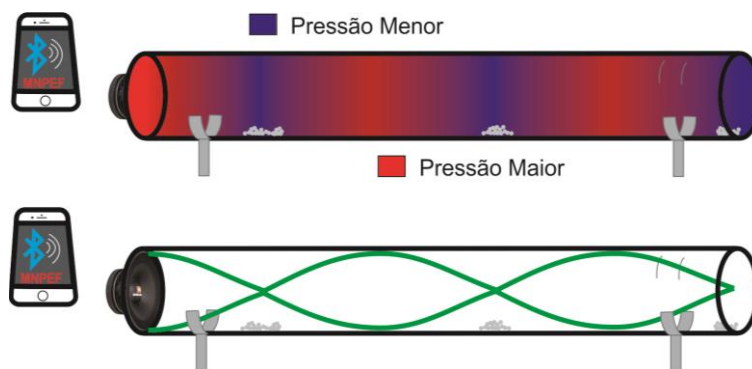




UNIVERSIDADE FEDERAL DO SEMI ÁRIDO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

## PRODUTO EDUCACIONAL

UMA PROPOSTA DIDÁTICA DE ENSINO DE ONDAS AUXILIADA PELA  
CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT



Produto Educacional de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal do Semi-Árido( Ufersa) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

**Mossoró**

# Sumário

---

|   |    |
|---|----|
| Apresentação.....   | 4  |
| Capítulo 1 O Produto Educacional.....   | 5  |
| 1.1 Sequência Didática.....   | 5  |
| Apêndices A.....  | 13 |
| Apêndices B – Atividade complementar.....   | 14 |
| Apêndices C.....  | 17 |
| Através da Física experimental certas leis básicas da Física são observadas ou comprovadas. No que diz respeito ..... | 17 |
| Apêndices D.....  | 20 |
| Apêndices E.....  | 23 |
| Referências Bibliográficas .....  | 24 |

# Apresentação

---

Prezado professor,

A finalidade desse material, é de oferecer-lhe apoio na organização de um planejamento de suas respectivas aulas, nas turmas do 2º ano do ensino médio, no conteúdo acústica, através de uma metodologia didática, baseada na teoria sócio interacionismo de Vygotsky e na aprendizagem significativa de Ausubel e auxiliada pela construção de um tubo de Kundt.

A sequência didática aqui mostrada, constitui-se no produto educacional que será o fator integrante do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física(MNPEF), da Sociedade Brasileira de Física (SBF), do polo 09 ligado à Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA).

Assim, esse material deverá servir de apoio ao professor para a contribuir no processo ensino aprendizagem, sem nenhum impedimento de realização de adequações.

# Capítulo 1

## O Produto Educacional

---

Nosso produto consiste de uma sequência didática que contemplará 7 encontros de 50 minutos ao longo de 4 semanas.

Dentre outros destacamos o objetivo de inserir conceitos básicos de Acústica para os alunos. Desse modo, estávamos interessados em vários conceitos no que diz respeito a ondas sonoras, dentre eles destacamos:

- frequência do som;
- período de oscilação;
- período de uma onda;
- comprimento de onda;
- velocidade de propagação do som.

Contíguo a esses conceitos básicos, foi trabalhado também as qualidades fisiológicas do som, tais como:

- timbre;
- altura;
- intensidade e nível sonoro
- ondas estacionárias em cordas e tubos sonoros abertos e fechados.

Para alcançar este objetivo sugerimos a seguinte sequência didática:

### 1.1 Sequência Didática

Nossa sequência sugerida é de sete encontros, mas pode ser adaptado pelo professor conforme seu tempo disponível e interesses.

A descrição dos encontros de 50 minutos cada é a seguinte:

## **Encontro 01 – Teste prévio (questionário):**

Neste encontro realizar-se-á um teste prévio com problemas construídos de acordo com o conteúdo de acústica. E tem como objetivos, resgatar e reconhecer as habilidades instrumentais e operacionais do aluno, conhecimentos sobre conceitos básicos de ondas sonoras, que seriam desenvolvidos no projeto experimental. As questões foram construídas, deixando claro o objetivo dos questionamentos, usando uma escrita que pode ser facilmente compreendida pelo aluno do 2º ano do Ensino Médio. Dessa maneira, desejamos reconhecer a respeito de qual base conseguiríamos construir novos conhecimentos físicos a respeito da ondulatória, tendo assim, na minha concepção, sucesso nos resultados.

O teste prévio está no Apêndice A e, é composto de 10 das seguintes questões:

Questão 1: O que você entende sobre onda?

Questão 2: O que é o som? Qual a diferença entre o som grave do som agudo?

Questão 3: O que você entende sobre Acústica?

Questão 4: O que são ondas estacionárias?

Questão 5: O que é uma reflexão de onda sonora?

Questão 6: De acordo com as qualidades fisiológicas do som o que você entende sobre: Altura, Timbre, Intensidade, Nível sonoro.

Questão 7: O que é um tubo sonoro?

Questão 8: Qual a diferença de um tubo sonoro fechado para um tubo aberto?

Questão 9: O que é um tubo de Kundt?

Questão 10: Construa um desenho que represente ondas sonoras de acordo com sua imaginação.

Este instrumento pode ser corrigido da seguinte forma: Questões certas, aproximou da resposta, questões erradas e não responderam. De forma a identificar os conhecimentos prévios do aluno.

## **Encontro 02: Aula expositiva 1**

No segundo encontro temos uma Aula expositiva 1 com slides montados pelo professor, fazendo com que o aluno desperte o seu conhecimento prévio, sendo ele indispensável ou não para o procedimento da sequência didática, assim, a apresentação dos tópicos previstos na sequência didática, foi satisfatória. Temos abaixo os seguintes temas:

- a. Descrição do conceito de ondas mecânicas (em especial as ondas sonoras).
- b. Relação entre frequência perceptual (sons agudos e graves) com período de oscilação nos tubos.
- c. O que é uma onda sonora?
- d. Comprimento de onda
- e. Velocidade de propagação de uma onda sonora em meios materiais diferentes.
- f. Definição das qualidades fisiológicas do som: Timbre, altura, Intensidade e nível sonoro.

No Apêndice E, apresentamos os slides usados na aplicação do produto pelo autor.

Temos também, uma atividade complementar com questões direcionadas aos cálculos simples envolvendo os conteúdos citados acima. Atividade complementar está no Apêndice B.

### **Encontro 03: Aula expositiva 2**

No encontro 3, tivemos a aula expositiva 2, onde usamos aulas expositivas com slides, através de simulação computacional, direcionado ao assunto que será aplicado na atividade experimental, em formas de conceitos gerais e termos simples. Nesta aula, conhecemos os aplicativos que serão baixados para o uso na prática experimental e também a exposição de alguns temas:

- a. Velocidade de propagação da onda em um tubo sonoro aberto ou fechado.
- b. O que são ventres e nós?
- c. O que são ondas estacionárias?

d. Frequência de uma onda em um tubo sonoro aberto

e. Aplicativos no smartphone para o uso na atividade experimental.

Houve também uma atividade complementar do livro tópicos da Física para casa, onde teremos uma preparação para a atividade experimental, esta atividade está abaixo e nos Apêndice B.

