

# Propagação da onda sonora

---

▪ **Prof. Theo Z. Pavan**

Física Acústica

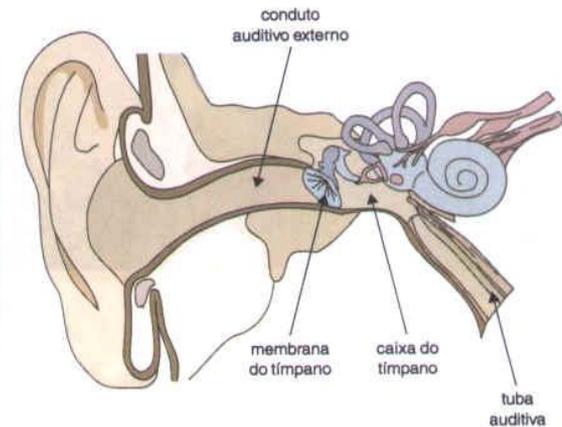
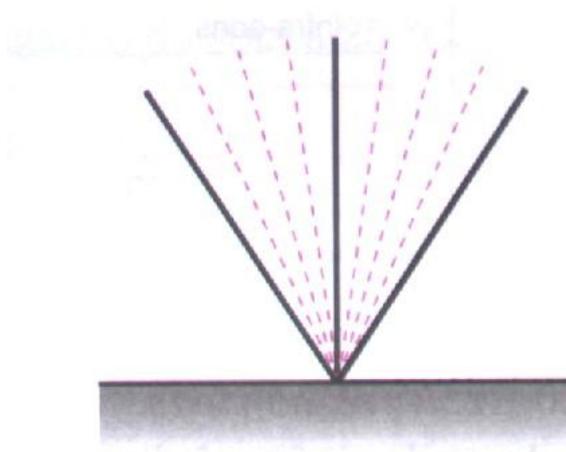
Aula 6

# Definição de onda sonora

- Denomina-se *onda* ao movimento das partículas causado por uma perturbação que se propaga através de um meio.
- A onda sonora é uma onda longitudinal que consiste na alternância regular de pressão num meio elástico (isto é, num meio em que a densidade varia com a pressão) e essas flutuações propagam-se como uma onda.
- Onda sonora se propaga em todas as direções.

# Fonte de transmissão

Por que quando deslocamos a lâmina, sua extremidade livre começa a oscilar para a direita e para a esquerda e emite um som?



# Meio de propagação da onda

O que aconteceria com a transmissão sonora se a fonte fosse encapsulada em uma caixa com vácuo?

Encapsulamento com vácuo

Fonte sonora



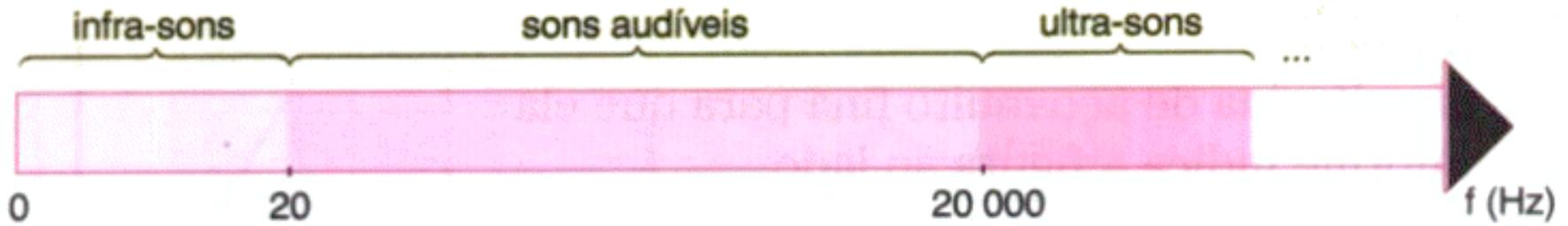
Será que ele está ouvindo a melodia?



# Som

- infra-sônico
  - frequências  $< 20$  Hz
- ultra-sônico
  - frequências  $> 20000$  Hz
- intervalo de audição humano
  - frequências entre 20 Hz e 20000 Hz

# Escala sonora



Em qual faixa de frequência desta escala você é capaz de ouvir?

