sólido a 5100m/s , na água líquida a 1450m/s e no ar a 340m/s .

$$V_{\text{Sól.}} > V_{\text{Líqu.}} > V_{\text{Gas.}}$$

VELOCIDADE DO SOM NO AR

$\sim 340 \text{ m/s}$ a 20°

\uparrow **Densidade** \Rightarrow **velocidade** \uparrow

$\sim 330 \text{ m/s}$ a 0°C

Revisão sobre ondas

Acústica – Velocidade do Som

$$V_{Sól.} > V_{Líq.} > V_{Gas.}$$

A velocidade de uma onda longitudinal em um fluido, depende do módulo de compressão (B) e da densidade do meio (ρ)

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

A velocidade de uma onda longitudinal em uma barra sólida pode se deformar lateralmente enquanto que um fluido no interior de um tubo não pode

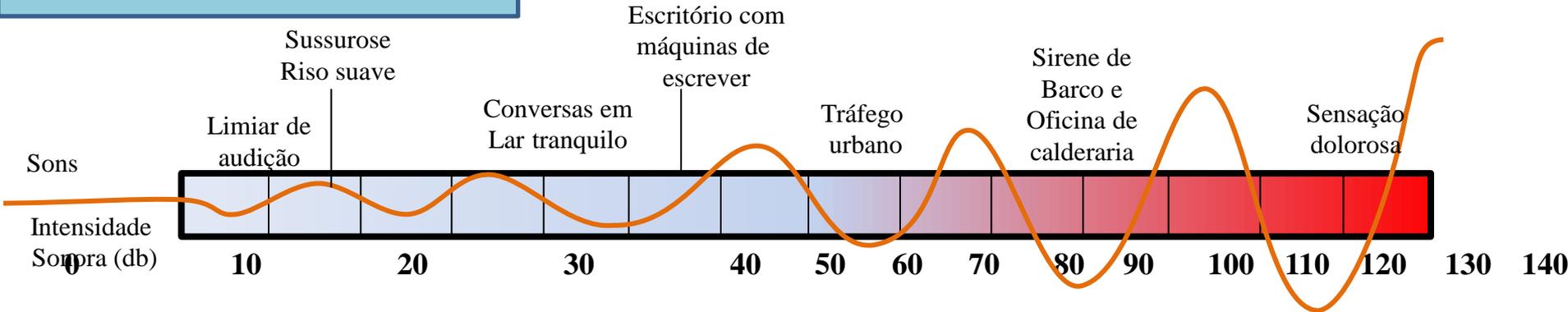
Gases	Velocidade do som m/s
Ar (20° C)	344
Hélio (20° C)	999
H (20° C)	1330
Líquidos	Velocidade do som m/s
Hélio Liq. (4K)	211
Hg (20° C)	1451
Água (0° C)	1402
Água (20° C)	1482
Água (100° C)	1543
Sólidos	Velocidade do som m/s
Alumínio	6420
Chumbo	1960
Aço	5941

