

## **Aula 14**

*Ondulatória: Classificação de ondas, propriedades, fenômenos e ondas sonoras.*

Prof. Vinícius Fulconi

## Sumário

<b>Apresentação .....</b>	<b>4</b>
<b>1- Introdução .....</b>	<b>6</b>
<b>2- Classificação das ondas .....</b>	<b>7</b>
2.1- Quanto ao meio de propagação .....	7
2.1.1- Ondas mecânicas.....	7
2.1.2- Ondas Eletromagnéticas.....	7
2.2- Quanto a direção de propagação .....	8
2.2.1- Ondas Longitudinais .....	8
2.2.2- Ondas transversais .....	9
2.2.3- Ondas Mistas .....	10
2.2.4- Polarização .....	11
<b>3- Propriedades das ondas .....</b>	<b>12</b>
3.1- Amplitude.....	12
3.2- Período e frequência .....	13
3.3- Comprimento de onda .....	14
3.4- Velocidade de propagação .....	16
3.4.1- Velocidade de propagação de uma onda periódica.....	16
3.4.2- Velocidade de propagação em corda tensionada .....	17
3.5- Equação de onda em corda tensionada.....	19
<b>4- Fenômenos ondulatórios .....</b>	<b>20</b>
4.1- Reflexão.....	20
4.1.1- Reflexão de ondas transversais em cordas .....	20
4.2- Refração .....	22
4.3- Refração e reflexão em cordas .....	22
4.3.1- Da corda menos densa para a corda mais densa .....	22
4.3.2- Da corda mais densa para a corda menos densa .....	23
4.4- Superposição .....	24
4.4.1- Superposição construtiva .....	24
4.4.2- Superposição Destrutiva.....	25
4.4.3- Ondas Estacionárias .....	26



<b>5 - Acústica</b> .....	<b>27</b>
<b>5.1- Características do som</b> .....	<b>28</b>
5.1.1- Intensidade .....	28
5.1.2- Altura .....	28
5.1.3- Timbre .....	28
<b>5.2- Reflexão do som</b> .....	<b>29</b>
5.2.1- Eco .....	29
5.2.2- Reverberação.....	30
5.2.3- Reforço .....	30
<b>5.3- Cordas sonoras vibrantes</b> .....	<b>32</b>
5.3.1- Duas extremidades presas .....	32
5.3.2- Uma extremidade livre e uma presa .....	34
<b>5.4- Tubos sonoros</b> .....	<b>38</b>
5.4.1- Tubos abertos.....	38
5.4.2- Tubos Fechados.....	41
<b>5.5- Efeito Doppler</b> .....	<b>44</b>
<b>Lista de Questões</b> .....	<b>48</b>
<b>Gabarito</b> .....	<b>64</b>
<b>Lista de Questões Resolvidas e Comentadas</b> .....	<b>65</b>
<b>Considerações Finais</b> .....	<b>92</b>
<b>Referências</b> .....	<b>93</b>



## Apresentação

**Querido aluno(a), seja bem-vindo(a) à nossa primeira aula!**

Sou o professor **Vinícius Fulconi**, tenho vinte e quatro anos e estou cursando Engenharia Aeroespacial no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Irei contar um pouco sobre minha trajetória pessoal, passando pelo mundo dos vestibulares com minhas principais aprovações, até fazer parte da equipe de física do Estratégia Vestibulares.

No ensino médio, eu me comportava como um aluno mediano. No final do segundo ano do ensino médio, um professor me desafiou com a seguinte declaração: *Você **nunca vai passar no ITA!*** Essa fala do professor poderia ter sido internalizada como algo desestimulador e, assim como muitos, eu poderia ter me apegado apenas ao que negritei anteriormente. Muitos desistiram! Entretanto, eu preferi negritar e gravar ***“Você vai passar no ITA!”***

Querido aluno(a), a primeira lição que desejo te mostrar não é nenhum conteúdo de física. Quero que transforme seu sonho em vontade de vencer. Transforme seus medos e incapacidades em desafios a serem vencidos. Haverá muitos que duvidarão de você. O mais importante é você acreditar! **Nós do Estratégia Militares acreditamos no seu potencial** e ajudaremos você a realizar seu sonho!



Após alguns anos estudando para o ITA, usando muitos livros estrangeiros, estudando sem planejamento e frequentando diversos cursinhos do segmento, realizei meu sonho e entrei em umas das melhores faculdades de engenharia do mundo. 😊 Além de passar no ITA, ao longo da minha preparação, fui aprovado no IME, UNICAMP, Medicina (pelo ENEM) e fui medalhista na Olimpíada Brasileira de Física.

Minha resiliência e grande experiência em física, que obtive estudando por diversas plataformas e livros, fez com que eu me tornasse professor de física do Estratégia Vestibulares. Tenho muito orgulho em fazer parte da família Estratégia e hoje, se você está lendo esse texto, também já é parte dela. Como professor, irei te guiar por toda física, alertando sobre os erros que cometi na minha preparação, mostrando os pontos em que obtive êxito e, assim, conseguirei



identificar quais são seus pontos fortes e fracos, maximizando seu rendimento e te guiando até à faculdade dos seus sonhos.

Você deve estar se perguntando: **O que é necessário para começar esse curso?**



***ALERTA!***

Esse curso exige do candidato apenas **dedicação, perseverança e vontade de vencer.**

# 1- Introdução

Nessa aula iniciaremos o estudo de uma parte da física que está o tempo todo nos cercando: está na luz que nos rodeia, nos sons que escutamos. Estou falando aqui da **ondulatória**, o segmento da física que estuda as **ondas** e suas interações.

Para começar iremos fazer uma grande classificação das ondas já que elas são nosso alvo nessa aula. Logo em seguida mostraremos as propriedades e fenômenos relacionados a ondulatória em geral.

Por último, nos aprofundaremos em um tipo de onda específica: **o som**, analisando suas propriedades e características próprias.

Rodeados de exemplos do cotidiano a aula passará rapidinho!

Então, vamos começar? 😊



## 2- Classificação das ondas

Por natureza, ondas propagam energia em diversos meios, mas sem deslocamento de matéria. Dessa forma, dividi-las em grupos quanto ao meio em que se propagam e as direções em que o fazem é de extrema praticidade para o melhor entendimento do curso.

### 2.1- Quanto ao meio de propagação

#### 2.1.1- Ondas mecânicas

Ondas mecânicas são aquelas que necessitam de um meio material para se propagar, ou seja, **não existem no vácuo.**

Dessa forma, esse tipo de onda provoca o transporte de energia através das partículas de um meio com matéria, mas essas não são transportadas.

Exemplos de ondas mecânicas são o som e as ondas que se propagam nas cordas de um instrumento musical.



Figura 1: Ondas de som se propagando.

#### 2.1.2- Ondas Eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas, ao contrário das mecânicas, podem se propagar tanto em meios materiais quanto no vácuo. Esse tipo de onda é constituído por dois campos: um elétrico e outro magnético ambos variáveis.

Exemplos de ondas eletromagnéticas são: a luz, as ondas de rádio e de TV. A diferença entre elas está na fonte que os gera e, principalmente, em suas frequências.

## 2.2- Quanto a direção de propagação

### 2.2.1- Ondas Longitudinais

São aquelas em que a direção de propagação da onda é a mesma da direção de vibração dela. Como exemplo, imagine uma mola presa em uma parede e livre em uma de suas extremidades



Figura 2: Ondas na corda.

Agora, se na sua extremidade livre for dada um impulso:

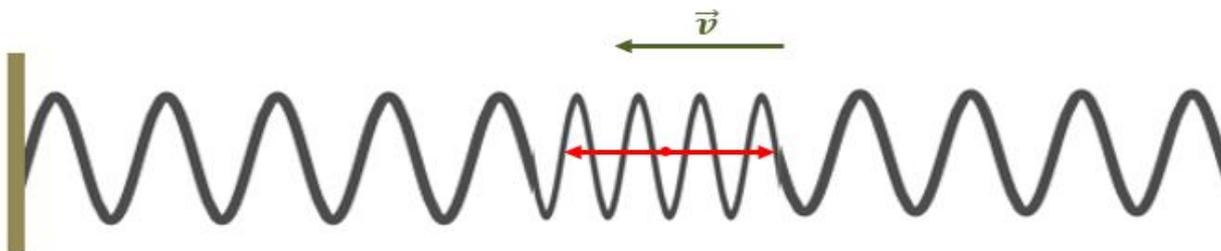


Figura 3: Ondas na corda.

Logo, a propagação da onda e sua vibração terão a mesma direção, o que a caracteriza como onda longitudinal



Figura 4: Propagação versus vibração.

Exemplos de ondas longitudinais é o som quando em líquidos e gases.



## 2.2.2- Ondas transversais

Esse tipo de onda é caracterizado por sua propagação e sua vibração terem direções perpendiculares. A exemplo temos uma corda pela qual percorre um pulso:

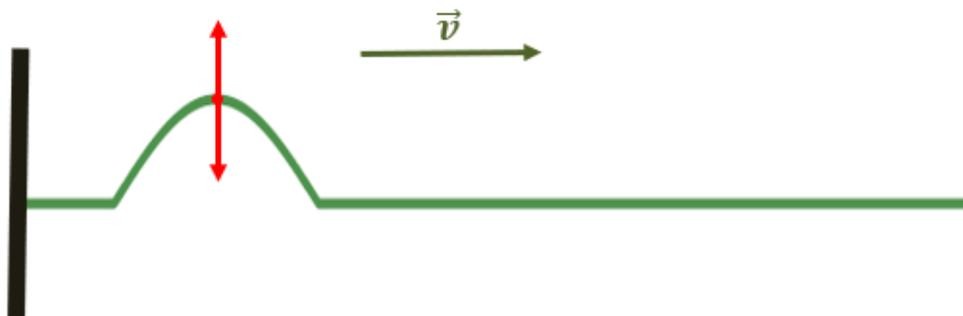


Figura 5: Ondas transversais

Então temos:



Figura 6: Propagação e vibração.

Um exemplo cotidiano de ondas transversais é a luz.

### APÊNDICE: A Luz

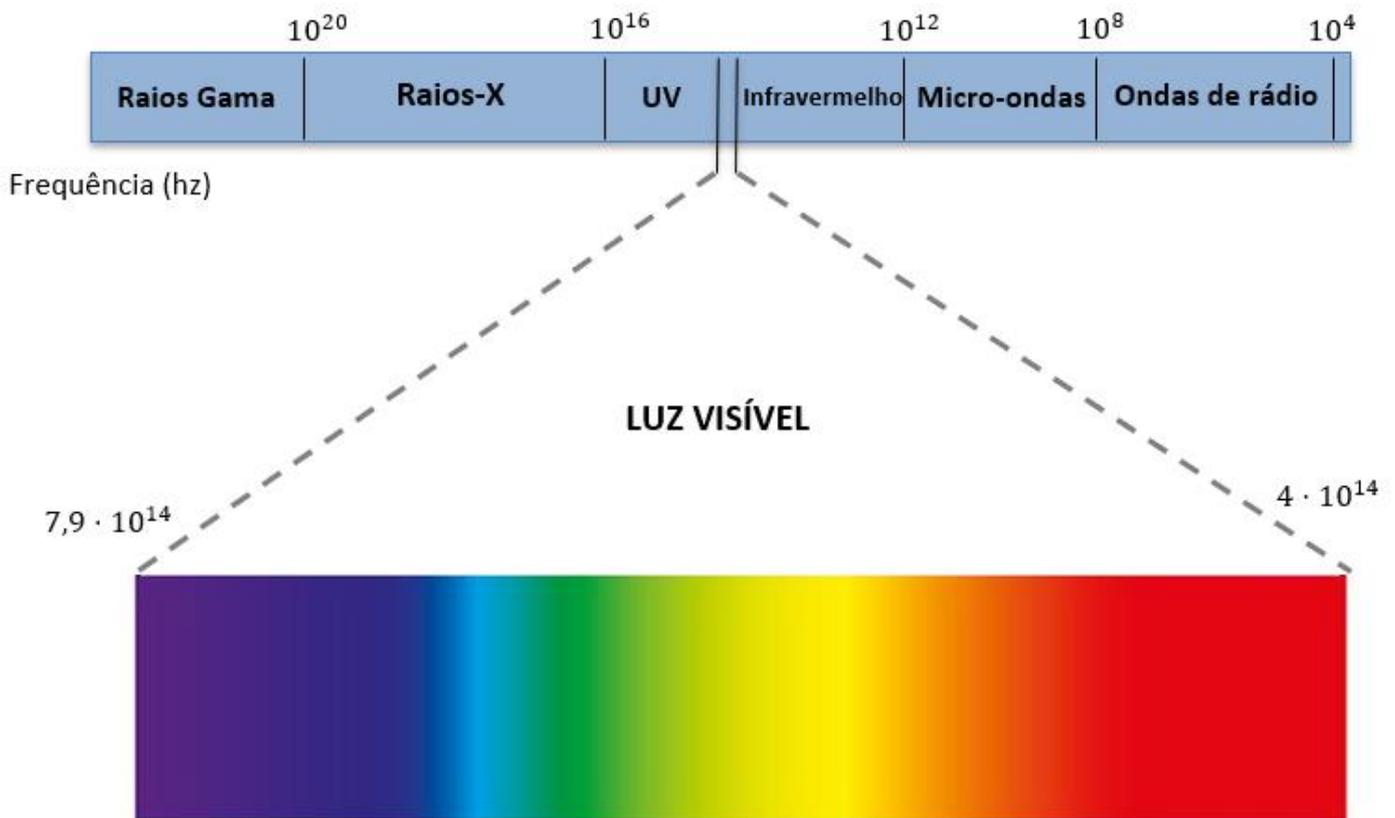
Composta por ondas eletromagnéticas, a luz se propaga no vácuo com uma velocidade de  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  e em outros meios com velocidades menores, dependendo da transparência desse meio e da frequência da onda.

A **luz visível** está dentro de uma faixa de frequências que vai de aproximadamente  $4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$  até  $8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ . Dentro desse intervalo enxergamos as cores básicas na seguinte ordem crescente de frequência: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

Bem próximo do limite inferior do espectro da luz visível temos a região de frequências que denominamos **infravermelho** e nas proximidades do limite superior temos a banda de frequências do **ultravioleta**.



Vejamos os demais intervalos de frequências notáveis, no seguinte espectro da luz:



### 2.2.3- Ondas Mistas

Ondas mistas são aquelas nas quais a direção de vibração é simultaneamente perpendicular e paralela a sua direção de propagação.



Figura 7: Propagação e vibração.



Um exemplo de onda mista é o som se propagando em meios sólidos.

### 2.2.4- Polarização

Ondas transversais podem sofrer um processo chamado de polarização que consiste em, pela ajuda de um polarizador, ajustar em um sentido desejado a vibração das ondas.

Ou seja, dado um padrão de vibração como este abaixo:

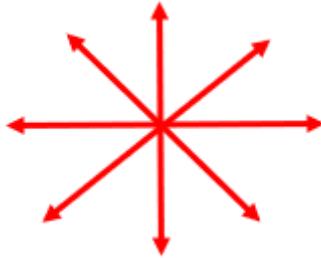


Figura 8: Padrões de vibração de uma onda.

Ao passarmos essa onda por um polarizador que somente deixa passar vibrações verticais, teremos o seguinte esquema:

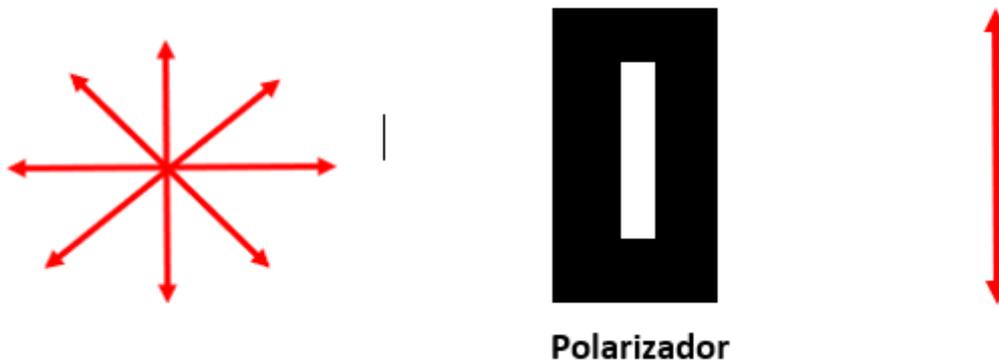


Figura 9: Passagem por um polarizador.

ESCLARECENDO!



Nos antigos óculos 3D dos cinemas, a tecnologia utilizada era com base na polarização de ondas.

## 3- Propriedades das ondas

### 3.1- Amplitude

Para visualizarmos esse conceito de maneira mais prática, tomemos uma corda presa somente em uma de suas extremidades.