# Raios e Trovões



# Velocidade do som vs. luz

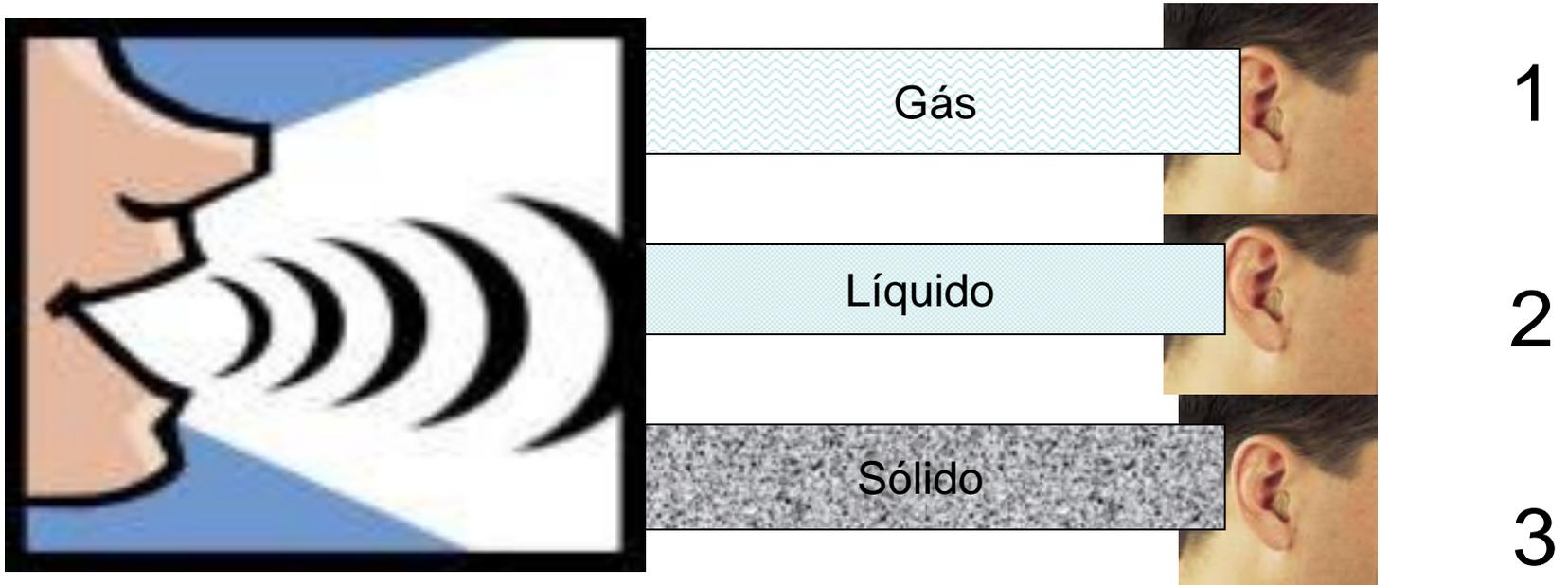
***Qual é a distância aproximada de uma tempestade quando você nota uma diferença de 3 segundos entre ver o raio e ouvir o trovão?***

*Resposta: 3 segundos  $\times$  340 metros/segundo  
= 1020 metros  $\approx$  1 km*