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

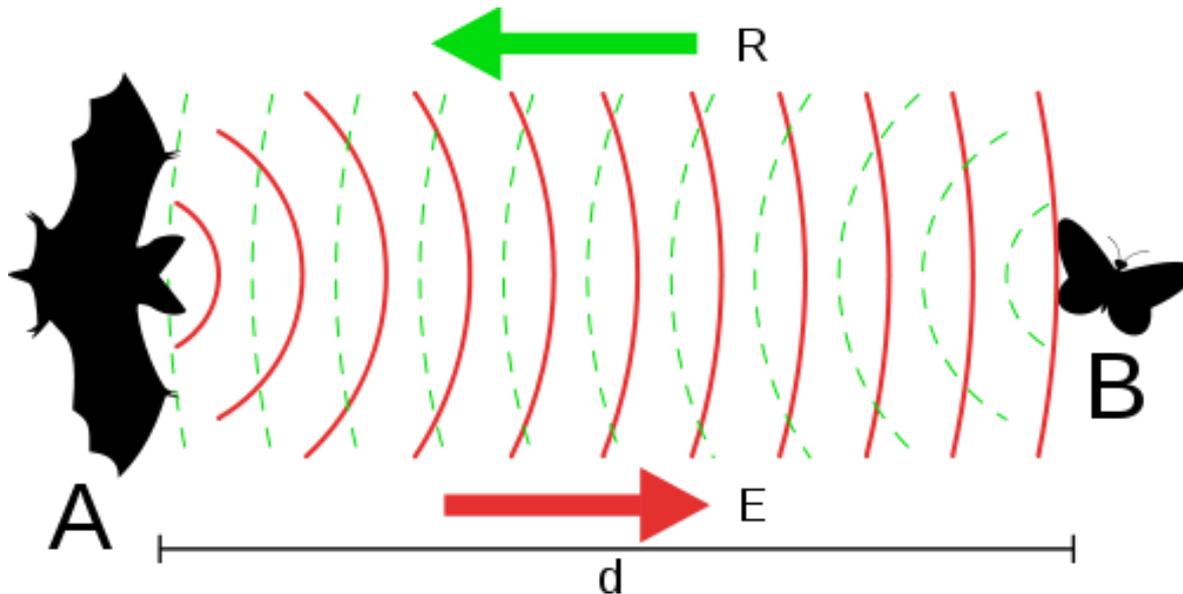
Y= módulo de Young

Revisão sobre ondas

Ondas sonoras



ECO é a reflexão do som.

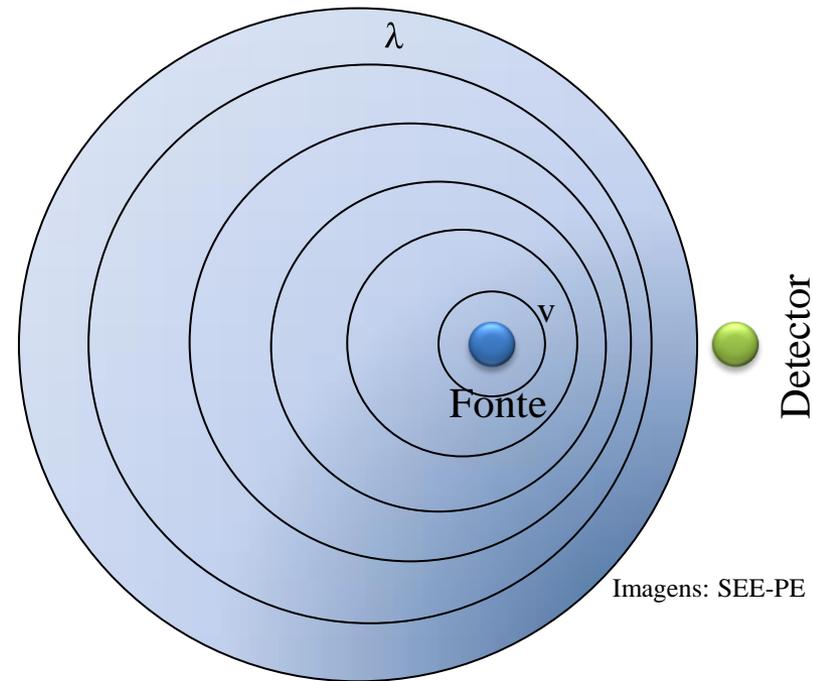


Revisão sobre ondas

Ondas sonoras

O EFEITO DOPPLER DO SOM

- No efeito Doppler do som, é necessário distinguir as situações em que ele é causado pelo movimento da **fonte** ou do **observador**. Isso porque o som propaga-se no ar e ambos podem ter velocidades relativas a este.
- Já para a luz, que se propaga no vácuo, importa apenas a velocidade relativa entre a fonte e o observador.



Revisão sobre ondas

Ondas sonoras

f' frequência aparente (percebida pelo ouvinte)

f frequência real da fonte

$$f' = f \cdot \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_F} \right)$$

$v \rightarrow$ *velocidade do som*

$v_o \rightarrow$ *velocidade do observador*

$v_F \rightarrow$ *velocidade da fonte*

Aplicações

SOM

Estetoscópio

O estetoscópio é um instrumento utilizado na medicina que serve de auxiliar à audição do médico, permitindo que este possa ouvir melhor os sons provenientes do interior do nosso corpo humano, com particular destaque para o coração e os pulmões.