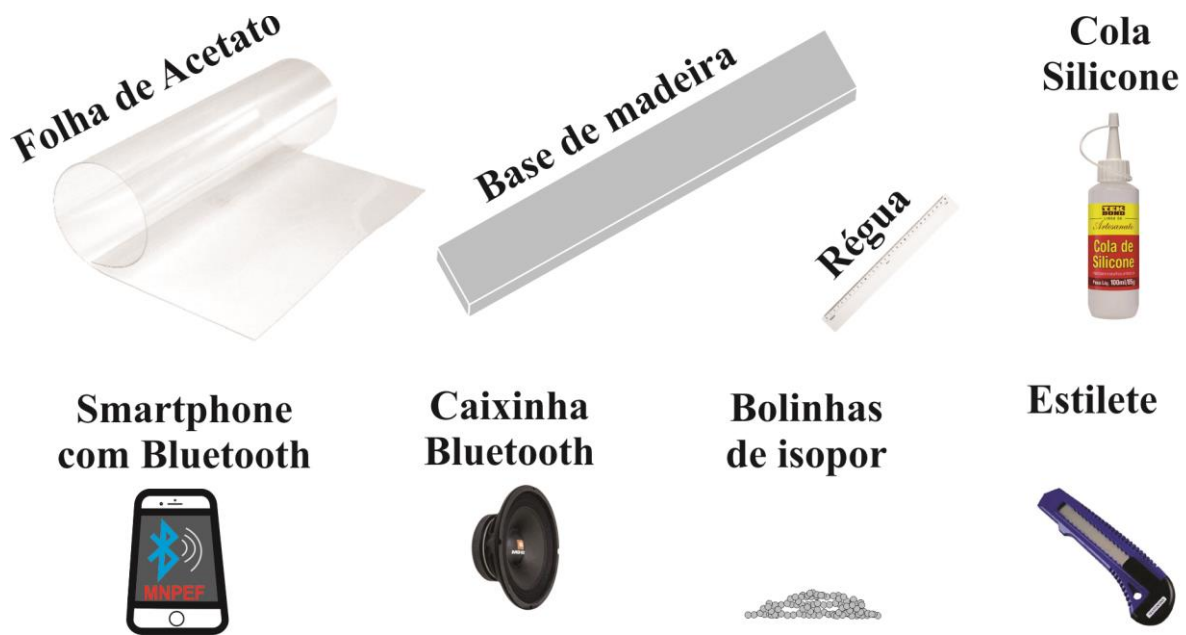
#### **Encontro 04 – Construção do Tubo de Kundt com os materiais disponibilizados**

No encontro 4, teremos a construção do experimento com a interação dos alunos, auxiliados pelo professor de Física, para uma abordagem no estudo da Acústica, em especial nos tubos sonoros fechados. Construir e aplicar os tubos de Kundt foi um dos objetivos da prática experimental.

Neste encontro foi disponibilizado os seguintes materiais: Folha de acetato, uma base, e previamente foi solicitado aos alunos, bolinhas de isopor, silicone em líquido, régua, estilete caixa *bluetooth* e a instalação do aplicativo, para a geração das ondas no autofalante.

Na medida que os alunos iam se acomodando com seus grupos, será passado o material para a construção do experimento: uma folha de acetato de 40 cm × 100 cm, o aplicativo *frequency generator* e um simulador de nível sonoro, *Best Sound Meter*, para serem baixados no celular ou tablet, uma base de MDF de 20 cm × 100 cm, um alto falante, bolinhas de isopor, cola silicone e a caixinha de som *bluetooth*.





**Figura 1: Materiais básicos para a construção dos tubos de Kundt pelos alunos ao longo da sequência didática.**

O Smartphone é usado como o gerador de funções, usando um aplicativo que gera sons em frequências específicas, no nosso caso foi usado o aplicativo (frequency generator e decibel meter)

A caixa de som com conexão *bluetooth* foi usada para emitir a onda sonora para o interior do tubo.

A folha de acetato enrolada em formato cilíndrico com dimensões 25cm x 100cm. A segunda dimensão é importante pois será o L das Equações  $L = N\lambda/2$  e  $L = N\lambda/4$

As bolinhas de isopor serviram para a formação das ondas estacionárias.

O auto falante emite dentro do tubo a onda sonora com uma frequência bem definida que é refletido na parte final do tubo, de modo que a onda resultante pode apresentar um estado estacionário se a frequência e o comprimento do tubo coincidir com a Equação (3.13).

A Figura 1 mostra os materiais necessários para a construção em sala de aula do tubo de Kundt.

A Figura 2 mostra de forma esquemática como o tubo de Kundt ficará após a construção.

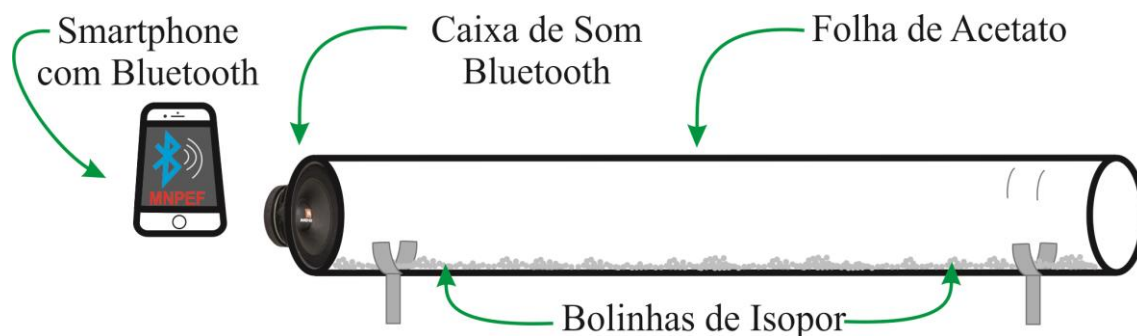


Figura 2: A figura apresenta uma representação esquemática de um tubo de Kundt que será montado com pelos alunos com os materiais indicados.

Após a aula, os alunos tiveram que produzir em casa, um relatório sobre a relação a construção do tubo.

Dependendo do tempo já se pode tentar obter as ondas estacionárias no tubo.

Reforçar o fato de que onda sonora o que vibra é o ao, logo temos uma propagação de um pulso de variação de pressão, logo o padrão estacionário pode se explicado pela Figura 3 (a). De modo que a equação de uma onda sonora em função da posição  $x$  e do tempo  $t$  é dada por:

$$\Delta P(x, t) = P_{\text{máx}} \text{sen}(kx - \omega t) \quad (1)$$

Onde  $\Delta P$  é a variação de pressão,  $P_{\text{máx}}$  é a amplitude de pressão,  $k$  é o número de onda,  $\omega$  a frequência angular

Muitas vezes há uma confusão por partes dos alunos, pois pensam em termos de uma onda em uma corda. Até pela representação ada Figura 3 (b), onda a linha verde representa a amplitude de pressão que é proporcional à de deslocamento  $S_{\text{máx}}$ :

$$S_{\text{máx}} = \rho v \omega S_{\text{máx}} \quad (3.16)$$

Onde  $\rho$  é a densidade do meio,  $v$  a velocidade da onda e  $\omega S_{\text{máx}}$  a velocidade longitudinal máxima de um elemento do meio. São essas variações de pressão em uma onda sonora que resultam em uma força oscilando no tímpano, levando à sensação de audição(Serway & Jewett, 2014).

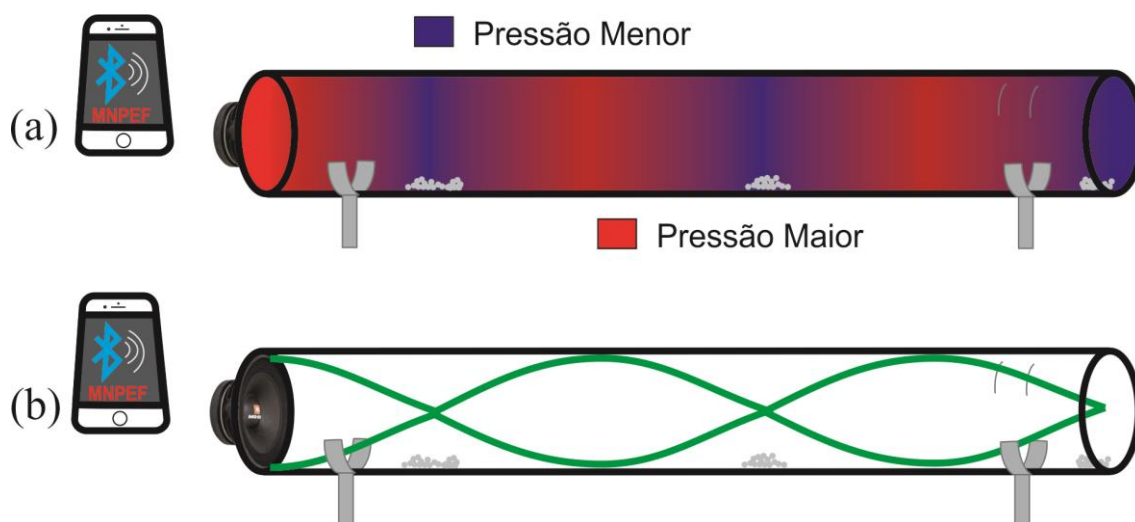


Figura 3: Representação esquemática da onda estacionária no tubo de Kundt. (a) Indicação da pressão, o vermelho indica um ponto de alta pressão, ou seja, as partículas do ar estão todas próximas e com velocidades maiores, vales da onda estacionária, o azul indica que o ponto de baixa pressão, as partículas do ar estão mais distantes e com velocidades menores.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**5 (a) apresenta uma representação esquemática da onda estacionária no tubo de Kundt. Indicação da pressão, o vermelho indica um ponto de alta pressão, ou seja, as partículas do ar estão todas próximas e com velocidades maiores. Devido a velocidade nos pontos próximos aos máximos da onda estacionária as bolinhas de isopor são varridas para pontos de baixa pressão, os nós da onda estacionária, ou seja para a região azul que indica que o ponto de baixa pressão.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**5 (b) apresenta uma forma de exposição da onda sonora estacionária em um tubo, que pode confundir o aluno de forma que a figura apresenta a onda sonora com uma onda transversal e não uma onda longitudinal. Esta representação está presente em diversos livros, não só de nível médio, como em livros de nível universitário. Em (Halliday & Resnick, 2009) é tomado o cuidado de apresentar a representação como curva de pressão em função da posição. Em (Serway & Jewett, 2014) p. 71 os autores dizem: “As ondas estacionárias longitudinais são desenhadas como ondas transversais”.