Dado um impulso em sua extremidade livre, analizaremos o ponto P da corda:

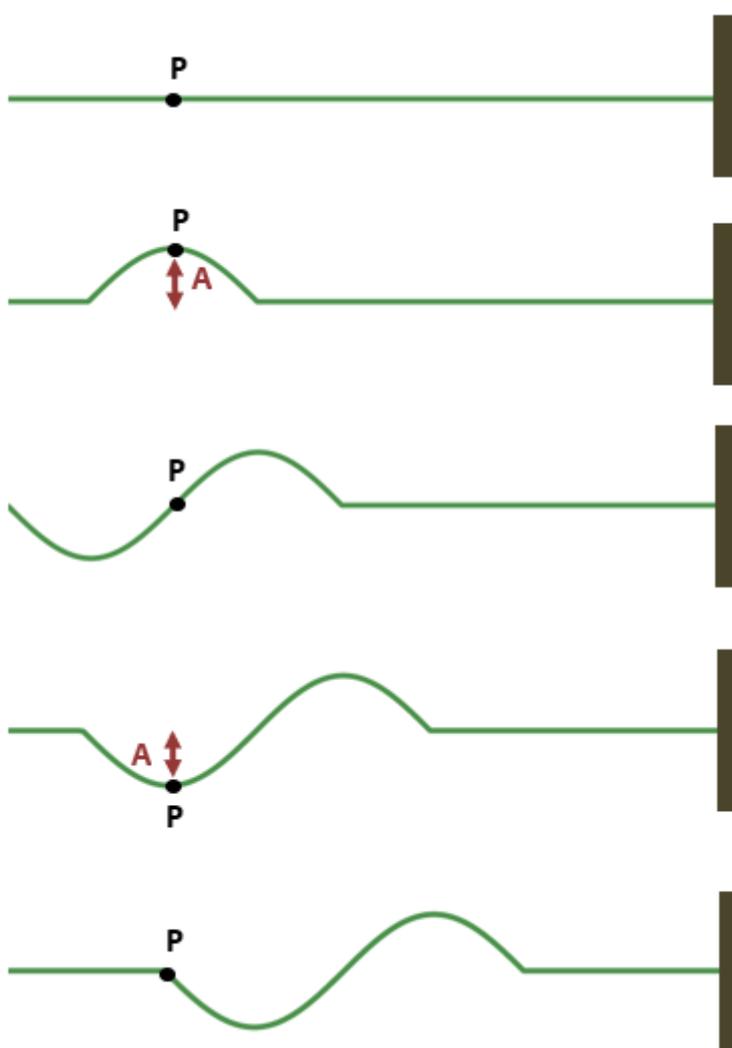


Figura 10: Reflexão de pulsos.

Dessa forma, vemos que o impulso dado configura uma parte de uma onda na qual a amplitude é (A), de acordo com a figura.



### 3.2- Período e frequência

Novamente utilizando uma corda em que uma de suas extremidades está presa e a outra solta, daremos impulsos contínuos na ponta livre, de forma a construirmos um movimento harmônico simples (MHS) em todos os pontos da corda cuja amplitude já fora estudada no tópico anterior:

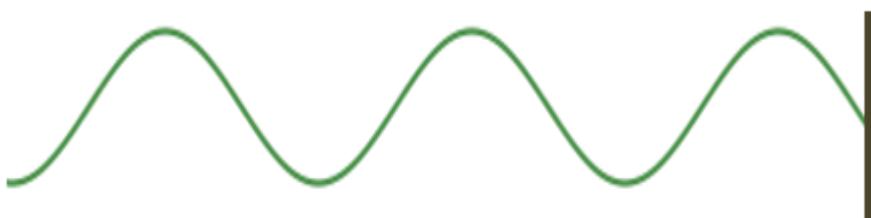


Figura 11: Onda na corda.

Dessa forma, analisando novamente um ponto P da corda, ele realizará a cada espaço de tempo ( $T$ ) o mesmo movimento:

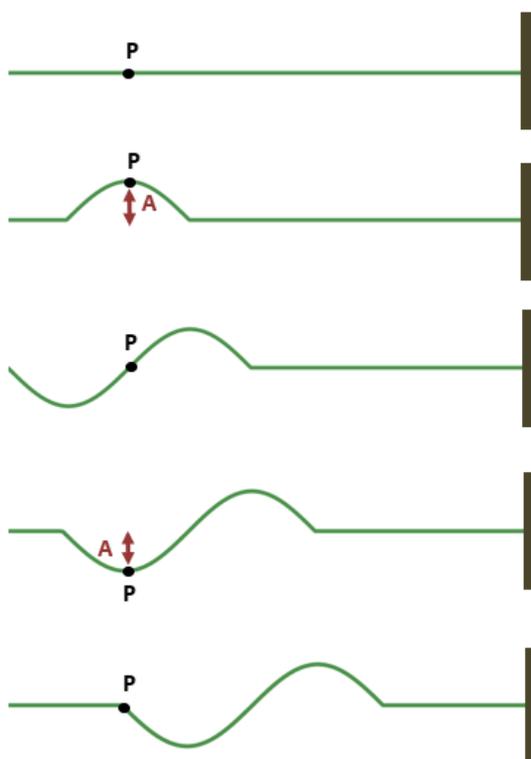


Figura 12: Reflexão de pulso na extremidade fixa.

Esse espaço de tempo (T) denominamos **PERÍODO**.

Além disso, nomeamos como **FREQUÊNCIA** (f) a quantidade de movimentos iguais ao anterior executados em uma unidade de tempo.

Dessa forma, temos a seguinte relação:



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

### 3.3- Comprimento de onda

Dada uma foto estática de uma onda periódica, temos:

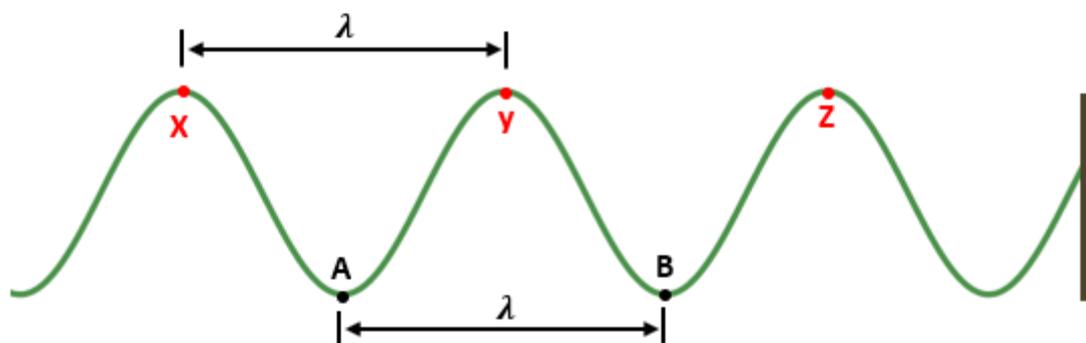


Figura 13: Parâmetro de uma onda.

A distância entre cada ciclo de repetição do padrão nós chamamos de **comprimento de onda** ( $\lambda$ ). Como visto na figura acima, a distância entre os pontos (X) e (Y) ou a distância entre os pontos (A) e (B) equivalem a um comprimento de onda.

Analisando mais a fundo a figura acima, nomeamos pontos de máximo da onda como **CRISTAS** (pontos X, Y e Z) e os pontos de mínimo como **VALES** (pontos A e B).

Ondas longitudinais também possui o análogo a vales e cristas, mas os chamamos de **rarefações** e **compressões**:



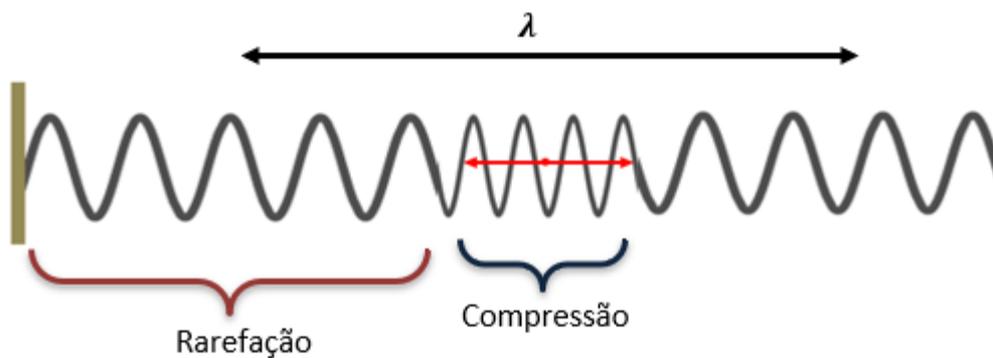


Figura 14: Zona de rarefação e zona de compressão.

### Observação Importante:

- Dizemos que dois pontos estão em concordância de fase quando distam entre si um número inteiro de comprimentos de onda  $\lambda$ .
- Dizemos que dois pontos estão em oposição de fase quando distam entre si um número ímpar de meios comprimentos de onda ( $\frac{\lambda}{2}$ ).

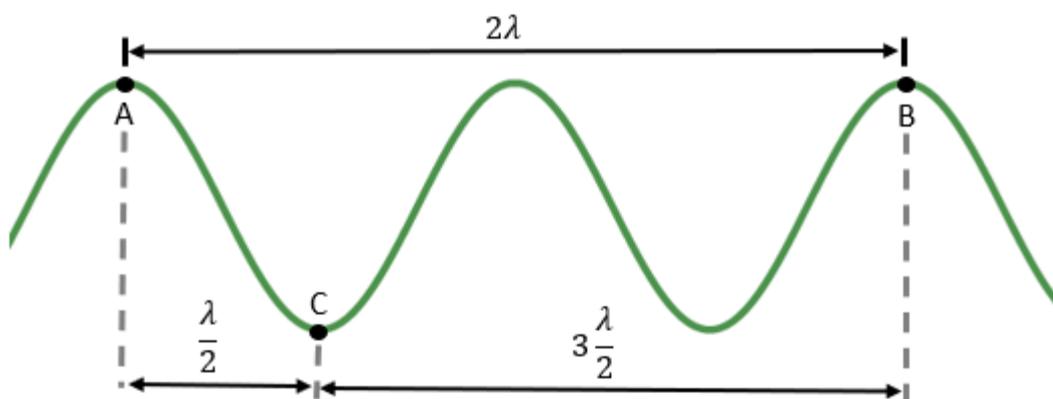


Figura 15: Análise dos pontos na onda.

Da figura temos que os pontos (A) e (B) distam entre si:  $d_{AB} = 2\lambda$ , logo, por ser um número inteiro de comprimentos de onda, esses pontos estão em concordância de fase.

Ademais, podemos ver que o ponto (C) dista de (A):  $d_{CA} = \frac{\lambda}{2}$ , logo, por ser um número ímpar de meios comprimentos de onda, esses pontos estão em oposição de fase. Analogamente, o ponto (C) dista de (B):  $d_{CB} = 3\frac{\lambda}{2}$ , logo o ponto (C) também está em oposição de fase em relação a (B).

### 3.4- Velocidade de propagação

#### 3.4.1- Velocidade de propagação de uma onda periódica

Como já vimos nos tópicos anteriores, no espaço de tempo de um período (T), uma onda periódica se desloca uma distância de um comprimento de onda ( $\lambda$ ), então temos que sua velocidade de propagação é dada por:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

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

Mas como:

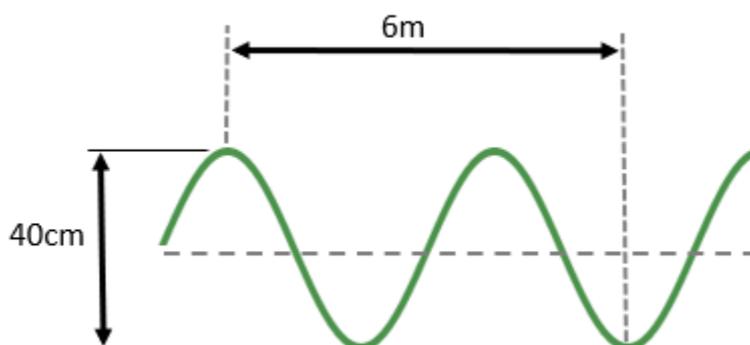
$$f = \frac{1}{T}$$

Então temos a relação fundamental da ondulatória:

$$v = \lambda \cdot f$$



**Exemplo 1:** Dada a figura de parte de uma onda periódica abaixo, responda:



- Qual a amplitude da onda?
- Qual o comprimento de onda?
- Se a onda se propaga a uma velocidade de 100m/s, qual a sua frequência?



d) Qual é o período?

**Comentário:**

a) Pela figura vemos que:

$$2A = 40$$

$$A = 20\text{cm}$$

b) Também através da figura, podemos ver que o comprimento de um e meio comprimento de onda ( $\frac{3\lambda}{2}$ ) é dado por 6m, assim como diz a marcação, então:

$$\frac{3\lambda}{2} = 6$$

$$\lambda = \frac{6 \cdot 2}{3}$$

$$\lambda = 4\text{m}$$

c) Pela relação fundamental da ondulatória, temos que:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$100 = 4 \cdot f$$

$$f = 25\text{hz}$$

d) Sabemos que:

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

$$T = \frac{1}{25}$$

$$T = 0,04\text{s}$$

### 3.4.2- Velocidade de propagação em corda tensionada

Em cordas tensionadas, podemos estudar a propagação de ondas do tipo transversais.

Seja uma corda de massa ( $m$ ) e comprimento ( $L$ ), sua densidade linear é dada por:

$$\mu = \frac{m}{L}$$



Sendo (F) a força de tração que age sobre a corda, podemos definir que a velocidade de propagação da onda será dada por:

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



Em alguns exercícios, porém, pode ser dado o valor da densidade volumétrica ( $\rho$ ) ao invés da linear. Nesses casos, sendo (A) a área de secção transversal constante da corda e (V) o volume dela, temos:

$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$\rho = \frac{m}{A \cdot L}$$
$$\rho = \frac{\mu}{A}$$

Então:

$$\mu = \rho \cdot A$$

Logo, podemos escrever que:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$$

**Exemplo 2:** Seja a velocidade de propagação de uma onda em uma corda igual a  $v = 5m/s$  e sua densidade linear dada por  $\mu = 4kg/m$ , responda:

- Qual a força de tração na corda?
- Qual a massa da corda, sabendo que seu comprimento total é de  $L = 2m$ ?
- Se a área de secção da corda é dada por  $A = 0,01 m^2$ , qual a sua densidade volumétrica?

**Comentário:**

- De acordo com o que vimos na teoria:



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

$$5 = \sqrt{\frac{F}{4}}$$

$$5 \cdot 2 = \sqrt{F}$$

$$10 = \sqrt{F}$$

$$F = 100N$$

b) Visto que:

$$\mu = \frac{m}{L}$$

$$4 = \frac{m}{2}$$

$$m = 8kg$$

c) Sabemos que a relação entre densidade volumétrica e densidade linear é dada por:

$$\mu = \rho \cdot A$$

$$\rho = \frac{\mu}{A}$$

$$\rho = \frac{4}{0,01}$$

$$\rho = 400 \text{ kg/m}^3$$

### 3.5- Equação de onda em corda tensionada

Dada uma corda tensionada, ajustamos a ela um plano cartesiano da seguinte forma:

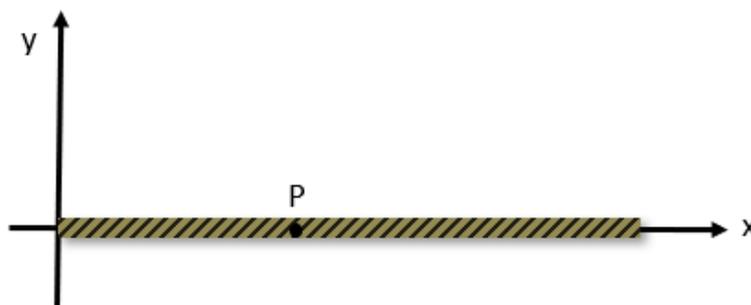


Figura 16: Corda em repouso.



Na origem do sistema há uma fonte que estimula ondas periódicas na corda. Dessa forma, para um ponto (P) qualquer, sua trajetória no eixo y em função do tempo é dada por:

$$y = A \cos(\omega t + \phi_0)$$

Onde:                    A = amplitude do movimento no eixo y  
                               $\omega = 2\pi f$  (onde  $\omega$  é chamado de frequência angular)  
                               $\phi_0$  = fase inicial do ponto em questão

## 4- Fenômenos ondulatórios

### 4.1- Reflexão

Uma onda sofre o fenômeno da reflexão quando, ao se propagar por um meio A, incide em um meio B, de características distintas do primeiro, e retorna ao A, propagando-se neste meio novamente.

Na reflexão a onda não altera sua velocidade de propagação, haja vista que continua a se deslocar pelo mesmo meio. A frequência da onda também não é alterada pois esta é uma característica fixa. Conseqüentemente o comprimento de onda também não se altera, pois, como visto na relação fundamental da ondulatória ( $v = \lambda f$ ), o ( $\lambda$ ) é função da velocidade e da frequência da onda.

#### 4.1.1- Reflexão de ondas transversais em cordas

Analisaremos nesse tópico pulsos emitidos em cordas e suas reflexões nos casos em que a corda estará anexada em uma extremidade fixa ou móvel.