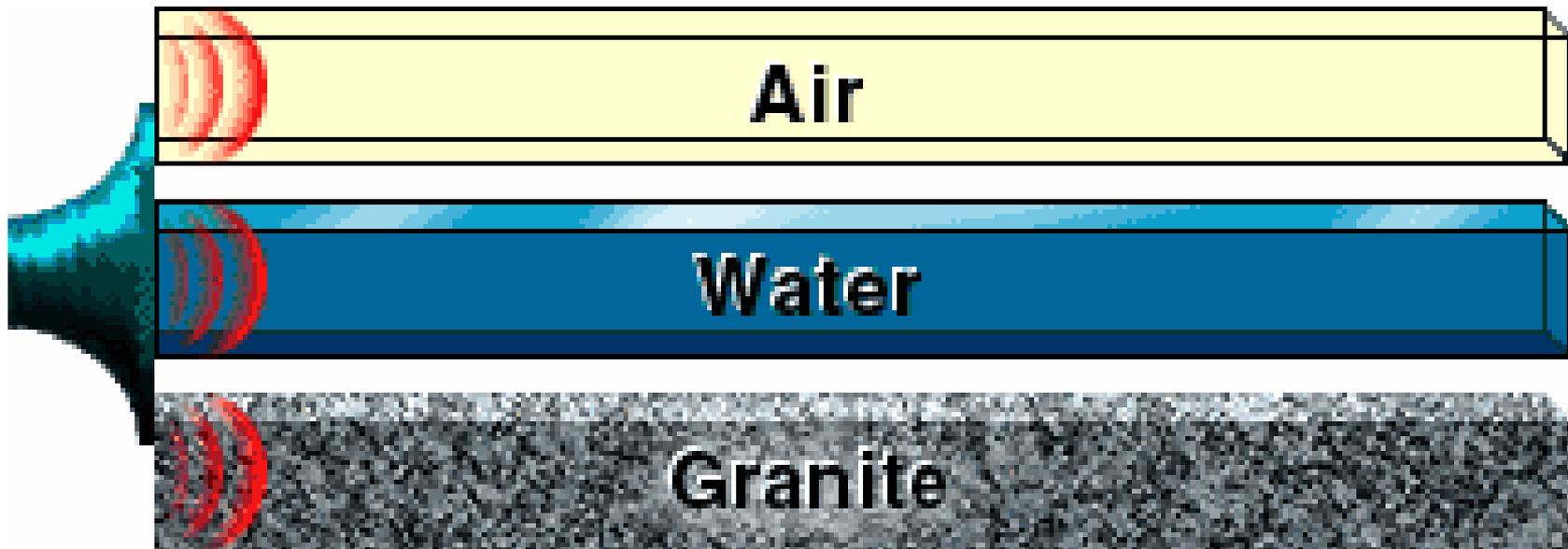
# Transmissão da onda sonora

- Qual meio transmite melhor o som: o sólido, o líquido ou gasoso? Descreva a ordem de melhor propagação.

Quem houve primeiro?



# Propriedades das Ondas

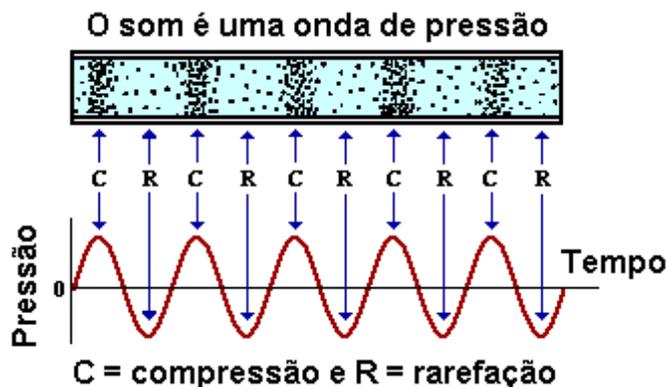


# Velocidades de ondas longitudinais

- A velocidade de ondas longitudinais tem uma forma similar ao caso de uma onda transversal

$$v = \sqrt{\frac{\text{fator elástico}}{\text{fator de inercia}}}$$

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{ou} \quad v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$



Ondas em sólidos

Ondas em gases ou líquidos

- $E$  é o módulo elástico do material;
- $\rho$  é a densidade;
- $B$  é o módulo volumétrico.