A maioria dos sons do coração é de baixa frequência, situando-se numa zona onde a sensibilidade auditiva é baixa. Já os pulmões apresentam geralmente sons com frequências maiores.

Som como tratamento terapêutico

O som também é usado no tratamento terapêutico de algumas doenças rebeldes ao tratamento clássico. Mas a sua essencial aplicação é baseada nos seus efeitos **caloríficos**, particularmente sensíveis sobre os ossos. Mas também, empregados no tratamento de reumatismo, lumbago, ciática e nevralgia e para impedir o desenvolvimento de certas formas de tumores ósseos.

Os sons também podem ser utilizados para a localização, quer pelo homem, quer por outros animais: "**eco-localização**"

A "eco-localização" é a capacidade que alguns animais possuem para utilizar os ultrasons para a sua orientação e locomoção. Podem também utilizar este sistema para capturar as suas presas. Os golfinhos, os morcegos e as baleias recorrem a este sistema, não só para comunicarem entre si, mas para se orientarem e caçarem.

Aplicações

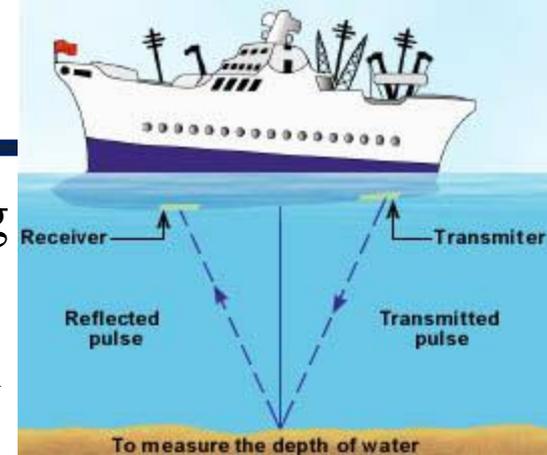
SONAR - Sound Navigation and Ranging

O sonar é um instrumento que emite ultra-sons que ao baterem nos objetos que se encontram na água, refletem o seu eco. A posição é determinada pelo conhecimento do intervalo de tempo entre a emissão e a recepção dos ultra-sons (sendo necessário para isso conhecer também a sua velocidade na água). O sonar permite não só detectar obstáculos ou seres vivos no oceano (como submarinos ou cardumes de peixes), mas também permite saber a que distância se encontra o fundo (importante na circulação em águas pouco profundas).

O termo "sonar" também pode ser utilizado para equipamentos usados para gerar e receber os sons. A frequência usada nos sistemas de sonar variam de muito baixa (infrassônica) até extremamente alta (ultrassônica).

A primeira patente no mundo para um dispositivo desse tipo foi solicitada pelo Escritório Britânico de Patentes, pelo meteorologista inglês Lewis Richardson, um mês depois do naufrágio do Titanic, e um físico alemão, Alexander Behm em 1913.