- **Extremidade Fixa**

Nesse caso, o pulso incidente, ao recair sobre a extremidade fixa da corda, impõe uma força nesse aparato de tal forma que a extremidade fixa retorna, por ação e reação, a mesma força, mas de sentido oposto. Dessa forma, o pulso é refletido de forma **invertida**. Ou seja, se o pulso incide subindo, ele retorna descendo e se ele incide descendo ele retorna subindo. Dizemos então que os pulsos incidentes e refletidos, nesse caso, estão em **oposição de fase**.



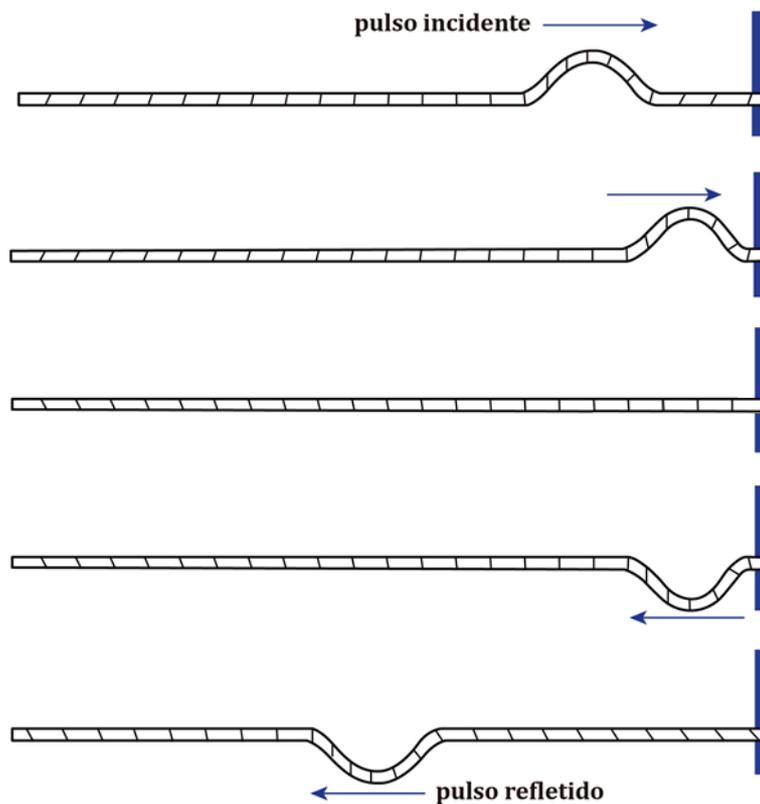


Figura 17: Corda com extremidade fixa.

- **Extremidade móvel**

Nesse caso o pulso incidente, ao recair sobre a extremidade móvel, retorna com o **mesmo sentido** em que chegou. Isso porque, a extremidade móvel funciona como um anel preso em uma haste que, ao sofrer a ação do pulso se desloca, reflete a figura ondulatória com as mesmas características iniciais. Dessa forma, dizemos que o pulso incidente e o refletido estão **em fase**.

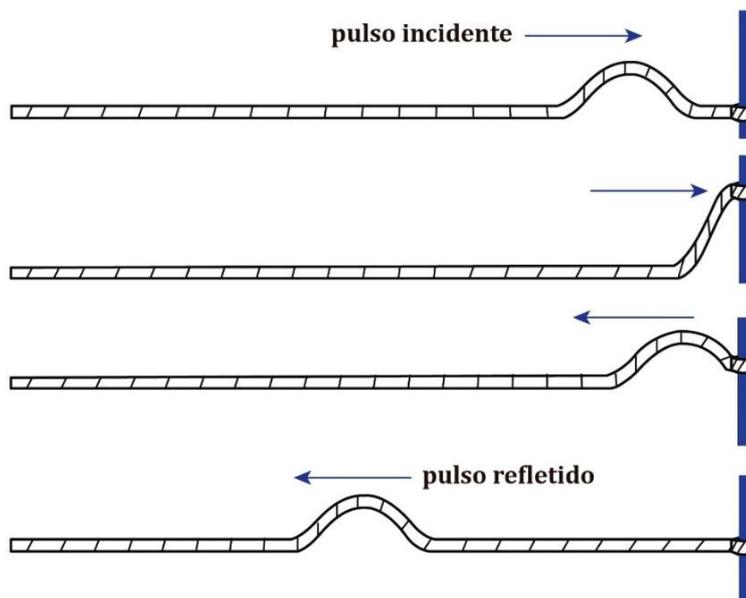


Figura 18: Corda com extremidade livre.



## 4.2- Refração

A refração é o fenômeno em que uma onda, propagando-se em um meio A, começa a se propagar em um meio B de características distintas do meio A.

Como os meios são distintos, as velocidades de propagação também serão. Ademais, a **frequência** da onda na refração também é **constante**, assim como na reflexão. Conseqüentemente, pela relação fundamental da ondulatória já vista em tópicos anteriores ( $v = \lambda f$ ), o **comprimento de onda** também **se alterará** de meio para meio pois, embora a frequência seja constante, a **velocidade se modifica**.

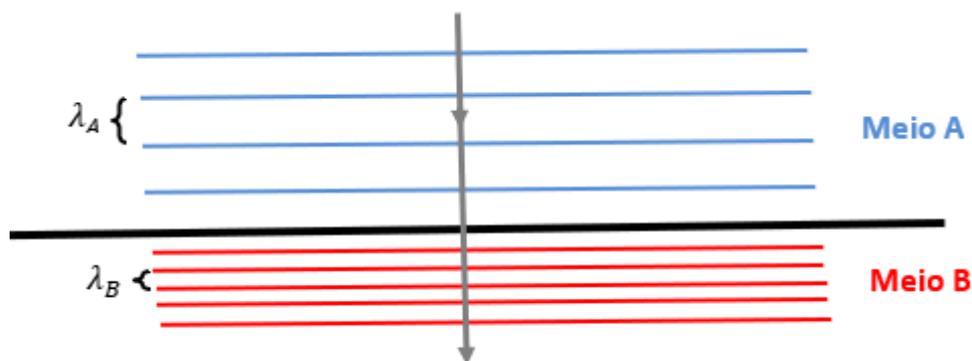


Figura 19: Refração de uma onda.

A velocidade das ondas do mar são um grande exemplo de refração. Em regiões mais fundas a velocidade das ondas são maiores e em regiões mais rasas têm menores velocidades. Isso se dá devido ao fato de que regiões de diferentes profundidades podem ser consideradas como meios distintos, dessa forma, ao passo que a onda se refrata de um meio a outro ela muda sua velocidade.

## 4.3- Refração e reflexão em cordas

### 4.3.1- Da corda menos densa para a corda mais densa

Ao conectarmos duas cordas X e Y com densidades distintas e fizermos um pulso percorrer o caminho do começo de X até a emenda com Y, teremos os fenômenos de refração e reflexão dessa onda simultaneamente. Nesse caso, a corda Y é mais densa que X ( $\mu_Y > \mu_X$ ).

Para a análise da reflexão temos que a corda Y, por ser mais rígida que X, fará o papel de extremidade fixa, tornando o pulso refletido invertido com relação ao incidente.

Na refração o pulso transmitido terá sempre a mesma “direção” do incidente, independente das densidades das cordas.



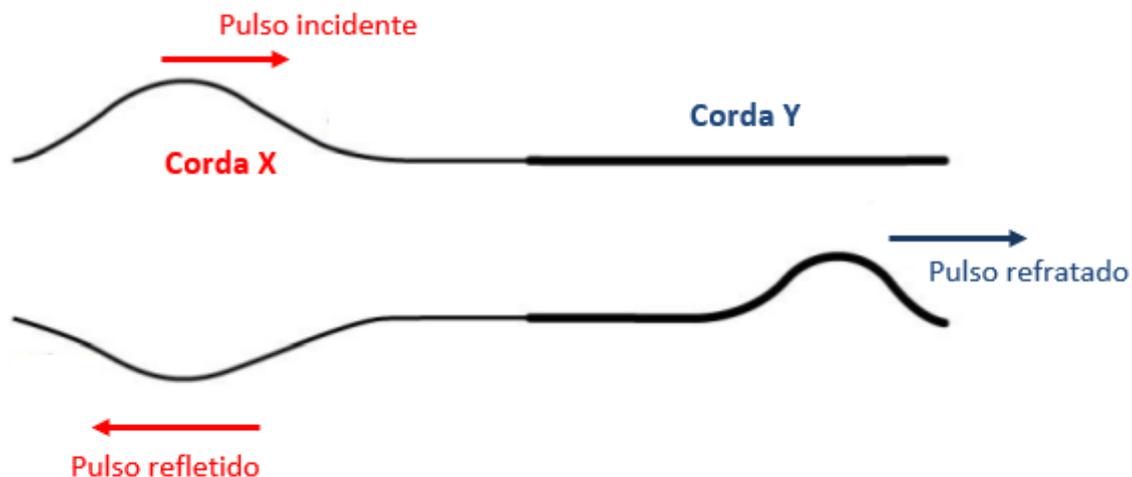


Figura 20: Pulsos refratados.

#### 4.3.2- Da corda mais densa para a corda menos densa

Ao conectarmos novamente duas cordas X e Y com densidades distintas e fizermos um pulso percorrer o caminho do começo de X até a emenda com Y, teremos os fenômenos de refração e reflexão dessa onda simultaneamente. Nesse caso, a corda X é mais densa que Y ( $\mu_X > \mu_Y$ ).

Para a análise da reflexão temos que a corda Y, por ser menos rígida que X, fará o papel de extremidade móvel, tendo então o pulso refletido a mesma “direção” do incidente.

Na refração o pulso transmitido terá sempre a mesma “direção” do incidente, independente das densidades das cordas.

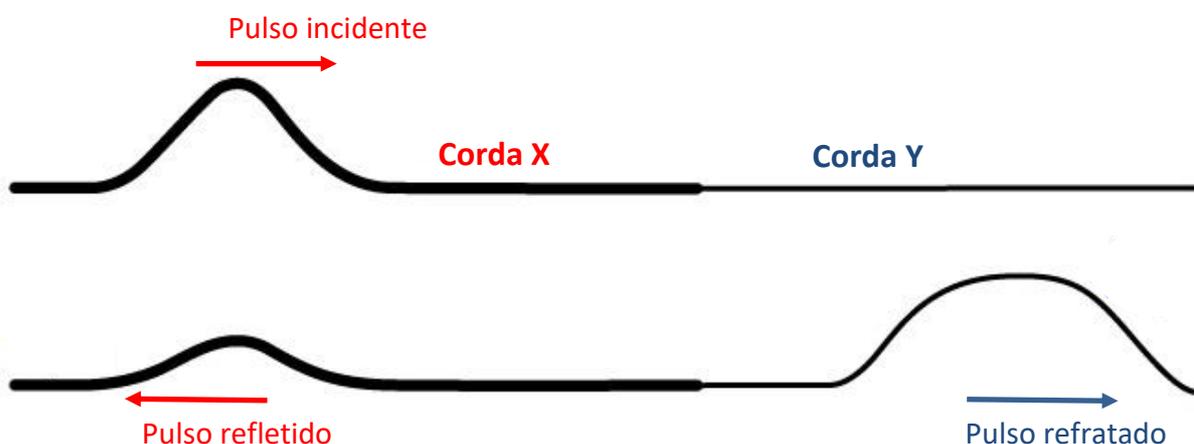


Figura 21: Pulsos refratados.





### Observação Importante:

Em ambos os casos acima, ao compararmos as velocidades dos pulsos devemos analisar as densidades das cordas em que se propagam. Por exemplo, em duas cordas fixadas A e B, sendo  $\mu_A > \mu_B$ , sabemos que:

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

Como as cordas estão fixas e tracionadas pela mesma força, então  $v_B > v_A$ , devido a relação de suas densidades. Portanto pulsos se propagam mais rapidamente em cordas de menores densidades lineares.

## 4.4- Superposição

### 4.4.1- Superposição construtiva

Em uma corda tensa, quando dois pulsos em fase, mas com velocidades em sentidos opostos, se interceptam ocorre a seguinte sequência:

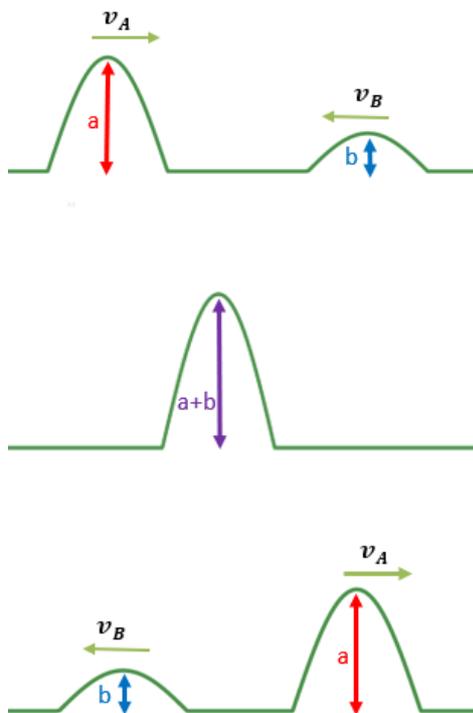


Figura 22: Relação entre as amplitudes na interferência.



Sendo (a) a amplitude do pulso à esquerda e (b) a amplitude do pulso à direita, podemos observar que, no momento em que eles se interceptam, o pulso resultante tem amplitude (a+b). Assim ocorre sempre que tivermos o encontro de dois pulsos com mesma fase. Dizemos então, nesse caso, que há uma **interferência ou superposição construtiva** entre eles.

Logo após o encontro entre os pulsos, podemos ver que eles se propagam de maneira idêntica ao início, ou seja, transladam-se de forma independente. Esse fenômeno sempre ocorre em situações como essa e é embasado pelo **Princípio da Independência da Propagação de Ondas**.

#### 4.4.2- Superposição Destrutiva

Dois pulsos em oposição de fase, ao se encontrarem propagando-se por uma mesma corda tensa, protagonizam o fenômeno da **interferência ou superposição destrutiva**, como é visto na figura abaixo:

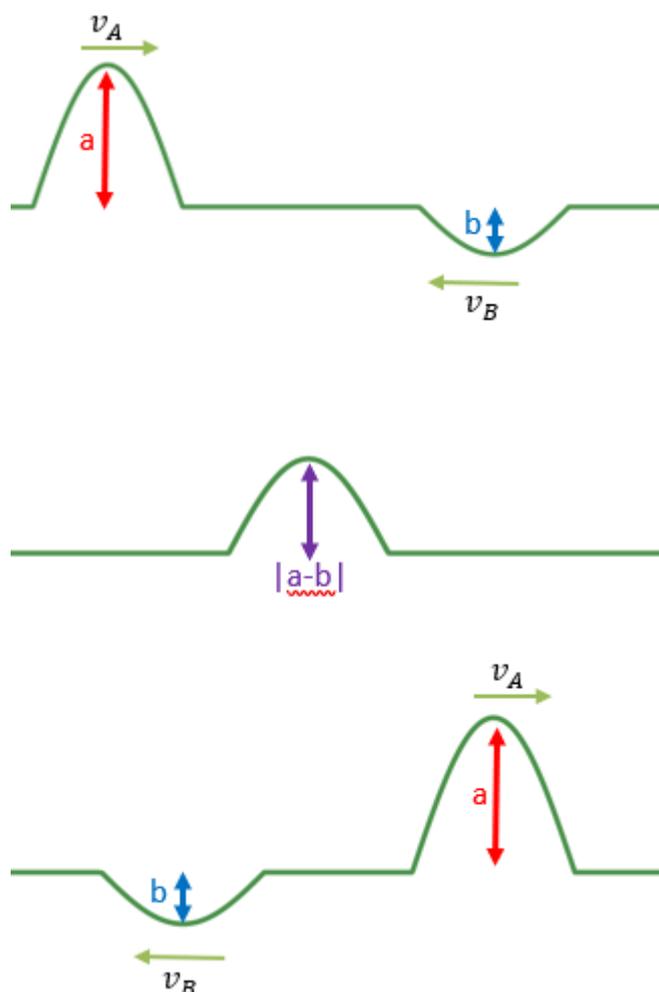


Figura 23: Relação entre as amplitudes na interferência.

Nesse caso, o pulso da esquerda com amplitude (a) maior que a amplitude (b) do da direita ( $|a| > |b|$ ), dessa forma, no encontro dos pulsos, em casos como esse, a amplitude do resultante é dada pela diferença entre (a) e (b), ou seja (a-b).

Após a interação, novamente pelo **Princípio da Independência da Propagação de ondas**, os pulsos se propagam como se nada houvesse ocorrido.