# O que é energia e potência em um sistema físico?

- Em um movimento retilíneo a energia cinética é

$$E = (1/2)mv^2$$

- A unidade de energia no sistema internacional de unidades é o joule (J). O joule é uma unidade derivada, equivalente a 1 Newton metro (N.m).
- Potência → Quantidade de energia cedida por unidade de tempo (J/s → W (Watt))

# Energia no MHS

- Energia Mecânica Total:

Quando  $x=A$  ou  $x=-A$  (extremos):

$$E = \frac{1}{2}m(0)^2 + \frac{1}{2}k(A)^2 = \frac{1}{2}kA^2$$

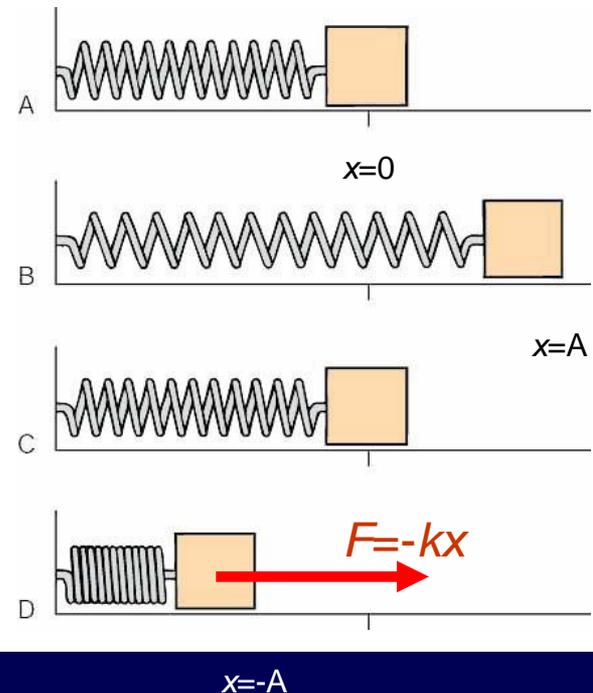
Energia Mecânica de um MHS é  
Proporcional ao quadrado de sua Amplitude!

Quando  $x=0$  (ponto de equilíbrio):

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}k(0)^2 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

A energia no ponto de equilíbrio é conhecida  
com energia cinética! (velocidade)

$$E = \underbrace{\frac{1}{2}mv^2}_{\text{Energia Cinética}} + \underbrace{\frac{1}{2}kx^2}_{\text{Energia Potencial Elástica}}$$