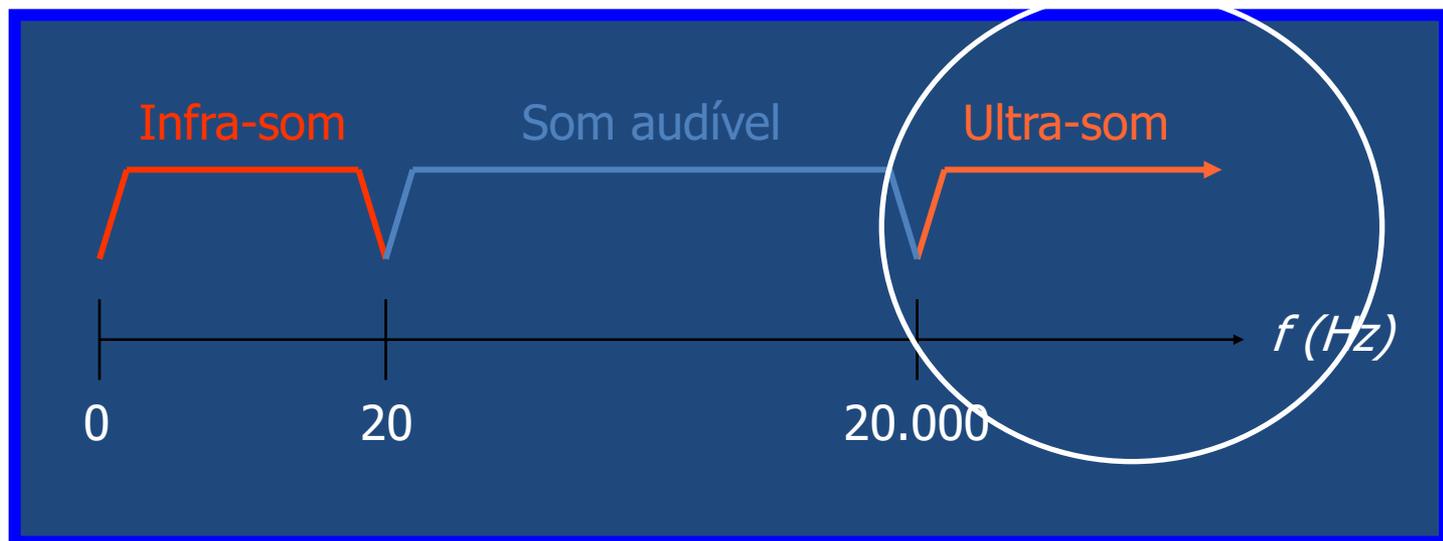
Paul Langevin (físico francês – 1917 – localizar submarinos alemães)



Revisão sobre ondas

Acústica – A Freqüência do Som

- Infra-som: sons com freqüências abaixo de 20Hz. Não perceptível ao ser humano;
- Ultra-som: sons com freqüências acima de 20000Hz. Não perceptível ao ser humano;
- Som audível: sons com freqüências perceptíveis ao ser humano (20Hz a 20000Hz)



Aplicações

ULTRA-SOM

Na medicina o som é usado:

Ecografia

- A ecografia tem várias finalidades como instrumento de diagnóstico (permitindo obter excelentes imagens de órgãos como os rins, o fígado ou a bexiga), mas é bastante utilizada também para a verificação e controlo do desenvolvimento do bebé.
- Esta vinculada a emissão de ultra-sons, que se propagam nos tecidos e que se refletem parcialmente de cada vez que mudam de meio. A sonda colocada num ponto da pele recebe os ecos refletidos pelos diferentes tecidos. Conhecendo o tempo remoto do eco, a sua amplitude e a sua velocidade de propagação, deduzem-se informações sobre a natureza e a espessura dos meios atravessados.

Litotricia

- O som também é usado na litotricia. A litotricia é uma técnica não invasiva utilizada para fragmentar cálculos (pedras) existentes no rim ou na vesícula biliar, de forma a permitir a sua expulsão.
- Este processo é feito com um aparelho chamado litrotitor para produzir ultra-sons, que são em seguida concentrados por intermédio de um refletor, de modo a poderem ser dirigidos para um ponto preciso. Os Ultra-sons pulverizam pedras renais em partículas finas que podem depois ser expelidas de modo natural.

Aplicação: Som na medicina

ULTRA-SOM

Impedância

- Todo meio material oferece uma certa “resistência” à transmissão de ondas sonoras;
- Mesma impedância = não há reflexão (toda onda é transmitida)
- Diferença de impedância = entre dois tecidos irá definir a quantidade de reflexão na interface e que promoverá a definição na imagem.
Exemplo: nódulo no fígado será mais facilmente identificado se sua impedância acústica for bastante diferente do tecido hepático ao redor
- Quanto maior a diferença de impedância entre duas estruturas, maior será a intensidade de reflexão

Aplicação: Som na medicina

Impedância acústica de alguns materiais

Material	(10^6 Rayls)
Ar	0,0004
Gordura	1,38
Água	1,48
Músculo	1,70
Outros tecidos moles	1,63
Osso	7,80

Ex. a diferença de impedância entre o ar e os tecidos moles, justifica a necessidade do gel de acoplamento acústico utilizado para aumentar o contato entre a pele e o transdutor, caso contrário o feixe não seria refletido.