#### 4.4.3- Ondas Estacionárias

O fenômeno chamado onda estacionária ocorre quando duas ondas periódicas idênticas mas com velocidades em sentidos opostos se superpõem formando a seguinte figura:

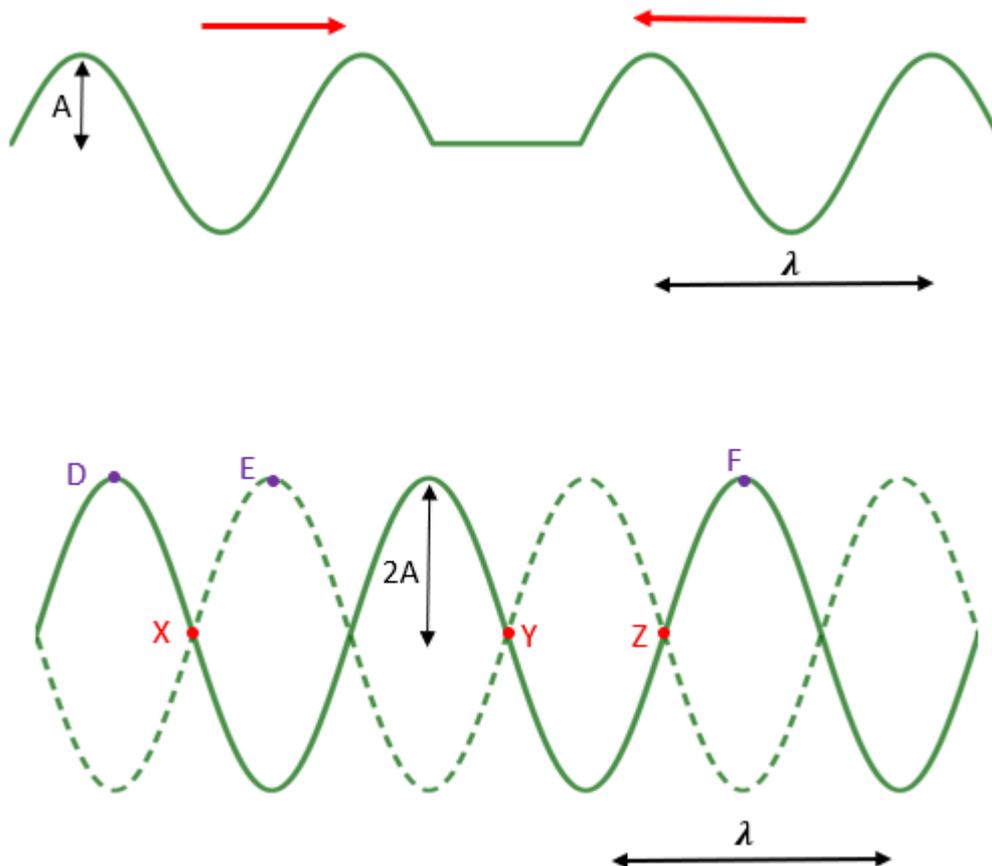


Figura 24: Ondas estacionárias.

Devemos observar que o comprimento de onda resultante é igual o das ondas primárias. O período e, conseqüentemente, a frequência também se mantêm. No entanto, a amplitude da onda estacionária é igual ao dobro da amplitude das incidentes (2A).

Os pontos como X, Y e Z são locais onde ocorre a superposição das ondas de forma destrutiva, esses pontos chamamos de **nós**.

Da mesma forma, os pontos como D, E e F são locais de superposição construtiva das ondas, eles então são denominados **ventres**.

Como ventres e nós não se deslocam, a onda é por isso denominada estacionária.



A distância entre dois nós ou dois ventres consecutivos é dada por meio comprimento de onda ( $\frac{\lambda}{2}$ ). Já a distância entre um nó e um ventre consecutivos é dada por um quarto de comprimento de onda ( $\frac{\lambda}{4}$ ).

### RESSONÂNCIA:

CURIOSIDADE



A ressonância é o fenômeno ondulatório no qual um corpo, ou um sistema físico, é capaz de vibrar devido ao fato de ser excitado em sua frequência natural, ou seja, uma frequência que é inerente a ele devido a sua construção, tipo de material etc. Desastres como a queda da ponte Tacoma Narrows, em Washington nos Estados Unidos, são explicados através da ressonância.

## 5 - Acústica

Nesse tópico iremos dar continuidade ao estudo das ondas, mas agora com foco em uma onda específica: o som. Ondas sonoras são do tipo mecânicas e se propagam no ar com uma velocidade de aproximadamente 340 m/s. A faixa de frequência de ondas de sonoras que o ser humano pode ouvir é de 20 Hz até  $20 \cdot 10^3$  Hz. A faixa de frequências acima desse limite chamamos de ultrassons e aquela que está abaixo do limite inferior designamos como infrassons.

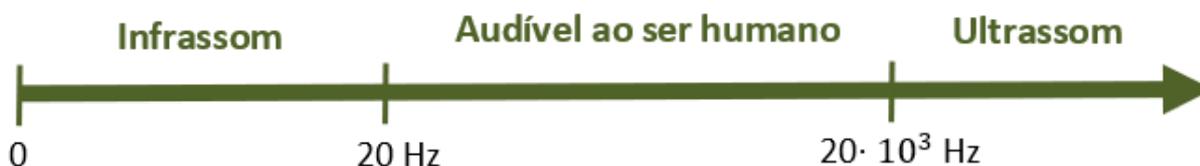


Figura 25: Escala sonora de sensibilidade auditiva.



## 5.1- Características do som

### 5.1.1- Intensidade

Essa característica está intimamente ligada com a amplitude da onda sonora:

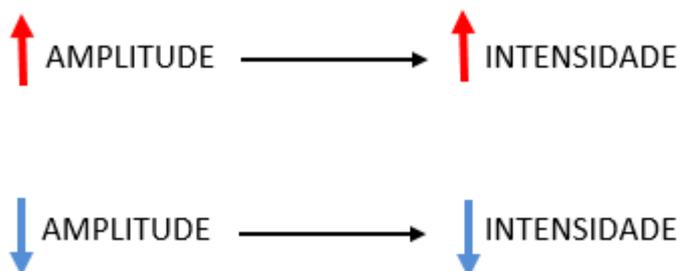


Figura 26: Relação entre amplitude e intensidade.

Ou seja, quanto maior a amplitude, maior a intensidade. O oposto também é válido. A intensidade de um som é comumente medida em decibéis (dB). Para transportarmos o conceito ao cotidiano, podemos relacionar a intensidade com o “volume do som”.

O limiar da dor para o ser humano, ou seja, a intensidade a partir da qual há danos ao aparelho auditivo do homem, é de 90 dB.

### 5.1.2- Altura

A altura, que não pode ser confundida com a intensidade, é a característica do som relacionada a frequência.

Sons **altos** são aqueles com **frequências maiores**, ou seja, são sons **mais agudos**. Em oposição, sons **baixos** são aqueles compostos por **frequências menores**, ou seja, sons **mais graves**.

### 5.1.3- Timbre

Timbre é a característica do som pela qual conseguimos distinguir a mesma nota tocada por um piano ou por um violão. Ambos os instrumentos bem afinados emitem o mesmo harmônico fundamental, mas a composição dos demais harmônicos é característico de cada um, constituindo assim timbres distintos.

Não só instrumentos, mas também seres humanos têm timbres distintos, por isso a voz de uma pessoa é distinguível a de outra.





TIMBRES DISTINTOS



## 5.2- Reflexão do som

No início dessa aula estudamos os fenômenos ondulatórios que abrangem as ondas sonoras. No entanto, nesse tópico, iremos nos aprofundar em características específicas do som na **reflexão**.

O som, ao ser emitido próximo de uma barreira como uma parede, por exemplo, incide nesse obstáculo e reflete com inversão de fase.

O ser humano tem a capacidade de distinguir o som emitido do som refletido caso estes sejam emitidos com uma diferença de **0,1s**. A essa característica damos o nome de **persistência auditiva** do homem.

Devido a persistência auditiva, podemos separar em três casos a reflexão do som a partir da percepção humana:

### 5.2.1- Eco

O eco ocorre quando a diferença de tempo entre o som emitido e o refletido é maior ou igual a 0,1s, ou seja, a diferença entre eles é claramente perceptível ao homem.

$$\Delta t_{\text{percepção}} \geq 0,1s$$

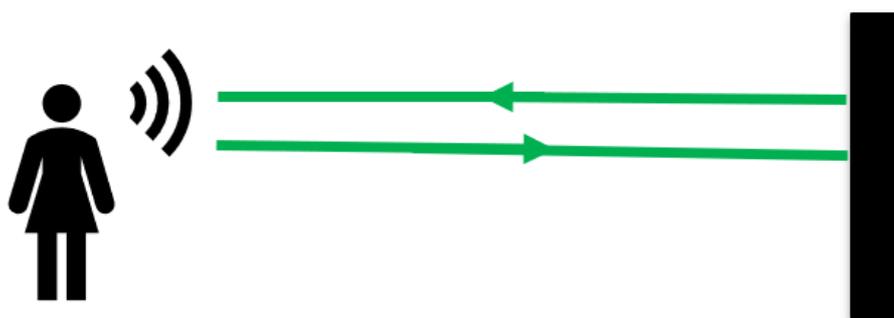


Figura 27: Emissão do som e a formação do eco.

Podemos observar o eco em regiões abertas e com algum obstáculo longínquo, como uma cadeia de montanhas por exemplo.



### 5.2.2- Reverberação

A reverberação acontece quando a percepção do som emitido e do som refletido difere em menos de 0,1s de tempo. Logo, a sensação do ouvinte é de um prolongamento do som emitido, não sendo possível distinguí-los.

$$\Delta t_{\text{percepção}} < 0,1s$$

### 5.2.3- Reforço

O reforço ocorre quando a diferença de percepção temporal entre a onda emitida e a refletida é de um intervalo muito menor que 0,1s. Isso provoca a sensação de superposição dos dois sons para o ouvinte.

$$\Delta t_{\text{percepção}} \ll 0,1s$$

**Exemplo 3:** Um homem se encontra em uma sala vazia na qual percebe que, dependendo da distância que situa de uma grande parede, sua voz começa a produzir eco. Dessa forma, calcule qual a distância mínima entre o homem e a parede para que ele possa ouvir o eco da sua voz? (Dado:  $v_s = 340m/s$ )

**Comentário:**

Sabemos que para que haja eco a diferença de tempo entre a percepção da própria voz e o som dela refletido na parede é de, no mínimo, 0,1s, portanto:

$$\Delta t \geq 0,1$$

Sendo  $\Delta S$  a distância entre o homem e a parede, a distância total que o som irá percorrer (ida até a parede + volta até o homem) é igual a  $2\Delta S$ , dessa forma:

$$v = \frac{2\Delta S}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{2\Delta S}{v}$$

$$\Delta t = \frac{2\Delta S}{340} \geq 0,1$$

$$2\Delta S \geq 340 \cdot 0,1$$



$$\Delta S \geq \frac{34}{2}$$

$$\Delta S \geq 17m$$

Portanto, a distância mínima entre homem e parede é de 17m.



### 5.3- Cordas sonoras vibrantes

Nesse tópico iremos nos aprofundar no estudo de cordas vibrantes e suas **frequências fundamentais**.

Cada corda possui vários **modos de vibração** que podemos alcançar ao agitar uma de suas extremidades. Para cada modo desse, sendo pelo menos uma das extremidades da corda fixa, ao se alcançar um estado estacionário, podemos tratar a onda incidente e a refletida como uma onda estacionária, e é ela a referência do nosso estudo para o cálculo das frequências de vibração das cordas. No entanto, é válido recordar que ao passar do tempo a corda perde energia e esse estado estacionário momentâneo é desfeito.

Temos dois grandes casos para nosso estudo e eles estão descritos a seguir:

#### 5.3.1- Duas extremidades presas

Nesse caso, nossa corda estará presa em ambas as extremidades. Teremos então que, em extremidades fixas, haverá sempre um nó e, em extremidades livres, teremos sempre um ventre.

Dessa forma, os primeiros modos de vibrações possíveis para esse caso em estudo serão:

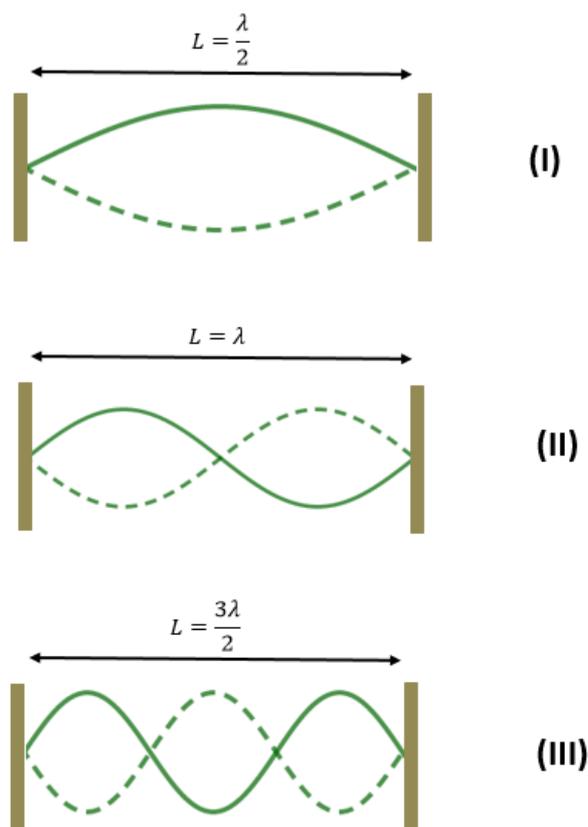


Figura 28: Cordas vibrantes.

Sendo (L) o comprimento total da corda esticada, iremos analisar esses três casos das figuras e depois deduziremos de forma prática as frequências de vibração dessa corda:

### Caso (I)

Podemos ver pela figura (I) que o comprimento total da corda (L) está perfazendo a figura equivalente a meio comprimento de onda ( $\frac{\lambda}{2}$ ), então:

$$L = \frac{\lambda}{2}$$
$$\lambda = 2L \quad (\text{Eq. 1})$$

Pela relação fundamental da ondulatória temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

Com a equação 1 temos:

$$v = 2L \cdot f$$

$$f = \frac{v}{2L}$$

Dessa forma temos o que denominamos **frequência fundamental** ou **primeiro harmônico** da corda em função de sua velocidade e de seu comprimento.

### Caso (II)

Na figura (II) temos que o comprimento total da corda (L) compõe a figura de um comprimento de onda ( $\lambda$ ) completo, então:

$$L = \lambda \quad (\text{Eq. 2})$$

Ao unirmos a equação 2 com a relação fundamental da ondulatória temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = L \cdot f$$

$$f = \frac{v}{L}$$

$$f = \frac{2v}{2L}$$

Analogamente ao caso anterior, aqui encontramos o **segundo harmônico** da corda.



### Caso (III)

De forma semelhante, na figura (III) temos que o comprimento total da corda ( $L$ ) compõe a figura de um e meio comprimento de onda ( $\frac{3}{2}\lambda$ ), logo:

$$L = \frac{3}{2}\lambda$$
$$\frac{2}{3}L = \lambda \text{ (Eq. 3)}$$

Ao unirmos a equação 3 com a relação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$v = \frac{2}{3}L \cdot f$$
$$f = \frac{3v}{2L}$$

$$f = \frac{2v}{2L}$$

Nesse caso encontramos o **terceiro harmônico** da corda.

Poderíamos continuar essa análise para posteriores harmônicos que figurassem formas na corda similares àquelas das figuras vistas acima.

Dessa forma, podemos definir um padrão a partir do que obtivemos nesses primeiros três casos. Podemos ver que a frequência de um harmônico de ordem  $n$  em uma corda fixa em suas duas extremidades é dada por:

$$f = \frac{nv}{2L}$$

Sendo  $n \in \mathbb{N}^*$



### 5.3.2- Uma extremidade livre e uma presa

Nesse segundo caso temos que, diferentemente do anterior, uma das extremidades da corda está livre para se movimentar (não necessariamente solta). Assim sendo, nessa extremidade com liberdade de movimento haverá sempre um ventre e aquela que está fixa permanece alocando um nó. Vejamos a seguir alguns possíveis casos e o cálculo de suas frequências:



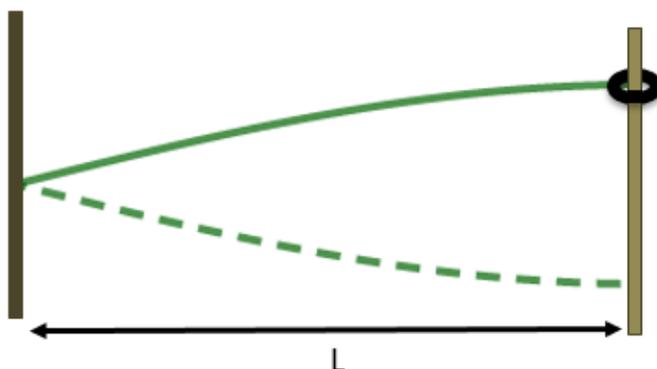


Figura 29: Corda com extremidade livre.

Na figura acima podemos observar que o comprimento total da corda ( $L$ ) perfaz a silhueta de um quarto de comprimento de onda ( $\frac{\lambda}{4}$ ), assim:

$$\frac{\lambda}{4} = L$$
$$\lambda = 4L \quad (\text{Eq. 4})$$

Associando a equação 4 com a relação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = 4L \cdot f$$

$$f = \frac{v}{4L}$$

$$f = \frac{v}{4L}$$

Obtivemos então o **harmônico fundamental** ou **primeiro harmônico** pois esta é a primeira configuração possível para este caso em estudo.