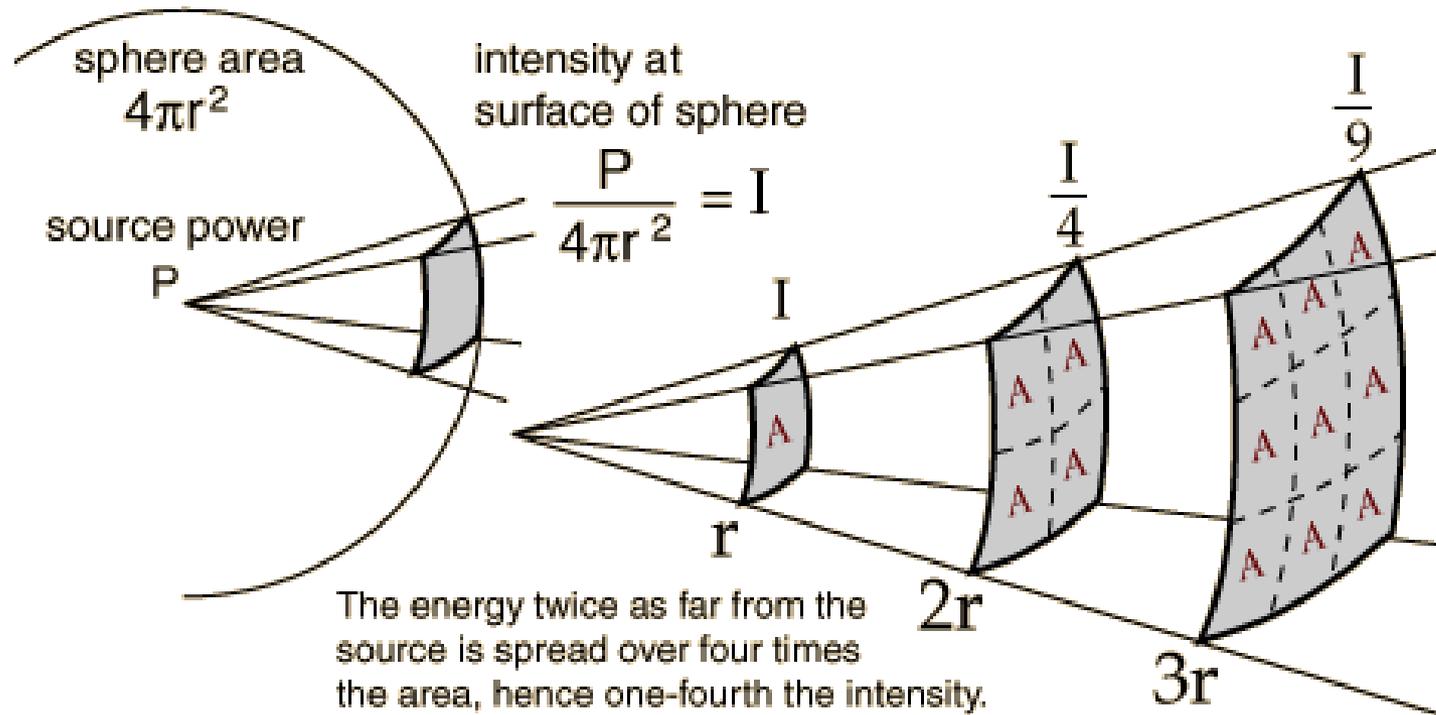
# Energia transportada pelas ondas

- Ondas transportam **energia**.
- **Potência** a taxa a qual a energia passa em uma determinada direção.
- Intensidade  $I$  de uma onda:
  - Potência transportada por unidade de área perpendicular ao fluxo de energia.

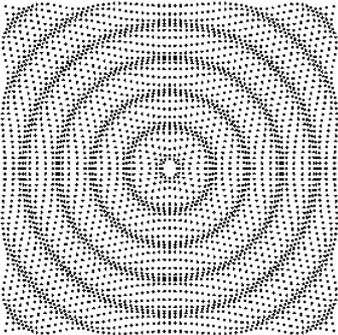
$$I = \frac{\text{Potencia}}{\text{area}} = \frac{\text{energia/tempo}}{\text{area}}$$

# Intensidade média de uma onda

A intensidade média diminui com o inverso do quadrado da distância.



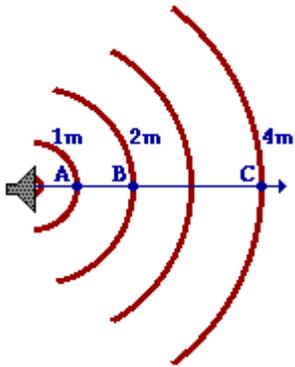
# Energia transportada pelas ondas



- No caso de ondas esféricas (a energia flui para todas as direções):