Aplicação: Som na medicina

Transdutores



FG-32ua (by Pentax®)
Transdutor Endoscópico



EUP-OL334
Transdutor Laparoscópico



EUP-ES322
EUP-ES533
Transdutores Trans-Esofágicos



C3-7ED - SonoAce
Transdutor Convexo

Os transdutores usam **Elementos piezoelétricos**

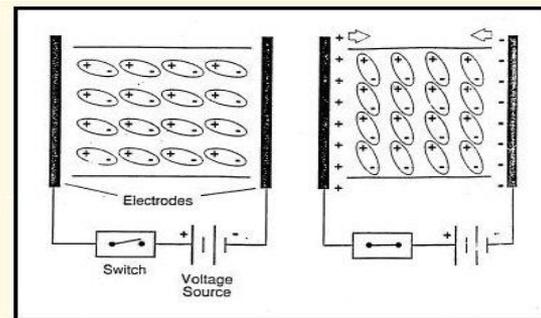
Aplicação: Som na medicina

Elementos piezoelétricos

Piezoelétricidade foi descoberta por Pierre e Jacques Curie em 1880.

Piezoelétricidade: é uma polarização elétrica produzida por certos materiais, como algumas moléculas e cristais, quando submetidos a uma deformação mecânica. É a propriedade que certos materiais (cristais) apresentam quando ao se contraírem e se expandiram produzem uma corrente elétrica. “efeito piezoelétrico direto”.

Efeito piezoelétrico



Piezoelétricidade:

Tensão alternada produz oscilações nas dimensões do cristal, devido ao re-alinhamento das moléculas polarizadas

Aplicação: Som na medicina

“Efeito piezoelétrico inverso” quando uma corrente alternada passa através do cristal piezoelétrico, resultando na contração e expansão dos cristais.

- Materiais piezoelétricos mais comuns: quartzo, turmalina, Titanato de Bário, **Titanato Zirconato de Chumbo (PZT)**.

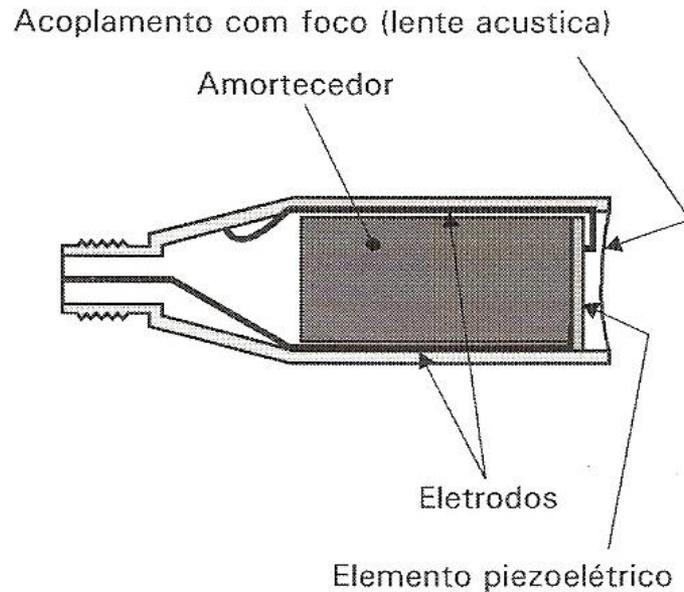


Figura 4



Aplicação: Som na medicina

Transdutores

- Produz e recebe ecos (normalmente 1% da onda emitida)
- Quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda sonora e melhor a resolução espacial;
 - Transdutores (de 3,5MHz): exame de tecidos profundos com abdômen, útero.
 - Transdutores (maiores que 7,5MHz) exame de tecidos superficiais, como mama, tireóide, pele, etc.