### Encontro 05 – Aplicação do roteiro experimental:

No encontro cinco, será a obtenção e discussão sobre os dados e análises feitas na aula anterior e explicar o passo a passo da construção do tubo com um relatório experimental.

Distribuir a cada grupo um roteiro de prática experimental, roteiro este, que está presente nos anexos e no produto, contendo tabelas e questões a serem seguidas na aula, auxiliados pelo professor no laboratório.

Complementando a prática, os alunos confeccionaram um relatório da prática experimental aplicada, com a construção de gráficos e tabelas, resultados estes que serão debatidos no encontro seguinte.

O Roteiro experimental que será trabalhado no encontro cinco, está abaixo e no Apêndice C.

Espera-se além disso que os alunos observem os padrões estacionários conforme as bolinhas de isopor na Figura 3 (b) e encontrar os outros harmônicos.

#### **Encontro 06 – Construção e análise dos gráficos obtidos**

No encontro 6, deverá ser trabalhado, a correção das atividades da aula anterior, onde serão debatidos os relatórios dos alunos. Em continuidade ao encontro, exploraremos a construção e análise dos gráficos obtidos, através das frequências e dos comprimentos de ondas usados para o desenvolvimento na prática. A discussão e o debate gerado em sala, deverá ser propício ao processo ensino aprendizagem, desta forma o professor conduzirá o debate entre os grupos no laboratório sobre os gráficos.

#### **Encontro 07 – Teste final:**

No encontro sete, e último, foi aplicado um Teste final, para assim avaliarmos a aprendizagem do aluno, através da aplicação do produto educacional. O teste deverá ser individual e ter uma duração de uma hora em sala de aula.

O teste final, será composto de dez questões, onde 30% deverá ter questões subjetivas e 70% das questões deverá ser objetiva. Este padrão de avaliação é o indicado pela escola na qual o produto foi aplicado.

O teste final está abaixo e no Apêndice D.

# Apêndices A

---

## Apêndice A: Questionário prévio

Questão 1: O que você entende sobre onda?

Questão 2 :O que é o som? Qual a diferença entre o som grave do som agudo?

Questão 3: O que você entende sobre Acústica?

Questão 4: O que são ondas estacionárias?

Questão 5: O que é uma reflexão de onda sonora?

Questão 6: De acordo com as qualidades fisiológicas do som o que você entende sobre: Altura, Timbre, Intensidade, Nível sonoro.

Questão 7: O que é um tubo sonoro?

Questão 8: Qual a diferença de um tubo sonoro fechado para um tubo aberto?

Questão 9: O que é um tubo de Kundt?

Questão 10: Construa um desenho que represente ondas sonoras de acordo com sua imaginação.

## Apêndices B – Atividade complementar

---

### Questão 01

(UFTM-MG) Conhecida pelo nome de seu idealizador, a sonda de Behm determinava com precisão a profundidade do leito oceânico. Consistia em um cartucho explosivo que era detonado na água, em um dos lados do casco do navio. O abalo produzido, propagando-se na água, atingia o leito do mar e refletia-se para a superfície onde, do outro lado da embarcação, um microfone protegido do som inicial pelo casco do navio recolhia o eco proveniente do fundo. Um navio em águas oceânicas, após detonar uma sonda, registra o eco 1,2 s após a detonação. Sabendo-se que a velocidade de propagação do som na água do mar é  $1,4 \cdot 10^3$  m/s, a profundidade local do leito é, aproximadamente, em m,

- a) 260.
- b) 420.
- c) 840.
- d) 1 260.
- e) 1 680.

### Questão 02

Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro.

Essa diferenciação se deve principalmente ao(a)

- a) intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
- b) potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.
- c) diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical
- d) timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
- e) altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

### Questão 03

A menor intensidade sonora que uma pessoa de audição normal pode perceber é de  $10^{-16}$  W/cm<sup>2</sup> e a máxima que ela suporta é de  $10^{-4}$  W/cm<sup>2</sup>, quando já começa a sentir dor. Uma fonte sonora de pequenas dimensões emite som que um bom ouvinte percebe até uma distância de, no máximo, 100 km. Determine, desprezando dissipações na propagação e considerando  $\pi = 3$ :

- a) a potência sonora da fonte;
- b) a distância da pessoa à fonte, quando ela começa a sentir dor.

### Questão 04

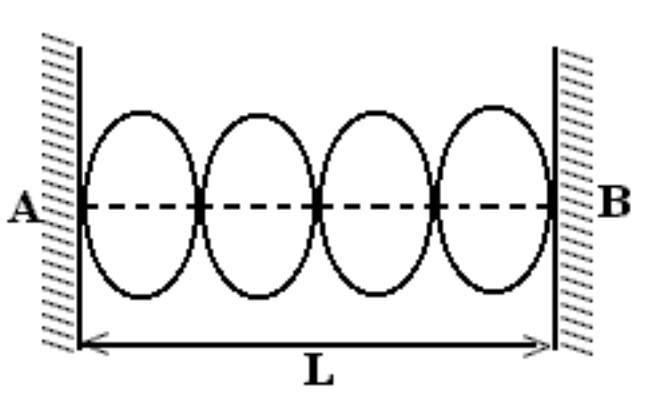
Numa corda tensa, abalos transversais propagam-se a 100 m/s. Sendo de 2 m o comprimento da corda, calcule sua frequência de vibração:

- a) no modo fundamental;

b) no terceiro harmônico.

#### Questão 05

Uma corda de massa  $m = 240 \text{ g}$  e comprimento,  $L = 1,2 \text{ m}$  vibra com frequência de  $150 \text{ Hz}$ , no estado estacionário esquematizado a seguir:



Determine a velocidade de propagação das ondas que originam o estado estacionário nessa corda e a intensidade da força tensora.

#### Questão 06

Um tubo sonoro aberto, contendo ar, tem  $34 \text{ cm}$  de comprimento. Considerando a velocidade do som no ar igual a  $340 \text{ m/s}$ , determine a frequência:

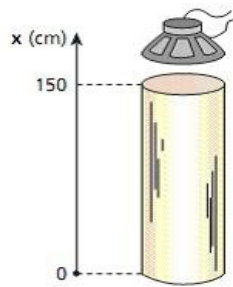
- do som fundamental emitido pelo tubo;
- do quarto harmônico que esse tubo pode emitir.

#### Questão 07

Um tubo sonoro contendo ar tem  $1 \text{ m}$  de comprimento, apresentando uma extremidade aberta e outra fechada. Considerando a velocidade do som no ar igual a  $340 \text{ m/s}$ , determine as três menores frequências que esse tubo pode emitir.

#### Questão 08

Um alto-falante que emite um som com frequência de  $330 \text{ Hz}$  (devido a um gerador de áudio) é colocado próximo à extremidade aberta de um vaso cilíndrico vazio, como mostra a figura abaixo. Despejando água lentamente no vaso, em certas posições do nível da água percebemos que a intensidade sonora passa por valores máximos (ressonância). Determine os valores de  $x$  correspondentes a essas posições do nível da água, considerando a velocidade do som no ar igual a  $330 \text{ m/s}$ .



### Questão 09

Uma corda de 100 g de massa e 1 m de comprimento vibra no modo fundamental próxima de uma das extremidades de um tubo aberto de 4 m de comprimento. O tubo então ressoa, também no modo fundamental. Sendo de 320 m/s a velocidade do som no ar do tubo, calcule a força tensora na corda.