$$I = \frac{P}{4 \pi r^2}$$

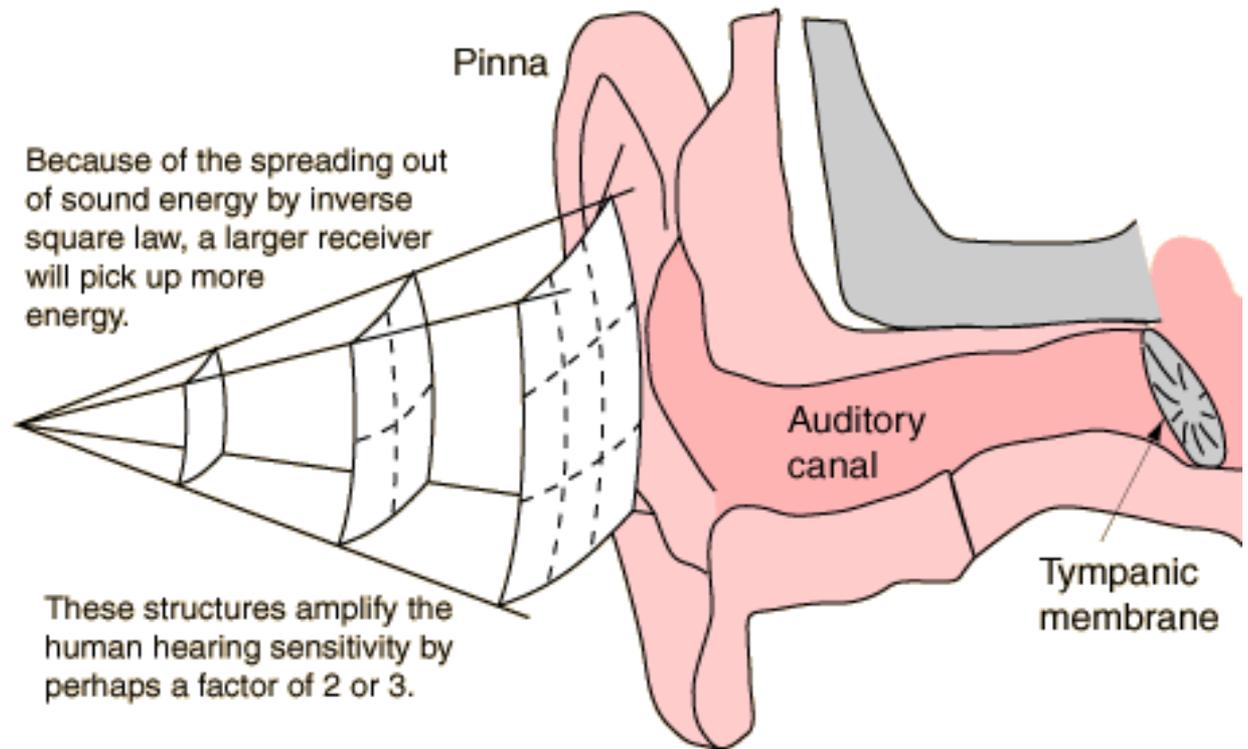
- Por exemplo, quando a distância é duplicada, a intensidade é reduzida de  $\frac{1}{4}$  do seu valor anterior! (e a amplitude também vai diminuir com a distância).



# Energia transportada pelas ondas

- Se a intensidade de um terremoto tipo P a 100 km da fonte é 1 MW/m<sup>2</sup>, qual será a intensidade a 400 km do epicentro?
  - A intensidade cai com o quadrado da distância, e portanto a 400 km será  $(1/4)^2 = 1/16$  de seu valor a 100 km, ou  $6,2 \times 10^4$  W/m<sup>2</sup>.
- Notar que a situação é diferente para uma onda unidimensional, pois nesse caso a área fica constante, e portanto A também fica constante.

# Função do pavilhão auricular



# Transmissão da onda sonora

Meio	Velocidade (m/s)
Ar	346
Água	1498
Ferro	5200
Vidro	4540

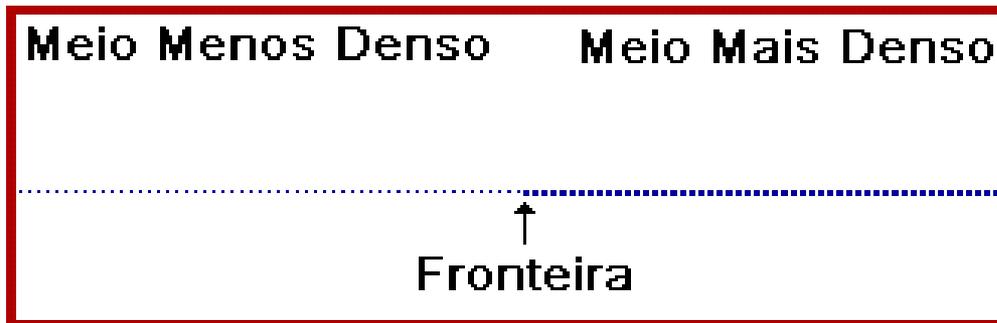
$$v = Z_a / \rho$$

A velocidade da onda é uma constante que depende apenas do meio, e não da amplitude, comprimento de onda ou período.

- $Z_a$  - impedância acústica
- $\rho$  - densidade do meio
- $v$  - velocidade do som nesse meio

# Reflexão de ondas

- Reflexão das ondas depende da diferença entre a impedância característica do meio em ambos lados de uma interface.
- Quanto maiores forem as diferenças na impedância, maior será a fração de energia refletida, e portanto menor a fração de energia transmitida.