Aplicação: Som na medicina

Transdutores Funcionamento

- Meio homogêneo – propagação em linha reta
- Meio heterogêneo – as ondas são refletidas e cada densidade diferente, retornando ecos;
- Emissor e receptor
- Ecos provenientes de interfaces perpendiculares às ondas são recebidos
- De acordo com o tempo de emissão e recepção, estabelece-se a profundidade da imagem
- Quanto mais longe está a estrutura da superfície do transdutor, ela aparecerá em situação mais inferior na tela

Aplicação: Som na medicina

Velocidade da Onda Ultra-sônica

Velocidade de propagação	metros/segundo
Ar	330
Água	1500
Gordura	1430
Músculo	1620
tecidos moles	1540
Osso	3500

Aplicação: Som na medicina

Formação de Imagens por varredura

- Existem vários métodos para se extrair uma imagem a partir dos ecos:
- A-MODE (modo amplitude) }
• B-MODE (modo brilho) } Permite obter imagens com informações espaciais
- M-MODE (Modo movimento) } Permite obter imagens com informações sobre movimento/velocidade

Muitos equipamentos podem operar com uma combinação destes modos

Aplicação: Som na medicina

Formação de Imagens por varredura

- A-MODE (modo amplitude)
 - É mais antigo (1930)
 - Fornece informações unidimensionais
 - Muito utilizado em oftalmologia;
 - Possui a capacidade de diagnosticar tumores, corpos estranhos e deslocamento de retina
 - Usa um transdutor que emite um pulso no tecido, o sistema então lê e plota ao longo do tempo os sinais que retornam
 - Características:
 - Detecção das reflexões nas interfaces;
 - Tempo de ida e volta proporcional à profundidade de cada interface;
 - Produz uma única imagem de ecos recebidos de apenas uma posição da onda

Aplicação: Som na medicina

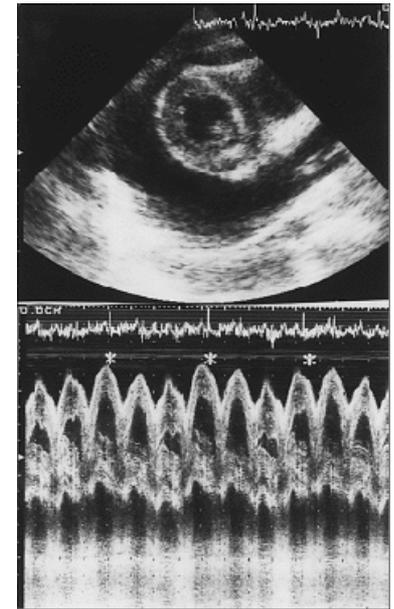
Formação de Imagens por varredura

- B-MODE (modo brilho)
 - É o mais utilizado
 - Fornece imagens em duas dimensões
 - Os transdutor é movimentado;
 - Estabelece informação no diagnóstico do fígado, mama, coração e feto
 - Pode detectar gravidez muito cedo, e pode estabelecer informação sobre anomalias uterinas.

Aplicação: Som na medicina

Formação de Imagens por varredura

- B-MODE (modo movimentação temporal)
- Gráficos de movimentação temporal;
- Bastante empregado em ecocardiografia
- O modo M combina certas características do modo A e o modo B;
- O transdutor é mantido estacionário no modo A e os ecos aparecem como pontos no modo B



Ecocardiografia em Modo M - ambos ventrículos rodeados de abundante derrame pericárdico

Aplicação: Som na medicina

As principais peculiaridades do método ultrasonográfico são:

- é um método **não-invasivo** ou minimamente invasivo;
- as imagens seccionais podem ser obtidas em **qualquer orientação** espacial;
- **não apresenta efeitos nocivos** significativos dentro do uso diagnóstico na medicina;
- **não utiliza radiação ionizante**;
- a aquisição de imagens é realizada praticamente em **tempo real**, permitindo o estudo do movimento de estruturas corporais.

Aplicação: Som na medicina

Aplicações : Ultra-Som 2 D

- Método Convencional;
- O ultra-som é feito inicialmente pelo modo bidimensional (crescimento e morfologia do feto);
- depois são feitas as reconstruções tridimensionais;
- A diferença entre o que é visto num ultra-som comum e no 3D é a mesma de um desenho só com o contorno e outro pintado e finalizado;

A meningocele é uma má-formação congênita da coluna vertebral que nasce nas costas da criança e assim deixa de executar sua função principal que é a de proteger a medula. O primeiro passo do tratamento fica à cargo do neurocirurgião que deve fechar a coluna para evitar maiores lesões aos nervos e evitar infecção na medula, as conhecidas meningites.