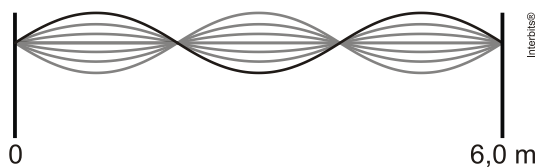


### Questão 10

Num estádio de futebol, o nível de intensidade sonora é normalmente de 65 dB. No momento de um gol a intensidade sonora amplia-se 1 000 vezes. Qual é, em dB, o nível de intensidade sonora no momento do gol?

### Questão 11

(Pucrj 2012) Uma corda presa em suas extremidades é posta a vibrar. O movimento gera uma onda estacionária como mostra a figura.



Calcule, utilizando os parâmetros da figura, o comprimento de onda em metros da vibração mecânica imposta à corda.

- a) 1,0
- b) 2,0
- c) 3,0
- d) 4,0



# Apêndices C

---

## Apêndice C: Roteiro experimental

### Roteiro de Física Experimental

#### Experiência - Ondas Sonoras Estacionárias: O Tubo de Kundt

##### 1 – OBJETIVOS

- Estudar ondas sonoras estacionárias em um tubo fechado;
- identificar os harmônicos possíveis para um dado tubo sonoro fechado;
- aplicar frequências com o aplicativo (frequency generator), através do tablet ou celular;
- conceituar e medir comprimentos de ondas sonoras, em tubos sonoros fechados;
- determinar a velocidade de propagação do som no ar;
- Calcular a intensidade sonora através da medição dos níveis sonoros captados pelo aplicativo.

##### 2 – INTRODUÇÃO

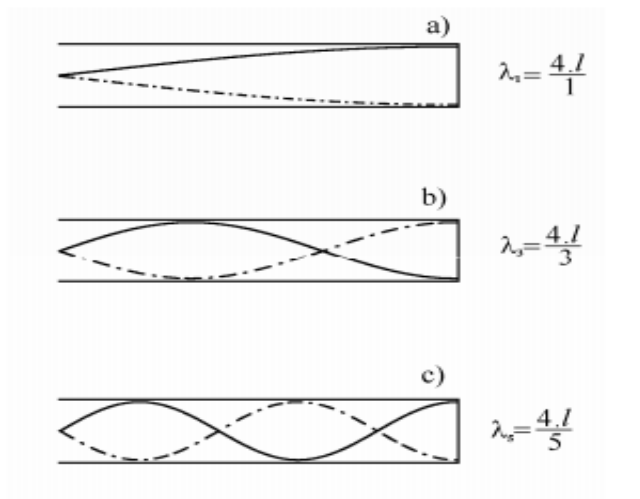
Através da Física experimental certas leis básicas da Física são observadas ou comprovadas. No que diz respeito ao ensino de Física, pesquisas parecem indicar que o método de ensino mais eficaz é aquele o qual o aluno é levado a descobrir os princípios físicos, observando experimentalmente. Neste trabalho, foi construído um Tubo de Kundt que é um dispositivo capaz de fornecer a verificação experimental de vários fenômenos físicos a saber, ondas em tubos, velocidade de propagação da onda sonora, ondas estacionárias em tubos fechados, nodos e ventres, harmônicos (Revista de Ensino de Física, vol.13, 77-85, 1991).

Em um tubo sonoro fechado em uma das extremidades, a frequência fundamental é

$f_1 = V/4L$ . A distância entre dois nós e um ventre adjacente é sempre igual a um quarto do comprimento da onda (YOUNG, 2003)e, somente os harmônicos de ordem ímpar na série são possíveis.

As frequências dos modos normais desse tipo de tubo são dadas por  $f_n = V/\lambda_n = nV/4L$ , sendo  $n = 1,3,5,\dots$ (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Faculdade de Engenharia campos Gama, art.2, 5898, 2010).

Observe abaixo, ventres de pressão ou um nó de deslocamento nas extremidades de um tubo sonoro fechado.



([www.ebah.com.br/content/ABAAeujEAJ/relatorio-fisica-ondas-sonoras](http://www.ebah.com.br/content/ABAAeujEAJ/relatorio-fisica-ondas-sonoras))

Nível sonoro(dB)

Através de um aplicativo que mede nível sonoro temos que, as intensidades podem variar de  $10^{-12}$   $W/m^2$  a  $1 W/m^2$ , assim ouve um incentivo dado pela lei de Weber – Fechner, para a definição de um nível relativo de intensidade sonora (N). Para lidar com um intervalo tão grande de valores, recorreu-se aos logaritmos.

$$N = 10 \cdot \log I/I_0, \text{ onde}$$

10 é uma constante de proporcionalidade;

I è a intensidade sonora de um som;

N é o nível relativo de intensidade em relação a um som de referência de intensidade  $I_0$ .

### 3 – MATERIAL NECESSÁRIO

- Tubo de Kundt de acetato com suporte de madeira;
- escala milímetrada,
- pó de cortiça ou bolinhas de isopor;
- oscilador de áudio;
- frequencímetro e decibelímetro digital;
- alto falante.

### 3 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1- Medir o comprimento  $L$  e o raio  $R$  do tubo que será usado na experiência.
- 2 - Verificar se o gerador de frequências e o medidor de frequências e o decibelímetro do aplicativo baixado no celular está ligado e conectado na entrada.
- 3 - Ligar o oscilador variável, regule a amplitude do sinal (volume) para um dado valor e deixe-o fixo (não mexendo mais neste potenciômetro).
- 4 - Varie a frequência em torno de 200 Hz ou em torno de 1.250 Hz e procure observar uma onda estacionária no pó de cortiça ou nas bolinhas de isopor.

5- Desligue o oscilador e trace a envoltória da onda estacionária, observada através do pó de cortiça.

6 - Qual a relação existente entre o comprimento “L” do tubo sonoro e o comprimento de onda encontrado? (Expresse sua resposta sob forma de fração).

= \_\_\_\_\_  $\lambda$ .

7 - Preencha a tabela de acordo com o valor da frequência fundamental dos primeiros 3 harmônicos para o tubo com as extremidade fechada.

| Frequência(Hz) | Nível sonoro(dB) | Intensidade sonora(W/m <sup>2</sup> )<br>$N=10.\log I/I_0$<br>$I_0= 10^{-12} \text{ W/m}^2$ | Comprimento de onda(m)<br>$\lambda = 4L/n$ | Velocidade de propagação da onda<br>$f = nV/4L$ |
|----------------|------------------|---|--|---|
| $f_1 =$        | $N_1 =$          | $I_1 =$   | $\lambda_1 =$                              | $V_1 =$   |
| $f_2 =$        | $N_2 =$          | $I_2 =$   | $\lambda_2 =$                              | $V_2 =$   |
| $f_3 =$        | $N_3 =$          | $I_3 =$   | $\lambda_3 =$                              | $V_3 =$   |

8 – Construa o gráfico  $f \times \lambda$  de acordo com os dados encontrados na questão anterior.

# Apêndices D

---

## Teste final

### Questões do teste Final:

**Questão 1:** Um ser humano com boa audição é capaz de ouvir vibrações acústicas entre 20 Hz e 20 000 Hz aproximadamente. Considerando a velocidade do som no ar igual a 340 m/s, determine os comprimentos de onda do som mais grave (mais baixo) e do som mais agudo (mais alto) que ele consegue ouvir.

**Questão 2:** Numa corda tensa, abalos transversais propagam-se a 100 m/s. Sendo de 2 m o comprimento da corda, calcule sua frequência de vibração:

a) no modo fundamental; b) no terceiro harmônico.

**Questão 3(Objetiva):** O italiano Luciano Pavarotti, conhecidíssimo cantor da ópera, possui uma extensão de voz que varia aproximadamente entre o “dó” (128 Hz) e o “lá” (440 Hz), sendo classificado como tenor. Já um contralto compreende uma extensão de voz que vai, pelo menos, de “sol” (196 Hz) a “mi” (669 Hz). A classificação citada, que pode ainda envolver barítonos, baixos, sopranos e mezzo-sopranos, está calcada na qualidade fisiológica do som conhecida como:

a) intensidade. b) altura. c) timbre. d) volume. e) reverberação.