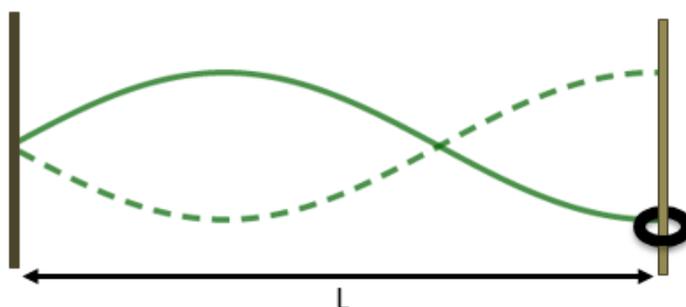


Figura 30: Extremidade livre da corda e seu comportamento.



Nesse novo caso, tratando analogamente ao anterior, podemos ver que o comprimento total (L) da corda assume a forma de três quartos de comprimento de onda ( $\frac{3}{4}\lambda$ ), portanto:

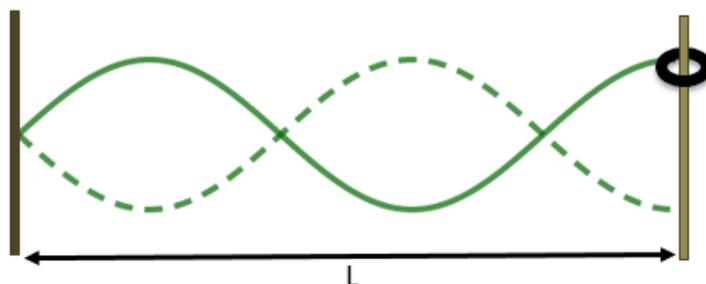
$$\frac{3\lambda}{4} = L$$
$$\lambda = \frac{4}{3}L \quad (\text{Eq. 5})$$

Dessa forma, podemos ver que a frequência é obtida da seguinte maneira

$$v = \lambda \cdot f$$
$$v = \frac{4}{3}L \cdot f$$
$$f = \frac{3v}{4L}$$

$$f = \frac{3v}{4L}$$

Acabamos de deduzir então o **terceiro harmônico** da corda.



Nessa figura podemos observar que o comprimento da corda (L) é dado por:

$$\frac{5\lambda}{4} = L$$
$$\lambda = \frac{4}{5}L \quad (\text{Eq. 6})$$

Com a equação 6 e a relação fundamental da ondulatória temos:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$v = \frac{4}{5}L \cdot f$$
$$f = \frac{5v}{4L}$$

$$f = \frac{5v}{4L}$$



Temos então aqui o **quinto harmônico** da corda.

Repare que, nesse caso, **não existem os harmônicos pares**, somente os ímpares!!

Portanto, a partir do que já vimos, podemos fixar a fórmula para as frequências dos harmônicos do caso em estudo:

$$f = \frac{n_i v}{4L}$$

Sendo  $n_i = 1,3,5,7,9 \dots$



**Exemplo 4:** Um violão tem uma de suas cordas que, ao ser agitada pelo músico, começa a vibrar com uma velocidade de 2m/s. Sabendo que seu comprimento total é de 70cm, determine quais são as três menores frequências possíveis para a onda estacionária que se forma nessa corda.

**Comentário:**

Sabemos que, a corda do violão é presa em ambas as suas extremidades, portanto, a fórmula que utilizaremos para descobrir suas frequências é dada por:

$$f = \frac{nv}{2L}$$

Para obtermos as três menores frequências assumiremos os três menores valores possíveis de n que serão: 1,2 e 3. Dessa forma, vamos fazer as contas:

Para n=1

$$f_1 = \frac{1v}{2L}$$
$$f_1 = \frac{2}{2 \cdot 0,7}$$

$$f_1 = \frac{10}{7} \text{ hz}$$

Para n=2

$$f_2 = \frac{2v}{2L}$$

$$f_2 = \frac{2v}{2L}$$

$$f_2 = \frac{2}{0,7}$$

$$f_2 = \frac{20}{7} \text{ hz}$$

Para n = 3

$$f_3 = \frac{3v}{2L}$$

$$f_1 = \frac{3 \cdot 2}{2 \cdot 0,7}$$

$$f_1 = \frac{30}{7} \text{ hz}$$

## 5.4- Tubos sonoros

Analogamente ao estudo do tópico anterior, nesse iremos investigar um pouco mais sobre os harmônicos de outra montagem muito comum no nosso cotidiano: os tubos sonoros.

Muitos instrumentos musicais possuem tubos sonoros em sua estrutura como por exemplo as flautas doces e o saxofone. O som é produzido na medida em que o ar que preenche esses tubos é excitado em uma de suas frequências naturais, ocorrendo então uma ressonância e consequente amplificação dessa onda sonora. Iremos então ver mais a fundo como calcular tais frequências:

### 5.4.1- Tubos abertos

Esse tipo de tubo é caracterizado por ter suas duas extremidades abertas.



Devemos nos atentar ao fato de que em **extremidades abertas** teremos sempre um **ventre** e em **extremidades fechadas** teremos sempre um **nó**.



Vejam agora então os primeiros três harmônicos possíveis para este caso:

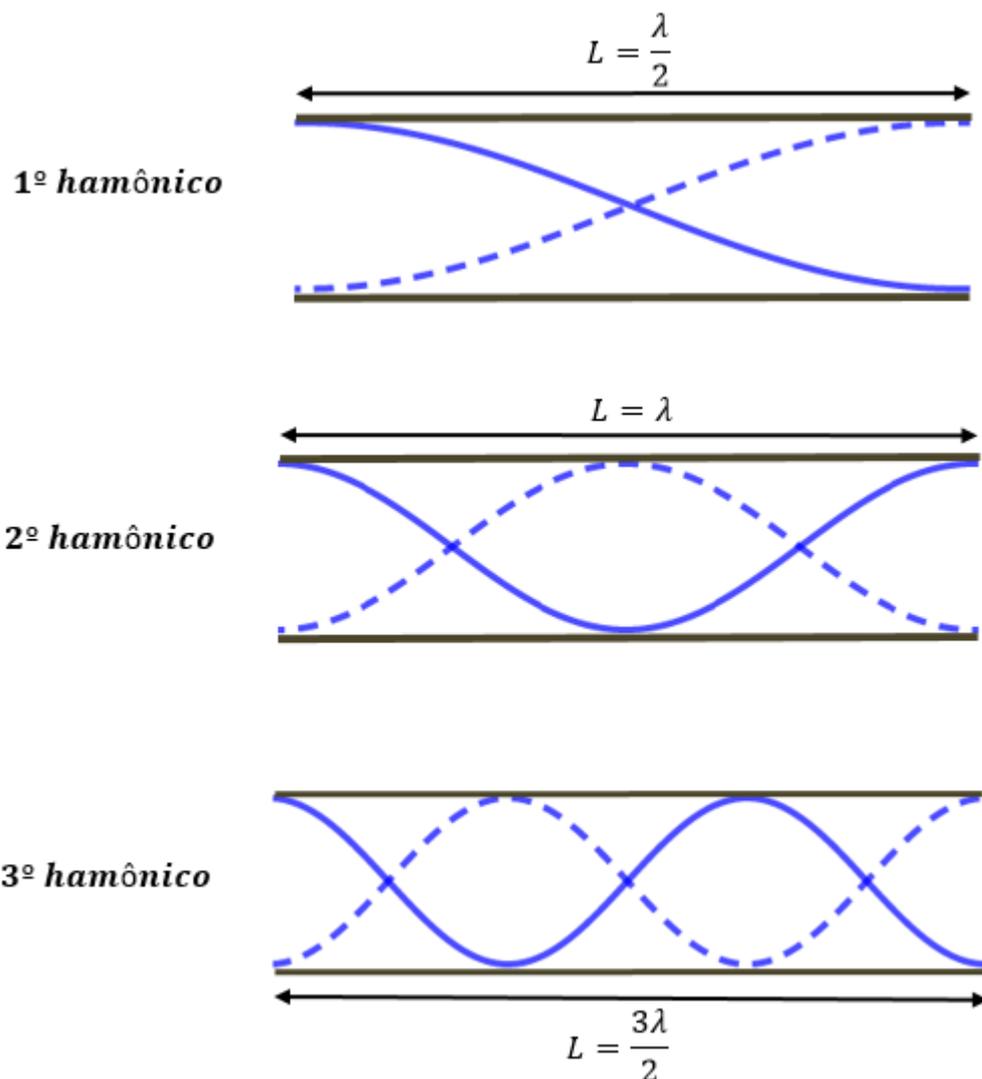


Figura 31: Tubo com duas extremidades abertas.

Como vemos na figura, adotando o comprimento total do tubo como (L), temos:  
Para o **primeiro harmônico**, ou **harmônico fundamental** vimos que:



$$L = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = 2L$$

Portanto:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = 2L \cdot f$$

$$f = \frac{v}{2L}$$

Para o **segundo harmônico** temos:

$$L = \lambda$$

Por conseguinte:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = L \cdot f$$

$$f = \frac{2v}{2L}$$

Analogamente, para o **terceiro harmônico** temos, de acordo com a figura:

$$L = \frac{3\lambda}{2}$$

$$\lambda = \frac{2L}{3}$$

Portanto:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = \frac{2L}{3} \cdot f$$

$$f = \frac{3v}{2L}$$

Em consequência, podemos memorizar que, para o n-ésimo harmônico de um tubo aberto com comprimento total (L), sua frequência será dada por:



$$f = \frac{nv}{2L}$$

Sendo  $n \in \mathbb{N}^*$



### 5.4.2- Tubos Fechados

Para esse tipo de estrutura teremos uma extremidade aberta e outra fechada. Dessa forma, será visto sempre um padrão no qual na extremidade aberta haverá um ventre e na extremidade fechada haverá um nó. Vejamos os esquemas dos três primeiros harmônicos:

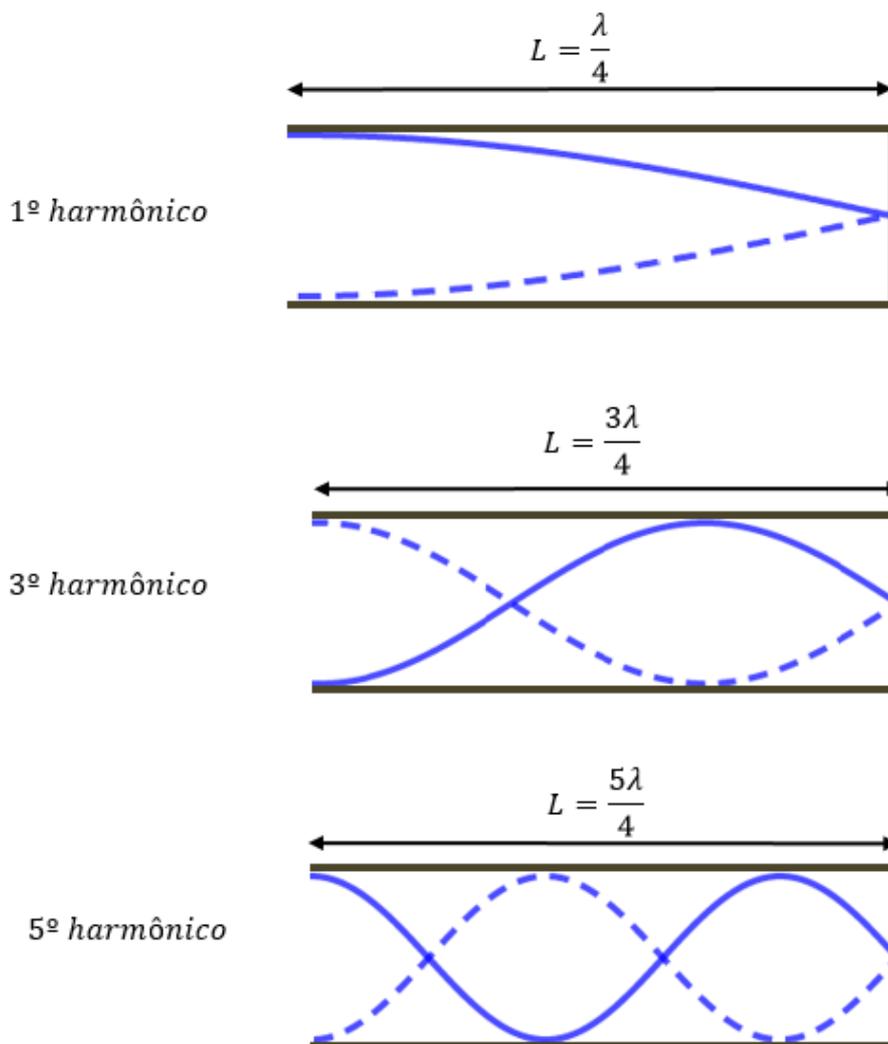


Figura 32: Tubo com uma extremidade fechado.

Dessa forma, podemos ver que para o **primeiro harmônico** ou **harmônico fundamental** temos:



$$L = \frac{\lambda}{4}$$
$$\lambda = 4L$$

Portanto:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$v = 4L \cdot f$$

$$f = \frac{v}{4L}$$

Para o **segundo harmônico**, de acordo com a figura se vê que:

$$L = \frac{3\lambda}{4}$$
$$\lambda = \frac{4L}{3}$$

Dessa forma:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$v = \frac{4L}{3} \cdot f$$

$$f = \frac{3v}{4L}$$

Paralelamente, para o quinto harmônico temos:

$$L = \frac{5\lambda}{4}$$
$$\lambda = \frac{4L}{5}$$

Finalmente temos:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$v = \frac{4L}{5} \cdot f$$

$$f = \frac{5v}{4L}$$



Analogamente às cordas com uma extremidade livre e a outra presa, aqui também **só teremos os harmônicos ímpares**, não há os pares!!

Visto isso, podemos fixar que a frequência para um harmônico de ordem ( $n_i$ ), sendo ( $i$ ) um número natural e ímpar, de um tubo com comprimento total ( $L$ ) é dada por:

$$f = \frac{n_i v}{4L}$$

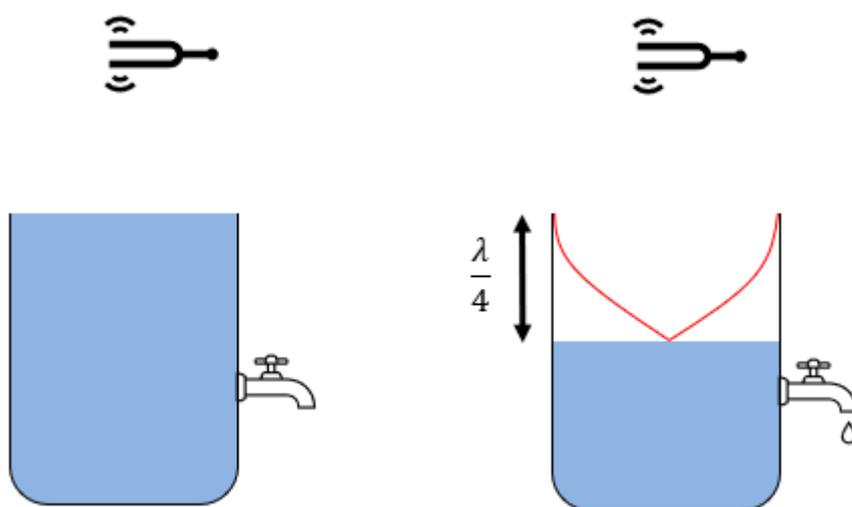
Sendo  $n_i = 1, 3, 5, 7, 9 \dots$



**Exemplo 5:** Em cima de um recipiente cheio de água e dotado de uma torneira lateral faz-se ressoar um diapasão com frequência fixa de 170hz. Abre-se a torneira e, após uma certa altura  $h$  de líquido escorrer, ouve-se pela primeira vez um aumento da intensidade do som saindo do recipiente. Sabendo que a velocidade do som é dada por  $v_s = 340\text{m/s}$ , calcule  $h$ .

**Comentário:**

Temos a seguinte situação:



Como podemos ver, o aumento da intensidade se dá quando a altura  $h$  sem líquido é equivalente a um quarto de comprimento de onda. Portanto, como estamos tratando do primeiro harmônico de uma montagem semelhante a um tubo aberto, temos que:

$$f = \frac{v}{4h}$$

$$h = \frac{v}{4f}$$

$$h = \frac{340}{4 \cdot 170}$$

$$\boxed{h = 0,5m}$$

## 5.5- Efeito Doppler

Quando você está na rua, parado e repentinamente aproxima-se uma ambulância com a sirene ligada, afastando-se em seguida. Nesse caso, o som da sirene que você ouviu é o mesmo na aproximação e no afastamento desse veículo? Se você se fizer um esforço vai lembrar que não, eles não são os mesmos. Isso se deve ao **efeito Doppler** que pode ser assim definido:

**Efeito Doppler:** é a mudança da frequência sonora percebida por um observador devido ao afastamento ou aproximação relativos a uma fonte emissora de som.