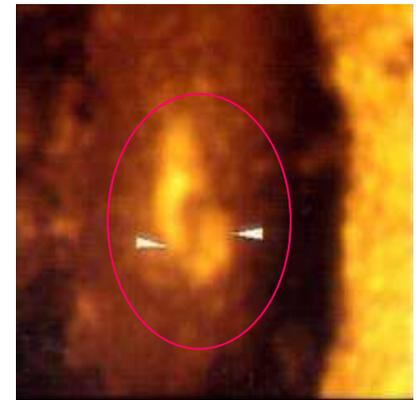


Aspecto de meningocele

Aplicação: Som na medicina

Aplicações : Ultra-Som 3 D

- inovação do método 2D;
- imagens obtêm uma qualidade quase fotográfica;
- ajuda a avaliar tumores e a verificar o volume dos órgãos;
- a possibilidade de olhar o bebê em 360 graus também melhora muito o vínculo afetivo entre mãe e filho



Aspecto de meningomielocele

REFERÊNCIAS UTILIZADAS NESTA AULA

- Halliday, Resnick e Walker - Fundamentos de Física –Vol. III e IV – 9ª ed.
- Sears e Zemansky - Fundamentos de Física Vol. III e IV – 12ª ed.
- H. Moysés Nussenzveig - Curso de Física Básica – Vol 3 e 4
- COSTA, MM, DIAS, EN, SILVA, HMS, FIGUEIRA F., ASS. *Câncer de Mama para Ginecologistas*. Editora Revinter. 1994.
- Empresa Siemens, <http://www.siemens.com/>,
- Fundação Odontológica de Ribeirão Preto - FORP – USP. *Ultra-som*. Disponível em <http://www.forp.usp.br/restauradora/us01.htm#Intro>.
- KÖBRUNNER, Syla H. Heywang, SCHREER, Ingrid, DERSHAW, D. David, FRASSON, Antonio. *MAMA Diagnóstico por Imagem*. Rio de Janeiro: Revinter, 1999. 412p
- MedSom – Equipamentos médicos. Disponível em: <http://www.medson.com.br/>.
- NEPOMUCENO, L. X., *Tecnologia Ultra-Sônica*. Editora Edigar Blücher Ltda. 1980
- Reseller Web – Mídia de Negócios. Disponível em: <http://www.resellerweb.com.br/noticias/artigo.asp?id=90093>.
- ROCHA,DC, BAUAB, SP. *Atlas de Imagem da Mama*. Editora Savier. 1995.
- *Terra Notícias*, Disponível em : <http://noticias.terra.com.br/ciencia/interna/0,,OI920212-EI238,00.html>.

Equações de Maxwell - 1861

As leis de Faraday mostraram que a eletricidade e o magnetismo estão fundamentalmente conectados

Lei de Gauss: $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}$

Carga elétrica produz campo elétrico

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Não existem monopolos magnéticos

Lei de Faraday:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

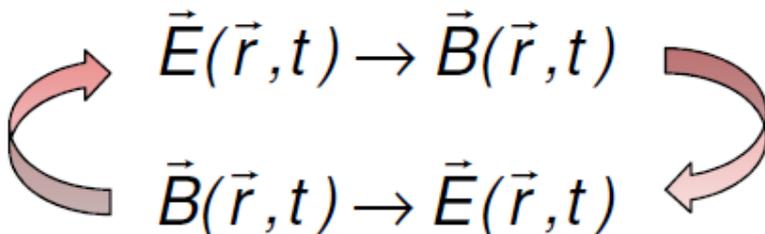
Varição de fluxo magnético com o tempo produz campo elétrico

Mostram que E e B são dependentes do tempo, e um influência no outro (estão acoplados) como consequência podem transportar energia (momento)

Lei de Ampère-Maxwell:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{int} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

Varição de fluxo elétrico com o tempo e corrente elétrica produzem campo magnético



A variação dos campos elétrico e magnético gera uma perturbação eletromagnética que se propaga de um ponto a outro do espaço:

ONDA ELETROMAGNÉTICA