**Questão 4:** Um tubo sonoro aberto, contendo ar, tem 33 cm de comprimento. Considerando a velocidade do som no ar igual a 330 m/s, determine a frequência:

a) do som fundamental emitido pelo tubo; b) do quarto harmônico que esse tubo pode emitir.

**Questão 5 (Objetiva):** Um alto-falante que emite um som com frequência de 330 Hz (devido a um gerador de áudio) é colocado próximo à extremidade aberta de um vaso cilíndrico vazio, como mostra a figura abaixo. Despejando água lentamente no vaso, em certas posições do nível da água percebemos que a intensidade sonora passa por valores máximos (ressonância). Determine os valores de  $x$  correspondentes a essas posições do nível da água, considerando a velocidade do som no ar igual a 330 m/s.

a)124, 70 e 80 b)125,75 e 25 c)125, 85 e 35 d)124, 75 e 85 e)125, 85, 10

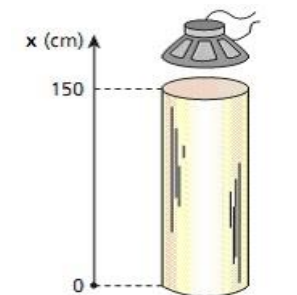


Figura 1: Figura utilizada na questão 5.

**Questão 6(Objetiva):** Num estádio de futebol, o nível de intensidade sonora é normalmente de 60 dB. No momento de um gol a intensidade sonora amplia-se 1 000 vezes. Qual é, em dB, o nível de intensidade sonora no momento do gol?

- a) 90 dB      b) 100 dB      c) 120 dB      d) 140 dB      e) 150 dB

**Questão 7 (Objetiva):** Em uma flauta, as notas musicais possuem frequências e comprimentos de onda ( $\lambda$ ) muito bem definidos. As figuras mostram esquematicamente um tubo de comprimento  $L$ , que representa de forma simplificada uma flauta, em que estão representados: em A o primeiro harmônico de uma nota musical (comprimento de onda  $\lambda_A$ ), em B seu segundo harmônico (comprimento de onda  $\lambda_B$ ) e em C o seu terceiro harmônico (comprimento de onda  $\lambda_C$ ), onde  $\lambda_A > \lambda_B > \lambda_C$ .

Em função do comprimento do tubo, qual o comprimento de onda da oscilação que forma o próximo harmônico?

- a)  $\frac{L}{4}$     b)  $\frac{L}{5}$     c)  $\frac{L}{2}$     d)  $\frac{L}{8}$     e)  $\frac{6L}{8}$

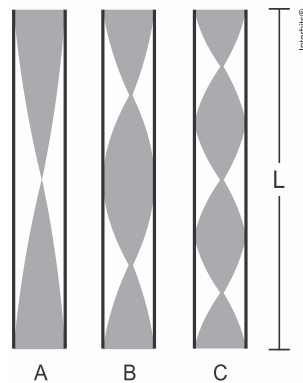


Figura 2: Figura referente a questão 7

**Questão 8(Objetiva):** Uma corda presa em suas extremidades é posta a vibrar. O movimento gera uma onda estacionária como mostra a figura.

Calcule, utilizando os parâmetros da figura, o comprimento de onda em metros da vibração mecânica imposta à corda.

- a) 1,0    b) 2,0    c) 3,0    d) 4,0    e) 6,0

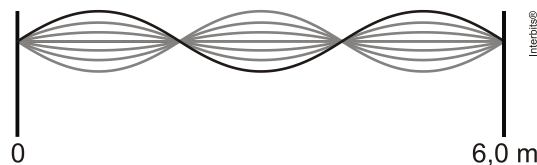


Figura 3: Figura referente a questão 8.

**Questão 9(Objetiva):** Uma onda se propaga numa corda, da esquerda para a direita, com frequência de 2,0 hertz, como é mostrado na figura.

De acordo com a figura e a escala anexa, é correto afirmar que:

- a) o período da onda é de 2,0 s.  
 b) a amplitude da onda é de 20 cm.  
 c) o comprimento da onda é de 20 cm.  
 d) a velocidade de propagação da onda é de 80 cm/s.

e) todos os pontos da corda se movem para a direita.

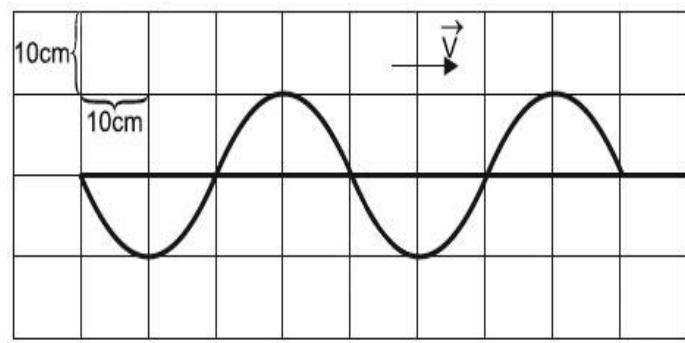


Figura 4: Figura referente a questão 9.

**Questão 10 (Objetiva):** Um tubo sonoro aberto emite o seu quinto harmônico com frequência de 1,7kHz. A velocidade do som, no ar que preenche o tubo, tem módulo igual a 340 m/s. O comprimento do tubo vale:

- a) 5,0 m b) 0,5 m c) 0,25 m d) 0,025 m e) 2,0 m

# Apêndices E

---

Sugestão de Slides das aulas:



**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

# AULA EXPOSITIVA

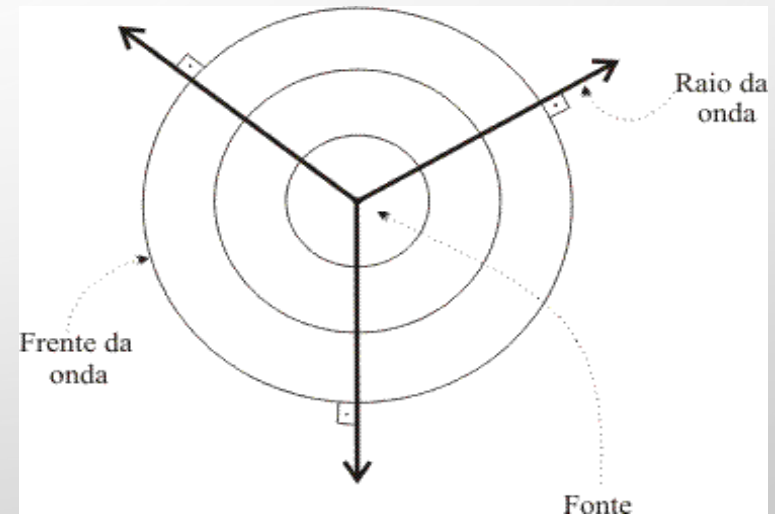
## ACÚSTICA

RAIMUNDO HÉLISON GILÓ NUNES



# Onda

É toda perturbação que se propaga transportando energia e quantidade de movimento sem o transporte de matéria.



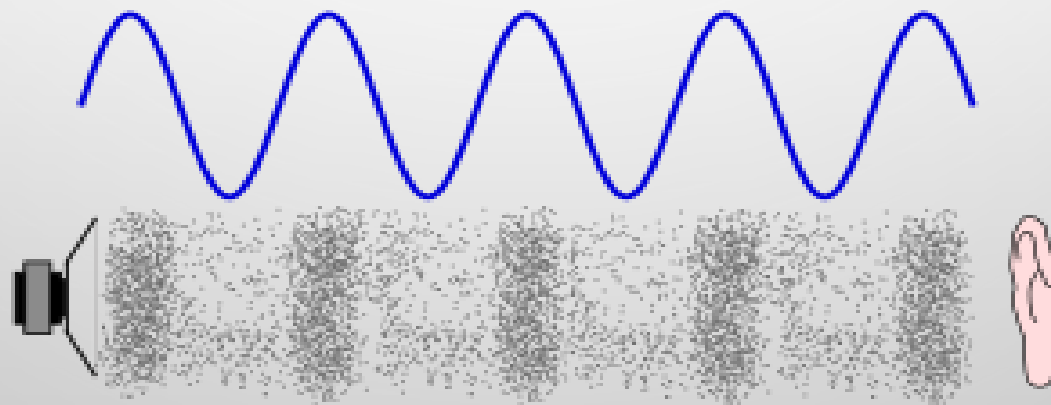
## Classificação das ondas:

- 1.NATUREZA
- 2.VIBRAÇÃO (forma)
- 3.DIMENSÕES



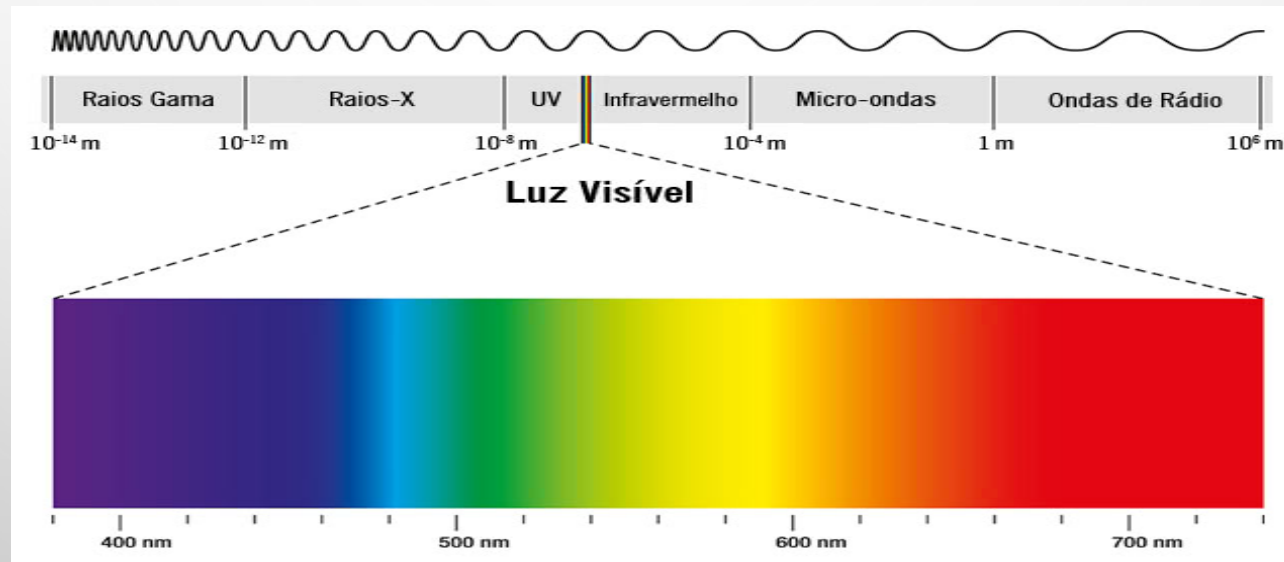
## Ondas mecânicas

são perturbações que transportam energia cinética e potencial através de um meio material, por exemplo: **ondas** marítimas, sísmicas e sonoras. Ela pode acontecer somente num meio material, mas não transportam matéria e, sim, energia.

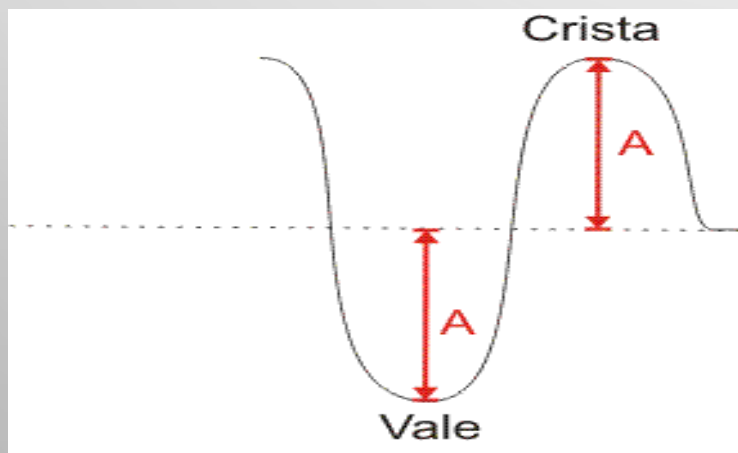
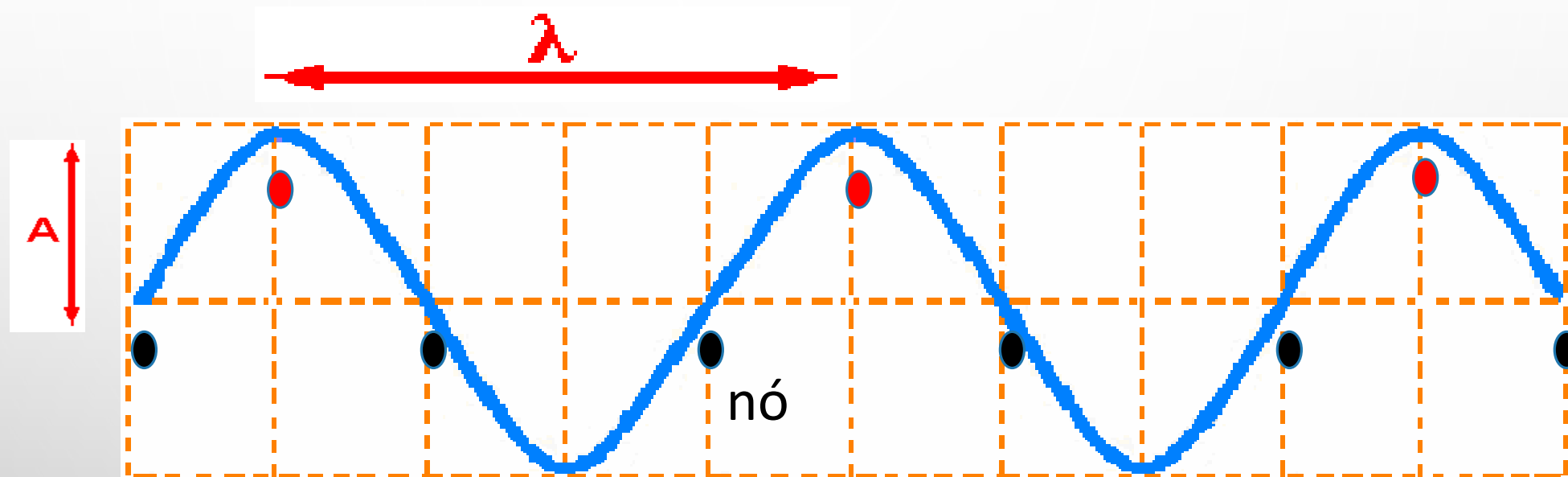


# Ondas Eletromagnéticas

Ondas eletromagnéticas são aquelas que resultam da libertação das fontes de energia elétrica e magnética em conjunto no vácuo.



## Elementos de uma onda



$\lambda$  = comprimento de onda

$A$  = amplitude da onda

## Velocidade de propagação da onda:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad , \quad \text{mas } \Delta S = \lambda \quad , \quad \text{assim:}$$
$$\Delta t = T$$

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

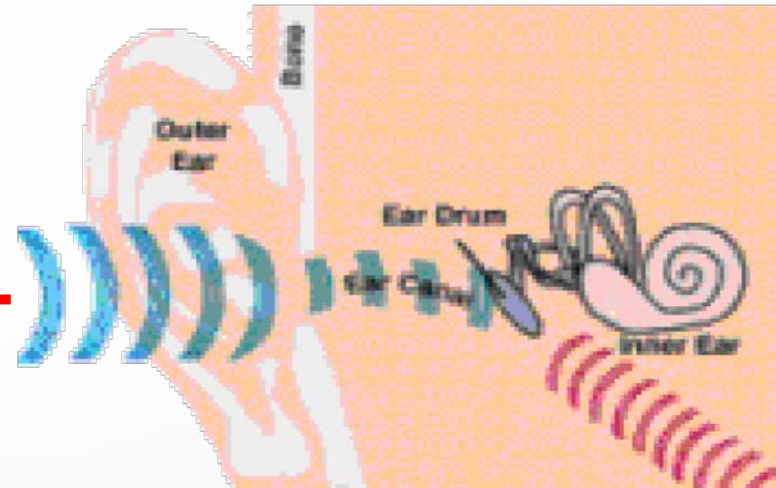
ou

$$v = \lambda \cdot f$$

$T$  = período (SI : s)

$f$  = frequência (SI : Hz)

# ACÚSTICA



- É o segmento da Física que interpreta o comportamento das ondas sonoras audíveis frente aos diversos fenômenos ondulatórios.
- ONDA SONORA: Onda mecânica, longitudinal e tridimensional.

# Velocidade do som

A velocidade do som depende do meio de propagação.