# Difração e reflexão do som

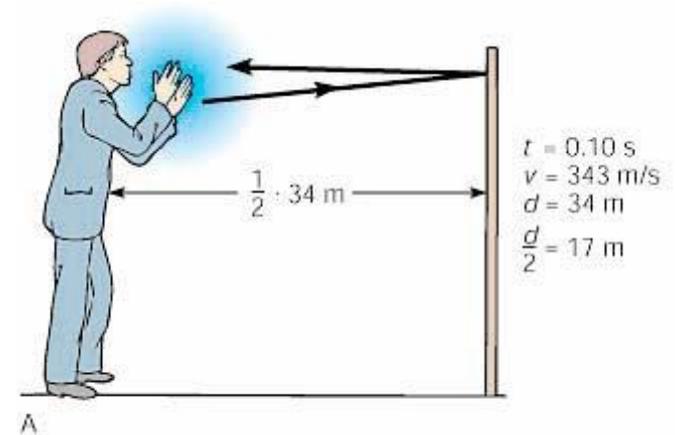
- Objetos interagem com a onda sonora das seguintes maneiras:
- Objetos que são menores que  $1/6$  do comprimento de onda são "transparentes" ao som.
- Objetos com tamanhos comparáveis ao comprimento de onda espalham ou difratam a onda sonora.
- Objetos com tamanhos de mais de 5-10 comprimentos de onda refletem a onda sonora.

# Exercício

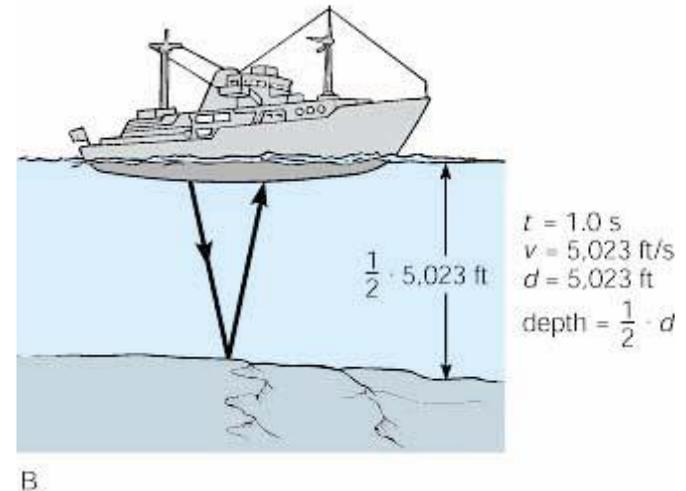
- Suponha que uma espécie de sapo possa localizar objetos utilizando o eco de um som emitido a 500 Hz. Qual seria o tamanho mínimo dos objetos que ele conseguiria detectar (aproximadamente)?

# Reflexão do Som - Exemplos

(A) Em **temperatura ambiente**, o som viaja a **343 m/s**. Em 0,10 s, o som viajará aproximadamente 34 m. Como a onda deve ir e voltar para você ouvir o eco, a distância até a parede é metade da distância total.