Sendo ( $f$ ) a frequência percebida por um observador e ( $f_o$ ) a frequência emitida pela fonte, podemos afirmar que:

No caso de **aproximação** entre fonte e observador a frequência percebida pelo por aquele que observa é maior que a a frequência da fonte ( $f > f_o$ ). Isso é explicado devido ao fato de que na aproximação, há uma maior junção das frentes de ondas emitidas, tornando os comprimentos de onda percebidos menores que os emitidos pela fonte, implicando uma frequência percebida maior do que a da fonte.

Analogamente, quando há o caso de **afastamento** entre fonte e observador, a frequência percebida se torna menor do que aquela emitida pela fonte ( $f < f_o$ ). Nesse caso, o afastamento tornam as frentes de onda mais espaçadas do que realmente eram quando foram emitidas, fazendo-se um comprimento de onda maior do que o original. Como comprimento de onda e frequência são



inversamente proporcionais, temos o resultado da diminuição relativa da frequência percebida quando comparada com aquela emitida pela fonte.

Em resumo:

**APROXIMAÇÃO:**  $f > f_o$

**AFASTAMENTO:**  $f < f_o$

Para o cálculo dessa nova frequência, podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$f = f_o \cdot \frac{v_s \pm v_o}{v_s \pm v_f}$$

Onde:

$v_s$  = velocidade do som

$v_o$  = velocidade do observador

$v_f$  = velocidade da fonte

No entanto, podemos observar que a fórmula possui sinais de soma e subtração, portanto, como usá-los? Para isso devemos obedecer os seguintes passos:

1) O referencial deve ser adotado no sentido do observador para fonte

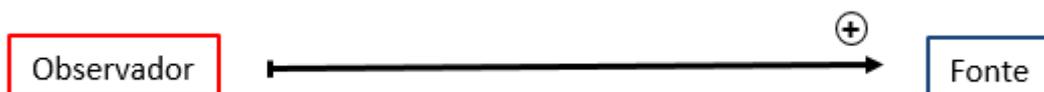


Figura 33: Referencial dos sinais.

2) Desse referencial depende-se os sinais das velocidades do observador e da fonte na fórmula, como se vê na figura:

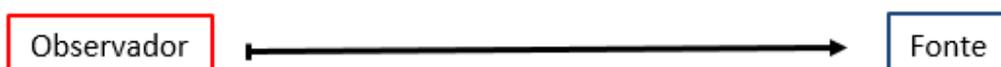
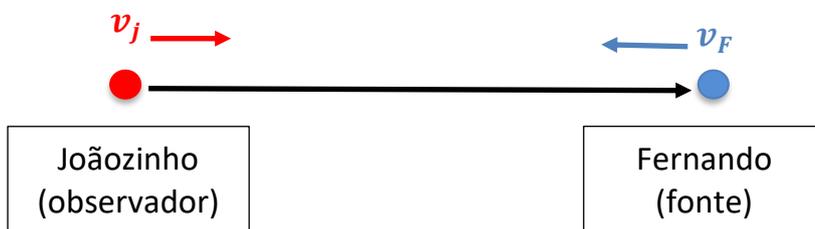


Figura 34: Referencial dos sinais.

3) As velocidades utilizadas devem ser **SEMPRE** medidas em relação à Terra.

**Exemplo 6:** Dois amigos, Joãozinho e Fernando se avistam na rua, distando entre si 50m. Fernando, porém, como havia acabado de sair de um jogo de futebol, portava sua vuvuzela e, pela felicidade em ver o amigo, começou a tocá-la. Os dois foram um ao encontro do outro, Joãozinho com uma velocidade constante de  $v_j = 5m/s$  e Fernando com uma velocidade de  $v_F = 10m/s$ . Nesse trajeto, Joãozinho mediu por um aplicativo do seu celular a frequência do som emitido por seu amigo, haja visto que Fernando não parou de tocar a vuvuzela o caminho inteiro. Sabendo que a medição feita por Joãozinho quando os dois ainda estavam em repouso foi de  $f_o = 132hz$ , qual a medição feita por ele durante o trajeto? (Dado  $v_{som} = 340m/s$ )

**Comentário:**



Usando o referencial que adota o eixo positivo indo do observador para a fonte, podemos ver que a velocidade de Joãozinho ganha sinal positivo pois tem o mesmo sentido que o eixo. No entanto, a de Fernando é negativa pois tem sentido oposto ao referencial que adotamos, dessa forma temos que:

$$f = f_o \cdot \frac{v_s + v_j}{v_s - v_F}$$
$$f = 132 \cdot \frac{340 + 5}{340 - 10}$$
$$f = 138 \text{ hz}$$



**UFAAAAA !!!**

**Chegamos ao fim da parte teórica 😊. Se você ficou com alguma dúvida, volte e releia a teoria e os exemplos resolvidos. Faça uma pausa e vá com força total para o exercícios!**



## Lista de Questões



### 1.(EEAR 2019)

Um instrumento musical produz uma onda sonora a qual propaga-se no ar com velocidade  $V_1=340\text{m/s}$  e passa a propagar-se na água com velocidade  $V_2=1428\text{ m/s}$ .

Sabendo-se que essa onda sonora apresenta no ar um comprimento de onda de  $0,5\text{m}$ , qual a frequência, em Hz, dessa onda ao propagar-se na água?

- a) 170
- b) 680
- c) 714
- d) 2856

### 2.(EEAR 2019)

Uma onda com frequência de  $50\text{ kHz}$  está na faixa do:

- a) *Infrassom*
- b) *Ultrassom*
- c) *Som audível grave*
- d) *Som audível agudo*

### 3.(EEAR 2020)

Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

Durante o fenômeno da refração, uma onda eletromagnética ao passar de um meio de propagação para outro com velocidade menor, a onda refratada

- 
- a) *inverte a fase e diminui o comprimento de onda*
  - b) *inverte a fase e aumenta o comprimento de onda*
  - c) *não inverte a fase e diminui o comprimento de onda*
  - d) *não inverte a fase e aumenta o comprimento de onda*

### 4.(EEAR 2020)

Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

No estudo da ondulatória, de acordo com o princípio de Huygens, cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado como uma nova fonte de ondas secundárias. Portanto, pode-se afirmar corretamente que as novas fontes secundárias possibilitam que a onda formada



- a) tenha seu comprimento de onda alterado
- b) contorne obstáculos no fenômeno da difração
- c) tenha a frequência diferente daquela gerada pela fonte
- d) tenha uma nova velocidade de propagação no mesmo meio

### 5.(EEAR 2020)

Os radares primários de controle de tráfego aéreo funcionam com base no princípio de reflexão das ondas eletromagnéticas. De acordo com esse princípio, uma onda é emitida por uma antena próxima ao local de pouso e essa onda se propaga até o avião, reflete e volta à antena. Supondo o módulo da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar, igual ao módulo da velocidade de propagação da luz no vácuo ( $v = 300.000 \text{ km/s}$ ), se o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção da onda refletida foi de 1ms (um milissegundo), conclui-se que o avião está a uma distância de \_\_\_\_\_ km da antena.

- a) 15
- b) 30
- c) 150
- d) 300

### 6.(EEAR 2020)

Uma sirene produz um som na frequência de 850Hz que propaga-se no ar com velocidade igual a 340m/s. Nesse caso, o comprimento de onda desse som é de \_\_\_\_\_ centímetros.

- a) 0,4
- b) 2,5
- c) 25
- d) 40

### 7.(EAM 2019)

Uma corda de comprimento 16 m apoiada no chão extremamente liso é esticada pelas suas extremidades. Em uma de suas extremidades gera-se uma sequência de pulsos (onda) que se propaga pela corda. Sabendo que o comprimento de onda é de 2 m e que a frequência da fonte que faz oscilar a corda é de 4 Hz, assinale a opção que fornece o intervalo de tempo, em segundos, necessário para que um pulso se propague de uma extremidade a outra.

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

### 8.(EEAR 2019)

Um raio de luz monocromático propagando-se no ar, meio definido com índice de refração igual a 1, incide, com ângulo de incidência igual a  $60^\circ$ , na superfície de um líquido. Ao refratar, esse raio de luz adquire uma velocidade, no líquido, de  $\sqrt{2} \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Considerando a



velocidade da luz no ar igual a  $3 \cdot 10^8$  m/s, qual deve ser o seno do ângulo de refração formado entre o raio de luz refratado e a normal?

- a)  $1/2$
- b)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$
- c)  $\frac{\sqrt{3}}{2}$
- d)  $\frac{\sqrt{6}}{6}$

### 9.(EEAR 2019)

Analise as seguintes afirmações:

I - Ondas mecânicas se propagam no vácuo, portanto não necessitam de um meio material para se propagarem.

II - Ondas longitudinais são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação.

III - Ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagarem.

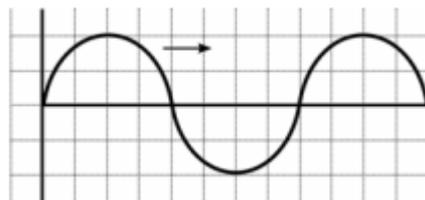
IV - As ondas sonoras são transversais e não se propagam no vácuo.

Assinale a alternativa que contém todas as afirmações verdadeiras.

- a) I e II
- b) I e III
- c) II e III
- d) II e IV

### 10.(EEAR 2019)

Um garoto mexendo nos pertences de seu pai, que é um professor de física, encontra um papel quadriculado como a figura a seguir.



Suponha que a figura faça referência a uma onda periódica, propagando-se da esquerda para a direita. Considerando que no eixo das abscissas esteja representado o tempo (em segundos), que no eixo das ordenadas esteja representada a amplitude da onda (em metros), que o comprimento de onda seja de 8m e que cada quadradinho da escala da figura tenha uma área numericamente igual a 1, a sua velocidade de propagação (em metros por segundo) será de:



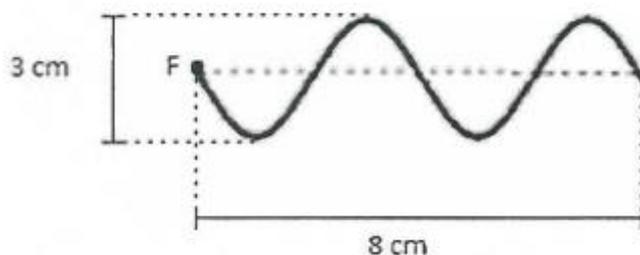
- a) 0,25
- b) 1
- c) 8
- d) 16

### 11.(EEAR 2019)

Um adolescente de 12 anos, percebendo alterações em sua voz, comunicou à sua mãe a situação observada com certa regularidade. Em determinados momentos apresentava tom de voz fina em outros momentos tom de voz grossa. A questão relatada pelo adolescente refere-se a uma qualidade do som denominada:

- a) altura
- b) timbre
- c) velocidade
- d) intensidade

### 12.(EAM2018)



A figura representa ondas propagando-se numa corda tensa 4 s após o início das oscilações da fonte F que as produz. O comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) da onda produzida pela fonte F valem, respectivamente:

- a) 3 cm e 0,80 Hz
- b) 4 cm e 0,25 Hz
- c) 4 cm e 0,50 Hz
- d) 8 cm e 0,25 Hz
- e) 8 cm e 0,50 Hz

### 13.(EEAR 2018)

Uma onda propagando-se em um meio material passa a propagar-se em outro meio cuja velocidade de propagação é maior do que a do meio anterior. Nesse caso, a onda, no novo meio tem

- a) sua fase invertida.
- b) sua frequência aumentada.
- c) comprimento de onda maior.
- d) comprimento de onda menor.



#### 14.(EEAR 2018)

No estudo de ondulatória, um dos fenômenos mais abordados é a reflexão de um pulso numa corda. Quando um pulso transversal propagando-se em uma corda devidamente tensionada encontra uma extremidade fixa, o pulso retorna à mesma corda, em sentido contrário e com:

- a) *inversão de fase*
- b) *alteração no valor da frequência.*
- c) *alteração no valor do comprimento de onda.*
- d) *alteração no valor da velocidade de propagação.*

#### 15.(EEAR 2018)

Um professor de música esbraveja com seu discípulo: “Você não é capaz de distinguir a mesma nota musical emitida por uma viola e por um violino!”. A qualidade do som que permite essa distinção à que se refere o professor é a (o)

- a) *altura*
- b) *timbre*
- c) *intensidade*
- d) *velocidade de propagação*

#### 16.(EEAR 2018)

Dentre os recentes desenvolvimentos tecnológicos encontram-se os aparelhos eletrodomésticos que, pela praticidade e economia de tempo, facilitam a realização das tarefas diárias, como o forno de microondas utilizado para o preparo ou o aquecimento dos alimentos quase que de modo instantâneo. Dentro do forno de microondas, o magnétron é o dispositivo que transforma ou converte a energia elétrica em microondas, ondas eletromagnéticas de alta frequência, as quais não aquecem o forno porque:

- a) *são completamente absorvidas pelas paredes do forno e pelos alimentos.*
- b) *são refratadas pelas paredes do forno e absorvidas pelos alimentos.*
- c) *não produzem calor diretamente e são absorvidas pelas paredes do forno e pelos alimentos.*
- d) *não produzem calor diretamente, são refletidas pelas paredes do forno e absorvidas pelos alimentos.*

#### 17.(EEAR 2018)

Ao caminhar por uma calçada, um pedestre ouve o som da buzina de um ônibus, que passa na via ao lado e se afasta rapidamente. O pedestre observou nitidamente que quando o ônibus se afastou houve uma brusca variação na altura do som. Este efeito está relacionado ao fato de que houve variação:

- a) *no timbre das ondas*
- b) *na amplitude das ondas*
- c) *na frequência do som*
- d) *na intensidade do som*



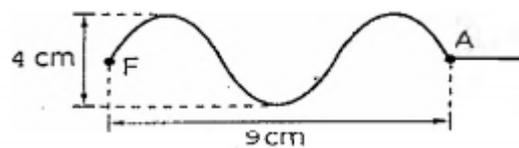
### 18.(EEAR 2018)

O universo é um grande laboratório onde transformações estão ocorrendo a todo instante, como as explosões que permitem o surgimento (nascimento) e/ou a morte de estrelas e outros corpos celestes. Em uma noite de céu límpido, é possível observar a luz, proveniente de diferentes estrelas, muitas das quais possivelmente já não mais existem. Sabendo que as ondas eletromagnéticas correspondentes ao brilho destas estrelas percorrem o espaço interestelar com a velocidade máxima de 300.000 km/s, podemos afirmar que não ouvimos o barulho destas explosões porque:

- a) a velocidade de propagação das ondas sonoras é muito menor do que a das ondas de luz e, por isso, elas ainda estão caminhando pelo espaço.
- b) devido a interferência das ondas sonoras de diferentes estrelas, estas se cancelam (anulam) mutuamente e com o campo magnético da Terra.
- c) as ondas sonoras não possuem energia suficiente para caminhar pelo espaço interestelar.
- d) as ondas sonoras são ondas mecânicas e precisam da existência de um meio material para se propagar.

### 19.(EAM 2017)

Observe a figura abaixo.



Considerando que os pontos F e A estão na mesma altura em relação a um referencial comum e sabendo que o ponto A da corda foi atingido 12s após o início das oscilações da fonte, o período e a velocidade de propagação das ondas ao longo da corda valem, respectivamente:

- a) 4s e 0,25 m/s
- b) 8s e 0,75 m/s
- c) 9s e 1,25 m/s
- d) 12s e 2,25 m/s
- e) 15s e 2,50 m/s

### 20.(EAM 2017)

A classificação quanto à natureza e quanto à direção de propagação das ondas causadas pelo vento na superfície de um lago, vistas por um observador que passeia à beira desse lago, é, respectivamente:

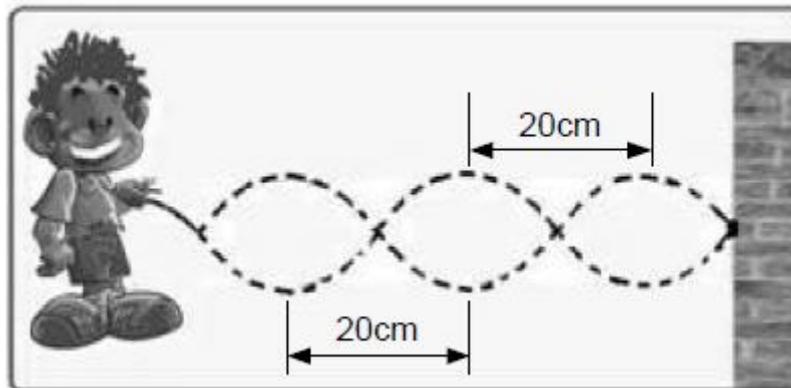
- a) mecânicas e unidimensionais.
- b) eletromagnéticas e tridimensionais.
- c) eletromagnéticas e bidimensionais.
- d) mecânicas e bidimensionais.



e) mecânicas e tridimensionais.

### 21.(EEAR 2017)

Um garoto amarra uma das extremidades de uma corda em uma coluna fixada ao chão e resolve brincar com ela executando um movimento vertical de sobe e desce na extremidade livre da corda, em intervalos de tempos iguais, produzindo uma onda de pulsos periódicos, conforme mostrado na figura. Sabendo que a frequência da onda formada na corda é de 5,0 Hz, determine a velocidade dessa onda, em m/s.