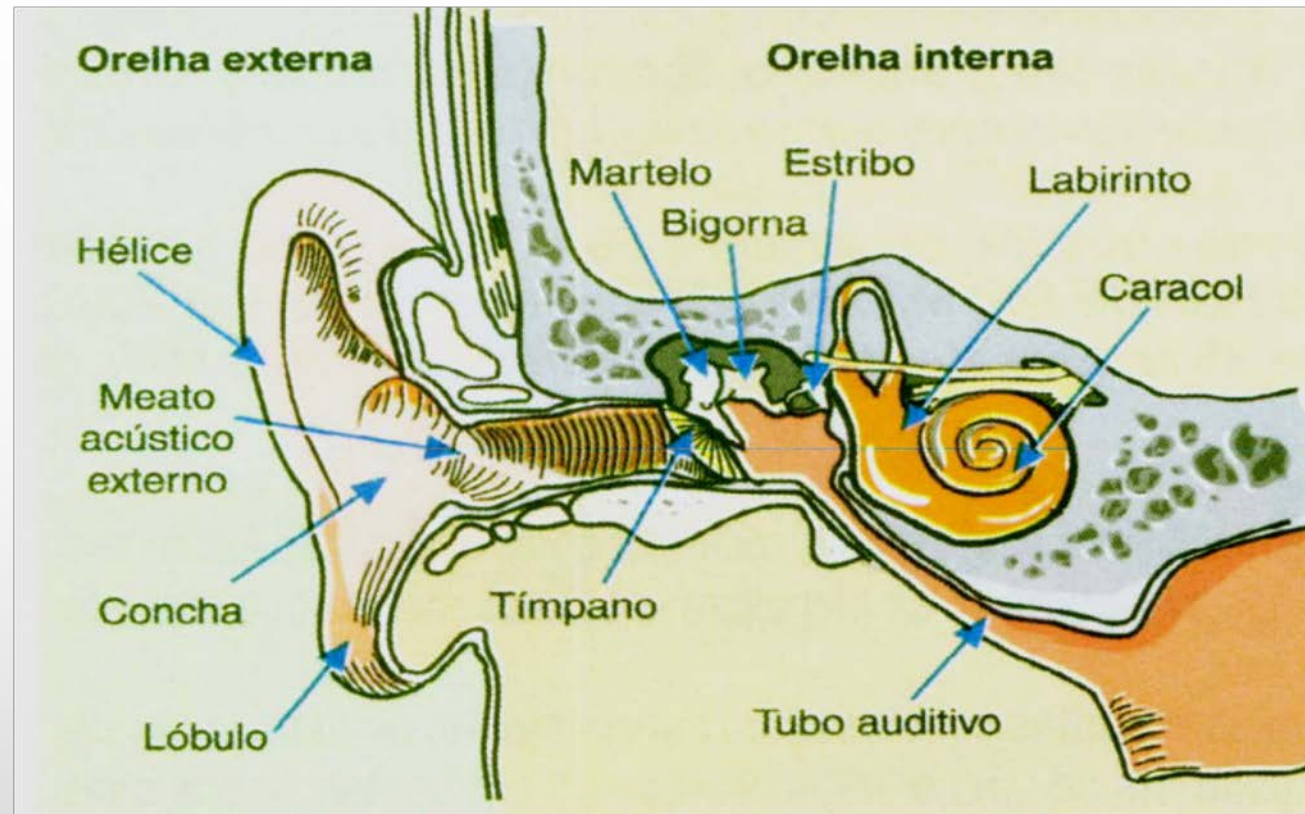
| Sólidos             |          |
|---------------------|----------|
| Vidro (20 °C)       | 5130 m/s |
| Alumínio (20 °C)    | 5100 m/s |
| Líquidos            |          |
| Glicerina (25 °C)   | 1904 m/s |
| Água do mar (25 °C) | 1533 m/s |
| Água (25 °C)        | 1493 m/s |
| Mercúrio (25 °C)    | 1450 m/s |
| Gases               |          |
| Hidrogênio (0 °C)   | 1286 m/s |
| Hélio (0 °C)        | 972 m/s  |
| Ar (20 °C)          | 343 m/s  |
| Ar (0 °C)           | 330 m/s  |



# Fisiologia da audição

**Ouvido externo:**  
capta o som.

Tímpano leva o som para o **ouvido médio** (martelo, bigorna e estribo)



Quando o som chega ao **ouvido interno** ele é amplificado de 30 a 60 vezes pela janela oval no início do labirinto e caracol.



No ouvido interno estão as terminações nervosas que se comunicam com o cérebro).

# Altura (ou tom)

- Faz com que o ouvido possa distinguir um som baixo (grave) de um som alto (agudo).
- Som baixo (grave) – baixa frequência.  
Som alto (agudo) – alta frequência.

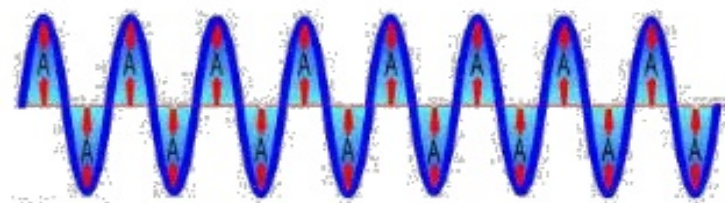


Figura 1

agudo

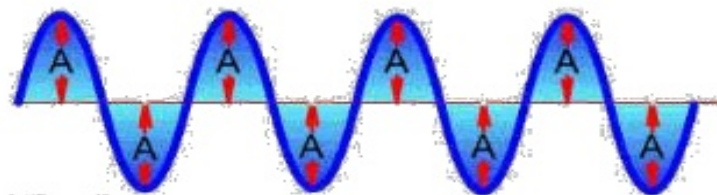
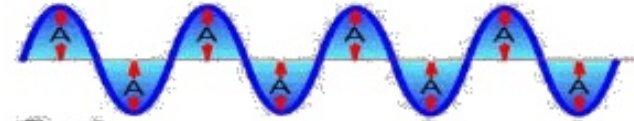


Figura 2

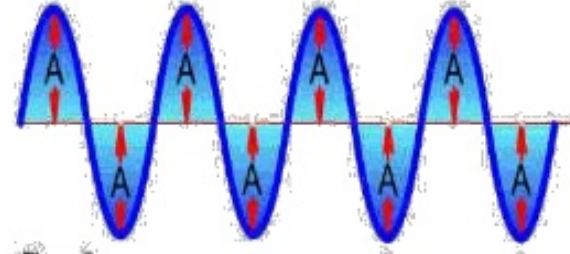
grave

# Intensidade (Volume)

- É a qualidade que diferencia sons fracos e fortes.
- Intensidade sonora é a *potência sonora por unidade de área*<sup>1</sup>.
- A intensidade mínima da audição é, geralmente,
- $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ .



FRACO



FORTE

# INTENSIDADE SONORA

$$I = \frac{Pot}{a}$$



Potência da fonte  
(Watts)



Área atravessada pelo  
som (m<sup>2</sup>)

SILENCIO  
ABSOLUTO

SOM FISIOLÓGICO

POLUIÇÃO  
SONORA



LIMAR DE AUDIBILIDADE

# NÍVEL SONORO

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Obs.:

$$\log 10^x = x$$

$$\log (x \cdot y) = \log x + \log y$$

$$\log A = x \Rightarrow A = 10^x$$

$$1 \text{ B} = 1 \text{ bel} = 10 \text{ decibels} = 10\text{dB}$$

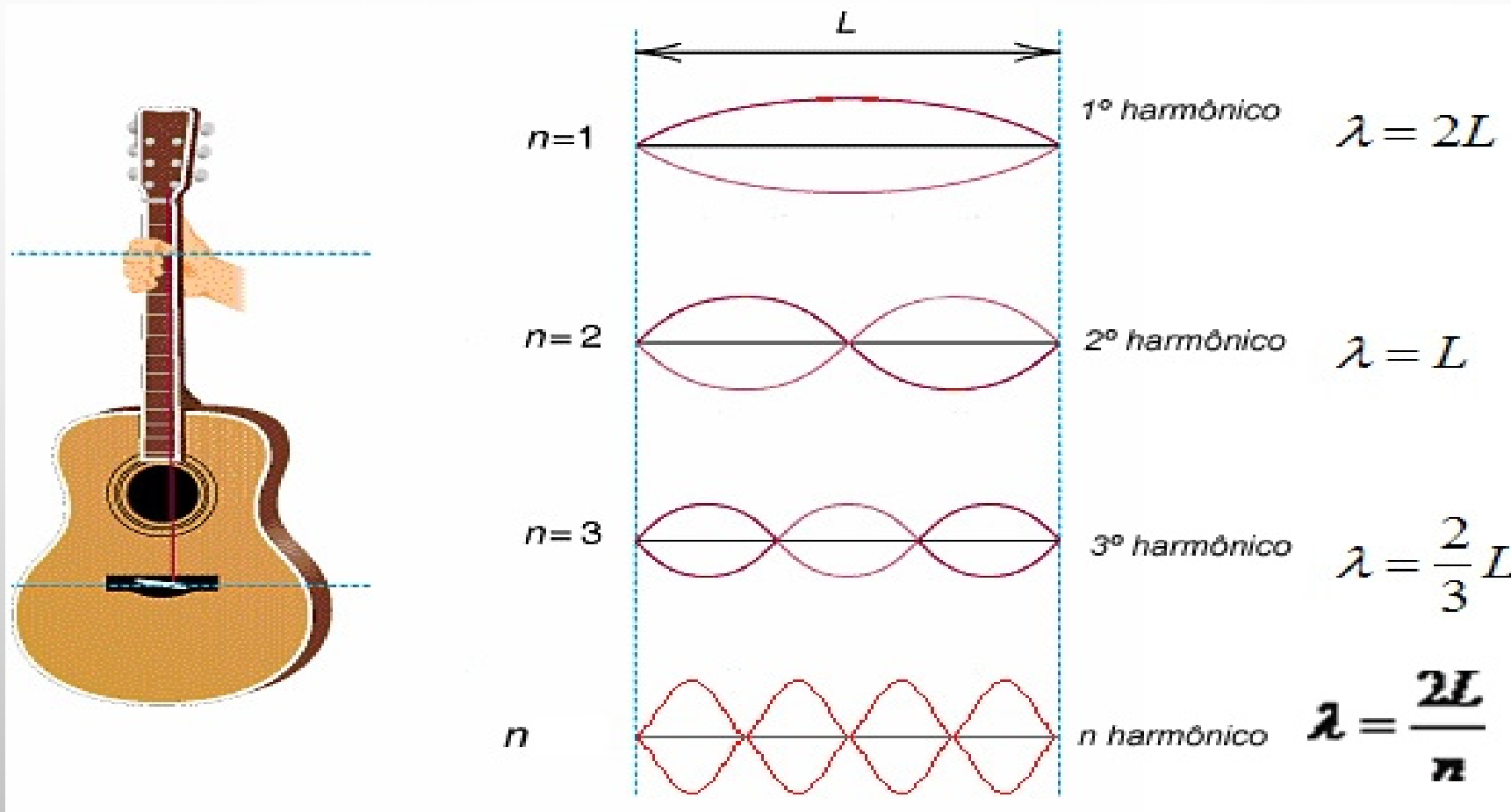


# Timbre

- Está relacionado à forma da onda.
- Permite distinguir dois sons de mesma altura e mesma intensidade, emitidos por fontes distintas.

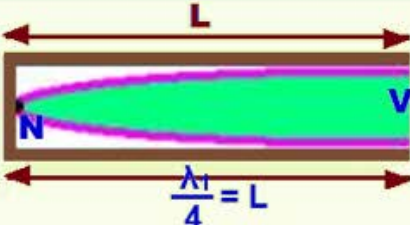


# Cordas Sonoras



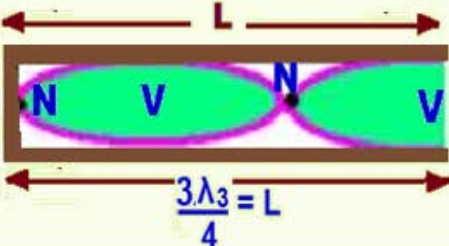
# Tubos Sonoros fechados

**Som fundamental**  
**Primeiro harmônico**



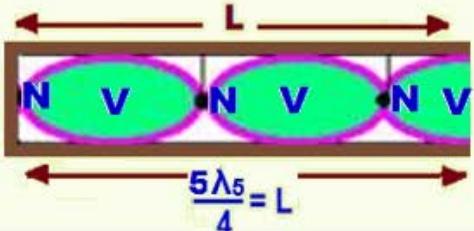
$\frac{\lambda_1}{4} = L \rightarrow \lambda_1 = 4L \rightarrow V = \lambda_1 \cdot f_1 \rightarrow f_1 = \frac{V}{\lambda_1} \rightarrow f_1 = \frac{V}{4L}$

**Terceiro harmônico**



$\frac{3\lambda_3}{4} = L \rightarrow \lambda_3 = \frac{4L}{3} \rightarrow V = \lambda_3 \cdot f_3 \rightarrow f_3 = \frac{V}{\lambda_3} \rightarrow f_3 = \frac{3V}{4L}$

**Quinto harmônico**

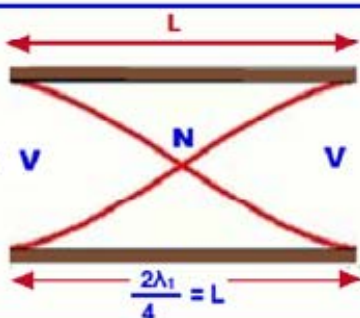


$\frac{5\lambda_5}{4} = L \rightarrow \lambda_5 = \frac{4L}{5} \rightarrow V = \lambda_5 \cdot f_5 \rightarrow f_5 = \frac{V}{\lambda_5} \rightarrow f_5 = \frac{5V}{4L}$



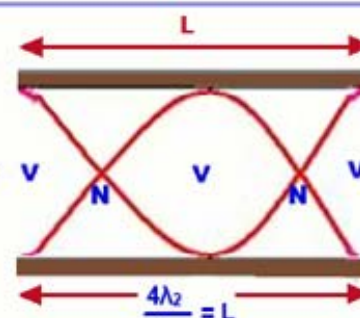
# Tubos Sonoros abertos

Som fundamental  
Primeiro harmônico



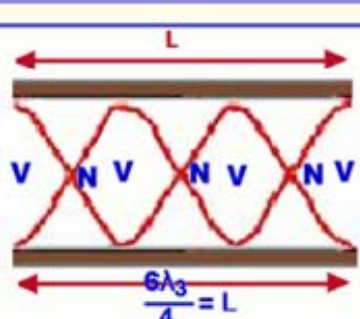
$\frac{2\lambda_1}{4} = L \rightarrow \lambda_1 = 2L \rightarrow V = \lambda_1 f_1 \rightarrow f_1 = \frac{V}{\lambda_1} \rightarrow f_1 = \frac{V}{2L}$

Segundo harmônico



$\frac{4\lambda_2}{4} = L \rightarrow \lambda_2 = L \rightarrow V = \lambda_2 f_2 \rightarrow f_2 = \frac{V}{\lambda_2} \rightarrow f_2 = \frac{V}{L}$

Terceiro harmônico



$\frac{6\lambda_3}{4} = L \rightarrow \lambda_3 = \frac{2L}{3} \rightarrow V = \lambda_3 f_3 \rightarrow f_3 = \frac{V}{\lambda_3} \rightarrow f_3 = \frac{3V}{2L}$

$\lambda_n = \frac{2L}{n}$

$f_n = \frac{nV}{2L}$

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

# Referências Bibliográficas

---

Halliday, D., & Resnick, R. (2009). *Fundamentos de Física. Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. LTC.

HELOU, D.; GUALTER, J.B.; NEWTON, V.B. **Tópicos de Física**, vol.2. São Paulo, editora Saraiva, 2012

NUSSENZVEIG, H. M. (1981). *Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor* (Vol. 2). Edgar Bluncher LDTA.

OLIVEIRA, M. K. Vygotsky: **aprendizado e desenvolvimento: um processo sócio-histórico**. 4. ed. São Paulo: Scipione, 1997.

Portal da educação-<https://www.portaldaeducacao.com.br>

QUEIROZ, L.R.S, **ESCOLA, CULTURA, DIVERSIDADE E EDUCAÇÃO MUSICAL: DIÁLOGOS DA CONTEMPORANEIDADE**, v.19, n.37, 2013.

YOUNG; FREEDMAN. Física II, 12ª edição, **termodinâmica e ondas**, 2003