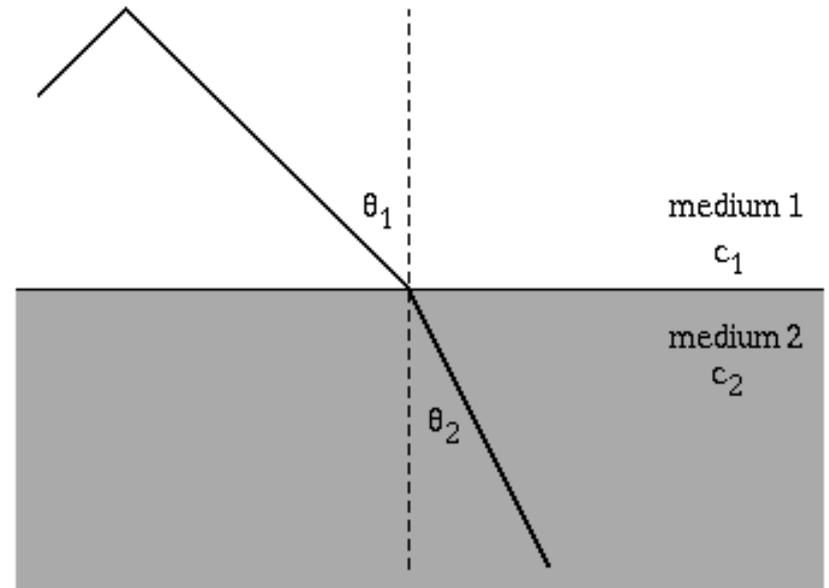
(B) O Sonar mede a profundidade ao medir o tempo transcorrido entre pulsos de som ultrassônicos e o seu eco. A profundidade é metade da distância total.



# Refração de ondas

- Causada pela variação da velocidade da onda quando cruza dois meios com características diferentes.
- Lei de Snell:

$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2}$$

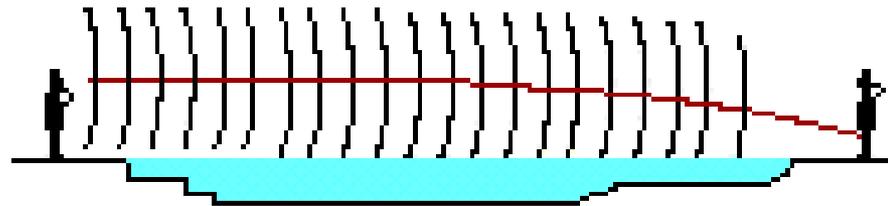


# Efeitos de temperatura e vento

- A velocidade do som depende da temperatura:

$$v = 331 + 0.6 T \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ no ar.}$$

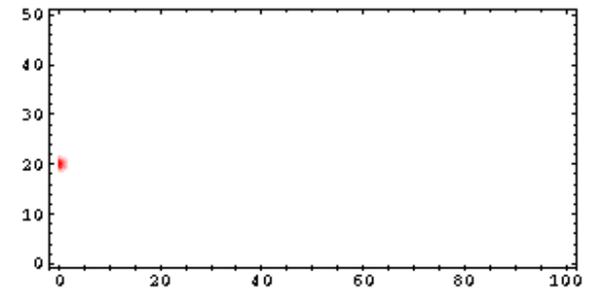
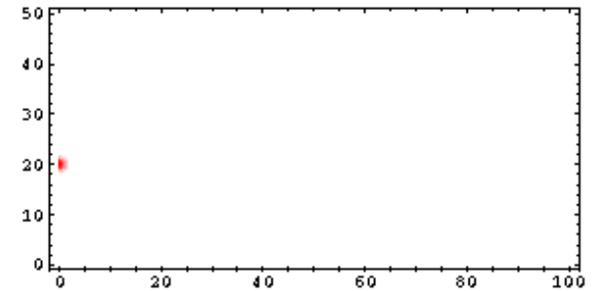
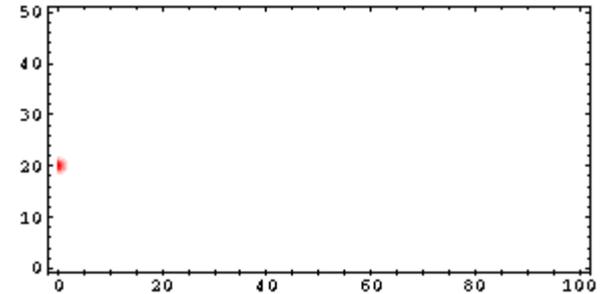
Então, gradientes de temperatura implicam em variações de velocidade... (lei de Snell)



**Refração de ondas acústicas**

# Gradientes de Temperatura

- Um gradiente de temperatura voltado para cima (temperaturas do solo menores) produzem uma deflexão para baixo.
- Um gradiente de temperatura voltado para baixo (temperaturas do solo maiores) produzem uma deflexão para cima.



# Efeito da Temperatura