- a) 1
- b) 2
- c) 50
- d) 100

### 22.(EEAR 2017)

Em uma apresentação musical, uma criança viu três instrumentos semelhantes em formato, porém de tamanhos diferentes: o violoncelo, a viola e o violino. Detectou que o violino tinha o som mais agudo e que o violoncelo tinha o som mais grave. Segundo o texto acima, a qualidade sonora detectada pela criança foi:

- a) Intensidade
- b) Altura
- c) Timbre
- d) volume

### 23.(EEAR 2017)

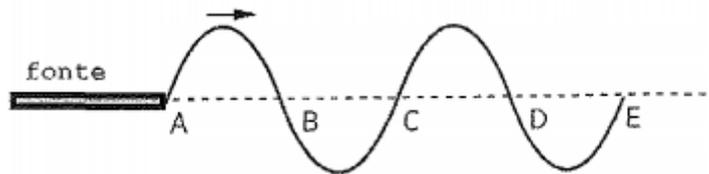
A velocidade do som no ar é de aproximadamente 340 m/s. Se o ser humano é capaz de ouvir sons de 20 a 20000 Hz, qual o maior comprimento de onda, em metros, audível para uma pessoa com audição perfeita?

- a) 1,7
- b) 17
- c) 170
- d) 1700



### 24.(EAM 2016)

Observe a figura abaixo.



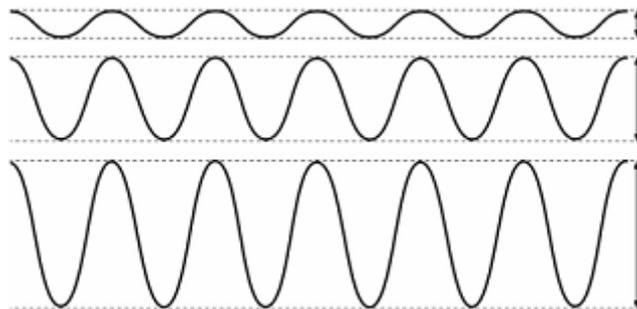
O esquema acima representa ondas periódicas propagando-se ao longo de uma corda tensa. Nesse esquema, os pontos A e E distam 60cm um do outro e o instante mostrado foi obtido 5s após o início da vibração da fonte.

Considerando essa situação, pode-se dizer que o comprimento de onda ( $\lambda$ ), a frequência ( $f$ ) e a velocidade ( $v$ ) dessa onda valem, respectivamente:

- a) 60cm, 1,0 Hz e 12 cm/s
- b) 60cm, 4,0 Hz e 10 cm/s
- c) 30cm, 0,4 Hz e 12 cm/s
- d) 30cm, 0,4 Hz e 10 cm/s
- e) 30cm, 0,6 Hz e 10 cm/s

### 25.(EEAR 2017)

Analisando a figura do gráfico que representa três ondas sonoras produzidas pela mesma fonte, assinale a alternativa correta para os três casos representados.



- a) As frequências e as intensidades são iguais.
- b) As frequências e as intensidades são diferentes.
- c) As frequências são iguais, mas as intensidades são diferentes.
- d) As frequências são diferentes, mas as intensidades são iguais.

### 26. (EEAR 2007)

A figura representa uma onda estacionária numa corda fixa nas extremidades A e B. O comprimento  $\ell$ , em metros, vale

- a) 1,0.
- b) 1,5.



- c) 2,0.
- d) 3,0.

### 27. (EEAR 2007)

Ondas eletromagnéticas são aquelas que se propagam

- a) *somente no vácuo.*
- b) *somente em meios materiais.*
- c) *somente em condutores elétricos.*
- d) *tanto em meios materiais quanto no vácuo.*

### 28. (EEAR 2008)

Assinale a alternativa correta:

- a) *Ondas sonoras podem propagar-se no vácuo.*
- b) *A faixa de frequências audíveis vai de 20 kHz a 20 MHz.*
- c) *Ondas eletromagnéticas não podem propagar-se no vácuo.*
- d) *A velocidade de propagação do som na água é maior que no ar.*

### 29. (EEAR 2010)

Uma onda passa de um meio material para outro, no qual apresenta diferente velocidade de propagação. Neste caso, no novo meio, a onda apresenta

- a) *frequência maior que a anterior.*
- b) *frequência menor que a anterior.*
- c) *a mesma frequência que no meio anterior.*
- d) *o mesmo comprimento de onda que no meio anterior.*

### 30. (EEAR 2010)

Uma emissora de rádio AM transmite ondas eletromagnéticas na frequência de 30 MHz, ou seja, dentro da faixa de ondas curtas. Supondo a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar a mesma que no vácuo, ou seja,  $3 \cdot 10^8$  m/s, qual o comprimento de onda relativo a essa frequência?

- a) *1 mm*
- b) *1 cm*
- c) *1 m*
- d) *10 m*

### 31. (EEAR 2012)

Um nadador ao executar o movimento das pernas e braços dentro da água produz pequenas ondas. Ao incidirem em certas bordas de piscina, essas ondas retornam e incidem sobre o nadador acarretando a diminuição do módulo da velocidade do mesmo. Para evitar isso, as



piscinas mais atuais utilizam bordas cuja altura em relação ao nível da água é praticamente nula e assim evitam a (o) \_\_\_\_ das ondas.

- a) *reflexão*
- b) *ressonância*
- c) *polarização*
- d) *efeito doppler*

### 32. (EEAR 2012)

Uma onda sonora propaga-se no ar com um comprimento de onda igual a 1,1 m a uma velocidade de 330 m/s. A frequência, em Hz, dessa onda sonora é

- a) 155.
- b) 150.
- c) 330.
- d) 300.

### 33. (EEAR 2013)

No funcionamento de um equipamento de comunicação há uma onda quadrada com período de 0,04 segundos. Em outras palavras, a frequência dessa onda é de \_\_\_\_ Hz.

- a) 4
- b) 25
- c) 40
- d) 100

### 34. (EEAR 2013)

Em relação às qualidades do som, a unidade decibel (dB) refere-se à (ao) \_\_\_\_ da onda sonora.

- a) *intensidade*
- b) *período*
- c) *timbre*
- d) *altura*

### 35. (EEAR 2013)

Um transmissor de Radar emite no ar ondas eletromagnéticas na faixa de micro-ondas. Sabendo-se que a frequência do transmissor é de 2,0 GHz, qual o comprimento de onda, em cm, das ondas transmitidas?

Considere:

- 1 – O meio homogêneo,
- 2 – a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar igual a 300.000 km/s e
- 3 – o prefixo G =  $10^9$ .



- a) 0,6
- b) 1,5
- c) 6,0
- d) 15,0

**36. (EEAR 2006)**

Certa onda, propagando-se no ar, possui um comprimento de onda igual a 100 cm e velocidade de propagação de 340 m/s. Qual será o comprimento de onda, em centímetros, desta onda ao passar para um meio onde a velocidade de propagação é de 1,36 m/s?

- a) 0,04
- b) 0,4
- c) 2,5
- d) 2500

**37. (EEAR 2007)**

O ouvido humano normal é capaz de detectar a estreita faixa de frequência compreendida entre 20 Hz e 20 kHz. Admitindo a velocidade do som no ar igual a 340 m/s. O som mais grave e o mais agudo que o ouvido humano é capaz de captar têm comprimentos de onda, respectivamente, iguais a:

- a) 1,7 m e 0,017 m
- b)  $1,7 \cdot 10^3$  cm e  $1,7 \cdot 10^{-2}$  m
- c) 1,7 cm e 1,7 m
- d)  $1,7 \cdot 10^{-3}$  m e  $1,7 \cdot 10^2$  cm

**38. (EEAR 2007)**

Qual o comprimento de onda, em metros, de uma onda sonora de 1,7 kHz propagando-se no ar?

Dado: velocidade do som no ar é igual a 340 m/s.

- a) 0,2
- b) 5,0
- c) 20
- d) 50

**39. (EEAR 2007)**

O fenômeno ondulatório no qual uma onda consegue contornar um obstáculo é chamado de

- a) reflexão.
- b) refração.
- c) difração.
- d) polarização.



#### 40. (EEAR 2008)

Uma mesma nota musical produz “sensações” diferentes quando emitidas por um violino ou por um piano. A qualidade do som que permite diferenciar dois sons de mesma frequência e mesmo “volume”, emitidos por fontes distintas é a (o) \_\_\_\_\_.

- a) altura
- b) timbre
- c) fidelidade
- d) intensidade

#### 41. (EEAR 2008)

Admitindo que as estações de rádio, de uma determinada região, emitam ondas eletromagnéticas basicamente em duas faixas: AM e FM e que a velocidade das ondas eletromagnéticas vale  $3 \times 10^8$  m/s, duas estações de rádio que emitam ondas de comprimento de onda igual a 300 m e 200 m estão operando, respectivamente, em \_\_\_\_\_.

Dados:

AM de 535 a 1650 kHz

FM de 88 a 108 MHz

- a) AM e AM
- b) AM e FM
- c) FM e AM
- d) FM e FM

#### 42. (EEAR 2008)

A palavra LASER vem da sigla Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Um laser que emite ondas eletromagnéticas, no ar, com velocidade de  $3 \cdot 10^8$  m/s, com frequência de  $5,0 \cdot 10^{14}$  Hz, terá comprimento de onda, em metros, igual a \_\_\_\_\_.

- a)  $1,5 \cdot 10^{-8}$
- b)  $6,0 \cdot 10^{-8}$
- c)  $1,5 \cdot 10^{-7}$
- d)  $6,0 \cdot 10^{-7}$

#### 43. (EEAR 2009)

Em um determinado meio de propagação, o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) de uma dada onda, são grandezas

- a) diretamente proporcionais.
- b) inversamente proporcionais.
- c) que só podem ser aplicadas no estudo do som.
- d) que não apresentam nenhuma proporcionalidade.



#### 44. (EEAR 2009)

Uma onda se propaga de um meio para outro, constituindo o fenômeno da refração ondulatória. Pela experiência concluímos que neste fenômeno se mantém sem alteração o (a)

- a) *frequência.*
- b) *comprimento de onda.*
- c) *velocidade de propagação.*
- d) *produto da frequência pelo comprimento de onda.*

#### 45. (EEAR 2009)

Durante os cercos realizados aos castelos da Idade Média costumava-se colocar barris com água do lado interno das muralhas. O objetivo era detectar por meio das ondulações da superfície da água a escavação de túneis para entrar no castelo. Dentre as alternativas a seguir, pode-se afirmar, corretamente, que

- a) *a frequência observada nas ondulações formadas na superfície da água é a mesma da escavação.*
- b) *a frequência observada nas ondulações formadas na superfície da água **não** é a mesma da escavação.*
- c) *a diminuição da amplitude nas ondulações formadas na superfície da água indicava, com certeza, a maior proximidade da escavação.*
- d) *o aumento da amplitude nas ondulações formadas na superfície da água **não** indicava a maior proximidade da escavação ou maior intensidade da escavação.*

#### 46. (EEAR 2009)

Na superfície de um lago observa-se a formação de ondas periódicas. Sabendo-se que a distância entre duas cristas consecutivas da onda é de 10 cm e que sua velocidade de propagação é de 2 m/s, qual o período, em s, desta propagação?

- a) *0,05*
- b) *0,10*
- c) *10,0*
- d) *20,0*

#### 47. (EEAR 2009)

Dentre as frases a seguir, a respeito de Ondulatória e Acústica, são corretas:

- I- a voz masculina apresenta, geralmente, menor frequência que a voz feminina;
- II- o timbre depende da forma das vibrações, isto é, da forma da onda sonora;
- III- as ondas infrassônicas e ultrassônicas são ondas eletromagnéticas e, por este motivo, inaudíveis para o ser humano;
- IV- a altura é a qualidade do som que depende da amplitude da onda sonora.

- a) *I e II*
- b) *todas*
- c) *III e IV*



d) I, II e III

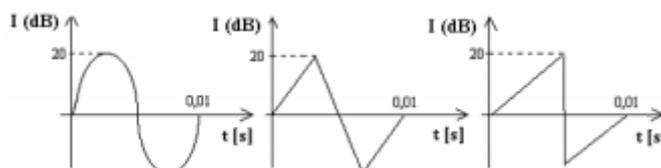
#### 48. (EEAR 2010)

Um pulso ao propagar-se em uma corda encontra um extremo fixo e sofre reflexão. Ao retornar, o pulso refletido terá

- a) mesma fase e comprimento de onda menor.
- b) mesma fase e mesmo comprimento de onda.
- c) fase invertida e comprimento de onda maior.
- d) fase invertida e mesmo comprimento de onda.

#### 49. (EEAR 2010)

As figuras abaixo representam ondas sonoras emitidas por 3 dispositivos diferentes.



A qualidade do som que permite ao ouvinte identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos é

- a) a altura.
- b) o timbre.
- c) a intensidade.
- d) o comprimento de onda.

#### 50. (EEAR 2011)

O valor mínimo da escala de intensidade sonora corresponde a  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>.

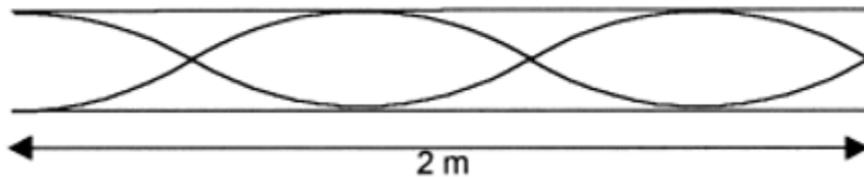
Assinale a alternativa que indica corretamente o valor, em decibéis, para uma intensidade de  $1,0$  W/m<sup>2</sup>.

- a) 1 dB.
- b) 10 dB.
- c) 12 dB.
- d) 120 dB.

#### 51. (ESPCEX 2000)

A figura representa uma onda estacionária que se forma em um tubo sono fechado. Considerando a velocidade do som no ar de  $340$  m/s, a frequência, em Hz, do som emitido pelo tubo é de





- a) 200,0
- b) 200,5
- c) 212, 5
- d) 220,5
- e) 225,0

**52. (ESPCEX 2005)**

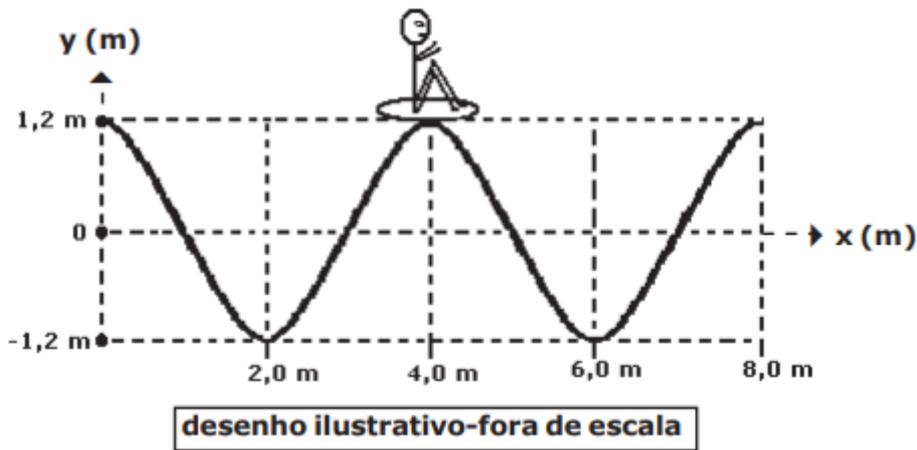
Um barítono emite um som uníssono na frequência de 180 Hz. Sabendo que a velocidade do som no ar é constante e igual a 324 m/s, pode-se afirmar que o comprimento de onda do som emitido pelo barítono é de:

- a) 2,4 m
- b) 1,8 m
- c) 0,9 m
- d) 0,6 m
- e) 0,5 m

**53. (ESPCEX 2014)**

Uma das atrações mais frequentadas de um parque aquático é a “piscina de ondas”. O desenho abaixo representa o perfil de uma onda que se propaga na superfície da água da piscina em um dado instante. Um rapaz observa, de fora da piscina, o movimento de seu amigo, que se encontra em uma boia sobre a água e nota que, durante a passagem da onda, a boia oscila para cima e para baixo e que, a cada 8 segundos, o amigo está sempre na posição mais elevada da onda. O motor que impulsiona as águas da piscina gera ondas periódicas. Com base nessas informações, e desconsiderando as forças dissipativas na piscina de ondas, é possível concluir que a onda se propaga com uma velocidade de





- a) 0,15 m/s
- b) 0,30 m/s
- c) 0,40 m/s
- d) 0,50 m/s
- e) 0,60 m/s

**54. (ESPCEX 2018)**

Com relação às ondas, são feitas as seguintes afirmações:

- I. As ondas mecânicas propagam-se somente em meios materiais.
- II. As ondas eletromagnéticas propagam-se somente no vácuo.
- III. As micro-ondas são ondas que se propagam somente em meios materiais.

Das afirmações acima está(ão) correta(s) apenas a(s):

- a) I.
- b) II.
- c) I e III.
- d) I e II.
- e) II e III.

## Gabarito

1. B	44. A
2. B	45. A
3. C	46. A
4. B	47. A
5. C	48. D
6. D	49. B
7. B	50. D
8. D	51. C
9. C	52. B
10. B	53. D
11. A	54. A
12. C	
13. C	
14. A	
15. B	
16. D	
17. C	
18. D	
19. B	
20. D	
21. B	
22. B	
23. B	
24. C	
25. C	
26. B	
27. D	
28. D	
29. C	
30. D	
31. A	
32. D	
33. B	
34. A	
35. D	
36. B	
37. B	
38. A	
39. C	
40. B	
41. A	
42. D	
43. B	



# Lista de Questões Resolvidas e Comentadas

## 1.(EEAR 2019)

Um instrumento musical produz uma onda sonora a qual propaga-se no ar com velocidade  $V_1=340\text{m/s}$  e passa a propagar-se na água com velocidade  $V_2=1428\text{ m/s}$ .

Sabendo-se que essa onda sonora apresenta no ar um comprimento de onda de  $0,5\text{m}$ , qual a frequência, em Hz, dessa onda ao propagar-se na água?

- a) 170
- b) 680
- c) 714
- d) 2856

### Comentário:

A **frequência de uma onda só depende da fonte**, não depende do meio a qual a onda está. Então, como a fonte é a mesma para as duas situações, temos que a frequência também é a mesma! 😊

$$V = \lambda \cdot f \rightarrow 340 = 0,5 \cdot f \rightarrow f = 680 \text{ Hz}$$

**Gabarito: B**

---

## 2.(EEAR 2019)

Uma onda com frequência de  $50\text{ kHz}$  está na faixa do:

- a) *Infrassom*
- b) *Ultrassom*
- c) *Som audível grave*
- d) *Som audível agudo*

### Comentário:

O ser humano ouve sons de frequências entre  $20\text{ Hz}$  e  $20.000\text{ Hz}$ , portanto, um som de frequência  $50\text{kHz}$  está configurado como **Ultrassom** (acima do som).

**Gabarito: B**

---

## 3.(EEAR 2020)

Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

Durante o fenômeno da refração, uma onda eletromagnética ao passar de um meio de propagação para outro com velocidade menor, a onda refratada

- a) *inverte a fase e diminui o comprimento de onda*
- b) *inverte a fase e aumenta o comprimento de onda*
- c) *não inverte a fase e diminui o comprimento de onda*
- d) *não inverte a fase e aumenta o comprimento de onda*

### Comentário:

Ao passar de um meio para o outro com velocidade menor, a onda não inverte a fase, porém diminui seu comprimento de onda, de forma que a frequência permaneça a mesma 😊

## Gabarito: C

---

### 4.(EEAR 2020)

Assinale a alternativa que completa corretamente a frase:

No estudo da ondulatória, de acordo com o princípio de Huygens, cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado como uma nova fonte de ondas secundárias. Portanto, pode-se afirmar corretamente que as novas fontes secundárias possibilitam que a onda formada

- \_\_\_\_\_.
- a) tenha seu comprimento de onda alterado
  - b) contorne obstáculos no fenômeno da difração
  - c) tenha a frequência diferente daquela gerada pela fonte
  - d) tenha uma nova velocidade de propagação no mesmo meio

### Comentário:

Se cada ponto de uma frente de onda se torna uma fonte secundária, então **contornar obstáculos se torna possível** pois seria equivalente a movimentar a fonte da onda. Assim como ocorre no fenômeno da difração (Experiência de Young).

## Gabarito: B

---

### 5.(EEAR 2020)

Os radares primários de controle de tráfego aéreo funcionam com base no princípio de reflexão das ondas eletromagnéticas. De acordo com esse princípio, uma onda é emitida por uma antena próxima ao local de pouso e essa onda se propaga até o avião, reflete e volta à antena. Supondo o módulo da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar, igual ao módulo da velocidade de propagação da luz no vácuo ( $v = 300.000 \text{ km/s}$ ), se o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção da onda refletida foi de 1ms (um milissegundo), conclui-se que o avião está a uma distância de \_\_\_\_\_ km da antena.

- a) 15
- b) 30
- c) 150
- d) 300

### Comentário:

A onda é transmitida e recebida num intervalo de 1 ms, portanto ela percorre 2 vezes a distância em 1ms, pois deve atingir o avião e retornar ao receptor:

$$2 \times \text{Distância} = 300.000 \times 10^{-3} \rightarrow \text{Distância} = 150 \text{ km}$$

## Gabarito: C

---

### 6.(EEAR 2020)

Uma sirene produz um som na frequência de 850Hz que propaga-se no ar com velocidade igual a 340m/s. Nesse caso, o comprimento de onda desse som é de \_\_\_\_\_ centímetros.

- a) 0,4
- b) 2,5
- c) 25
- d) 40



### Comentário:

Sabendo que:

$$V = \lambda \cdot f$$

Temos:

$$340 = \lambda \cdot 850 \rightarrow \lambda = 0,4 \text{ m} \rightarrow \mathbf{40 \text{ cm}}$$

**Gabarito: D**

---

### 7.(EAM 2019)

Uma corda de comprimento 16 m apoiada no chão extremamente liso é esticada pelas suas extremidades. Em uma de suas extremidades gera-se uma sequência de pulsos (onda) que se propaga pela corda. Sabendo que o comprimento de onda é de 2 m e que a frequência da fonte que faz oscilar a corda é de 4 Hz, assinale a opção que fornece o intervalo de tempo, em segundos, necessário para que um pulso se propague de uma extremidade a outra.

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

### Comentário:

Sabendo que:

$$V = \lambda \cdot f$$

Temos:

$$V = 2 \times 4 = \frac{8\text{m}}{\text{s}} \rightarrow \Delta t = \frac{16}{8} = \mathbf{2\text{s}}$$

**Gabarito: B**

---

### 8.(EEAR 2019)

Um raio de luz monocromático propagando-se no ar, meio definido com índice de refração igual a 1, incide, com ângulo de incidência igual a  $60^\circ$ , na superfície de um líquido. Ao refratar, esse raio de luz adquire uma velocidade, no líquido, de  $\sqrt{2} \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Considerando a velocidade da luz no ar igual a  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , qual deve ser o seno do ângulo de refração formado entre o raio de luz refratado e a normal?

- a)  $\frac{1}{2}$
- b)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$
- c)  $\frac{\sqrt{3}}{2}$
- d)  $\frac{\sqrt{6}}{6}$

### Comentário:



Pela lei de Snell, temos:

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{v_1} = \frac{\text{sen}\theta_2}{v_2}$$

Portanto:

$$\frac{\text{sen}60^\circ}{3 \cdot 10^8} = \frac{\text{sen}\theta}{\sqrt{2} \cdot 10^8} \rightarrow \text{sen}\theta = \frac{\sqrt{6}}{6}$$

**Gabarito: D**

### 9.(EEAR 2019)

Analise as seguintes afirmações:

- I - Ondas mecânicas se propagam no vácuo, portanto não necessitam de um meio material para se propagarem.
- II - Ondas longitudinais são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação.
- III - Ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagarem.
- IV - As ondas sonoras são transversais e não se propagam no vácuo.

Assinale a alternativa que contém todas as afirmações verdadeiras.

- a) I e II
- b) I e III
- c) II e III
- d) II e IV

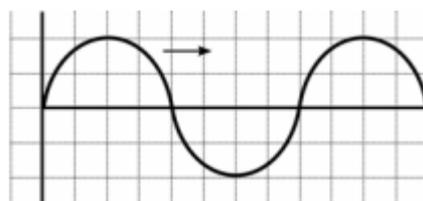
### Comentário:

- I. Ondas **mecânicas** precisam de um **meio para se propagar**, enquanto **as eletromagnéticas não**.
- II. **Correta!**
- III. **Correta!**
- IV. As ondas sonoras são **longitudinais!**

**Gabarito: C**

### 10.(EEAR 2019)

Um garoto mexendo nos pertences de seu pai, que é um professor de física, encontra um papel quadriculado como a figura a seguir.



Suponha que a figura faça referência a uma onda periódica, propagando-se da esquerda para a direita. Considerando que no eixo das abscissas esteja representado o tempo (em segundos), que no eixo das ordenadas esteja representada a amplitude da onda (em metros), que o comprimento de onda seja de 8m e que cada quadradinho da escala da figura tenha uma área numericamente igual a 1, a sua velocidade de propagação (em metros por segundo) será de:

- a) 0,25
- b) 1
- c) 8
- d) 16

#### Comentário:

Se cada quadrado tem área igual a 1, então temos que o comprimento do seu lado é igual a 1. Assim, do gráfico, temos:

$$\text{Amplitude: } 2m$$

Logo, podemos observar que de uma crista (amplitude máxima) até a outra crista, temos um intervalo de 10 quadrados:

$$\Delta t = 8 \text{ s}$$

Assim, para 1 comprimento de onda, temos 8 segundos, logo:

$$v = \frac{8}{8} = \mathbf{1m/s}$$

#### Gabarito: B

---

#### 11.(EEAR 2019)

Um adolescente de 12 anos, percebendo alterações em sua voz, comunicou à sua mãe a situação observada com certa regularidade. Em determinados momentos apresentava tom de voz fina em outros momentos tom de voz grossa. A questão relatada pelo adolescente refere-se a uma qualidade do som denominada:

- a) altura
- b) timbre
- c) velocidade
- d) intensidade

#### Comentário:

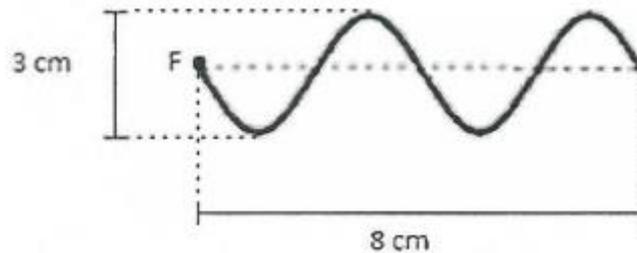
A voz fina ou grossa está relacionada a frequência. Portanto, a **altura do som** denomina-se a voz está grossa (baixa) ou fina (alta).

#### Gabarito: A

---



## 12.(EAM2018)



A figura representa ondas propagando-se numa corda tensa 4 s após o início das oscilações da fonte F que as produz. O comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) da onda produzida pela fonte F valem, respectivamente:

- a) 3 cm e 0,80 Hz
- b) 4 cm e 0,25 Hz
- c) 4 cm e 0,50 Hz
- d) 8 cm e 0,25 Hz
- e) 8 cm e 0,50 Hz

### Comentário:

Da figura podemos observar que:

$$2 \cdot \lambda = 8 \rightarrow \lambda = 4 \text{ cm}$$

A frequência é o inverso do tempo, para cada comprimento de onda, logo:

$$2\lambda \rightarrow 4s \rightarrow \lambda \rightarrow 2s \rightarrow f = \frac{1}{2} \text{ Hz} = 0,5 \text{ Hz}$$

### Gabarito: C

## 13.(EEAR 2018)

Uma onda propagando-se em um meio material passa a propagar-se em outro meio cuja velocidade de propagação é maior do que a do meio anterior. Nesse caso, a onda, no novo meio tem

- a) sua fase invertida.
- b) sua frequência aumentada.
- c) comprimento de onda maior.
- d) comprimento de onda menor.

### Comentário:

Se a velocidade da onda é maior no segundo meio, temos então que ao atravessar os meios a onda sofre um **aumento do seu comprimento de onda**, pois **a frequência permanece a mesma devido a só depender da fonte!** 😊



## Gabarito: C

---

### 14.(EEAR 2018)

No estudo de ondulatória, um dos fenômenos mais abordados é a reflexão de um pulso numa corda. Quando um pulso transversal propagando-se em uma corda devidamente tensionada encontra uma extremidade fixa, o pulso retorna à mesma corda, em sentido contrário e com:

- a) *inversão de fase*
- b) *alteração no valor da frequência.*
- c) *alteração no valor do comprimento de onda.*
- d) *alteração no valor da velocidade de propagação.*

#### Comentário:

Ao encontrar uma parede fixa, o pulso retorna com a mesma velocidade e comprimento de onda, entretanto com a **fase invertida** pois a parede se torna uma fonte idêntica a inicial mas defasada de  $\pi$ .

## Gabarito: A

---

### 15.(EEAR 2018)

Um professor de música esbraveja com seu discípulo: “Você não é capaz de distinguir a mesma nota musical emitida por uma viola e por um violino!”. A qualidade do som que permite essa distinção à que se refere o professor é a (o)

- a) *altura*
- b) *timbre*
- c) *intensidade*
- d) *velocidade de propagação*

#### Comentário:

O que diferencia dois instrumentos é o **timbre**. Que de certa forma é uma ligeira diferença na frequência e acústica dos instrumentos 🌀

## Gabarito: B

---

### 16.(EEAR 2018)

Dentre os recentes desenvolvimentos tecnológicos encontram-se os aparelhos eletrodomésticos que, pela praticidade e economia de tempo, facilitam a realização das tarefas diárias, como o forno de microondas utilizado para o preparo ou o aquecimento dos alimentos quase que de modo instantâneo. Dentro do forno de microondas, o magnétron é o dispositivo que transforma ou converte a energia elétrica em microondas, ondas eletromagnéticas de alta frequência, as quais não aquecem o forno porque:

- a) *são completamente absorvidas pelas paredes do forno e pelos alimentos.*
- b) *são refletadas pelas paredes do forno e absorvidas pelos alimentos.*
- c) *não produzem calor diretamente e são absorvidas pelas paredes do forno e pelos alimentos.*
- d) *não produzem calor diretamente, são refletadas pelas paredes do forno e absorvidas pelos alimentos.*

#### Comentário:

As ondas eletromagnéticas são **refletidas pelas paredes do micro-ondas** e são **absorvidas pela água dos alimentos!** O que os faz esquentar.



Uma curiosidade é que formigas não morrem dentro de um micro-ondas ligado pois elas não têm água suficiente para serem aquecidas 😊

**Gabarito: D**

---

### 17.(EEAR 2018)

Ao caminhar por uma calçada, um pedestre ouve o som da buzina de um ônibus, que passa na via ao lado e se afasta rapidamente. O pedestre observou nitidamente que quando o ônibus se afastou houve uma brusca variação na altura do som. Este efeito está relacionado ao fato de que houve variação:

- a) no timbre das ondas
- b) na amplitude das ondas
- c) na frequência do som
- d) na intensidade do som

#### Comentário:

O efeito descrito no enunciado se chama “Efeito Doppler”. Tal efeito consiste em uma **variação na frequência** percebida pelo observador quando a fonte está se aproximando ou afastando do objeto!

**Gabarito: C**

---

### 18.(EEAR 2018)

O universo é um grande laboratório onde transformações estão ocorrendo a todo instante, como as explosões que permitem o surgimento (nascimento) e/ou a morte de estrelas e outros corpos celestes. Em uma noite de céu límpido, é possível observar a luz, proveniente de diferentes estrelas, muitas das quais possivelmente já não mais existem. Sabendo que as ondas eletromagnéticas correspondentes ao brilho destas estrelas percorrem o espaço interestelar com a velocidade máxima de 300.000 km/s, podemos afirmar que não ouvimos o barulho destas explosões porque:

- a) a velocidade de propagação das ondas sonoras é muito menor do que a das ondas de luz e, por isso, elas ainda estão caminhando pelo espaço.
- b) devido a interferência das ondas sonoras de diferentes estrelas, estas se cancelam (anulam) mutuamente e com o campo magnético da Terra.
- c) as ondas sonoras não possuem energia suficiente para caminhar pelo espaço interestelar.
- d) as ondas sonoras são ondas mecânicas e precisam da existência de um meio material para se propagar.

#### Comentário:

**O som é uma onda mecânica** e, portanto, **precisa de um meio material para se propagar**. Som não se propaga no vácuo 😞

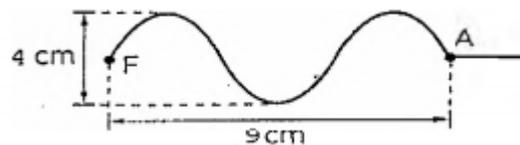
**Gabarito: D**

---

### 19.(EAM 2017)

Observe a figura abaixo.





Considerando que os pontos F e A estão na mesma altura em relação a um referencial comum e sabendo que o ponto A da corda foi atingido 12s após o início das oscilações da fonte, o período e a velocidade de propagação das ondas ao longo da corda valem, respectivamente:

- a) 4s e 0,25 cm/s
- b) 8s e 0,75 cm/s
- c) 9s e 1,25 cm/s
- d) 12s e 2,25 cm/s
- e) 15s e 2,50 cm/s

#### Comentário:

Do enunciado, temos:

$$\frac{3\lambda}{2} = 9\text{cm} \rightarrow \lambda = 6\text{cm}$$

Como o ponto foi atingido 12 segundos após:

$$\frac{3\lambda}{2} \rightarrow 12\text{s} \leftrightarrow \lambda \rightarrow 8\text{s}$$

Em 8 segundos, ocorre 1 comprimento de onda, portanto o período é:

$$T = 8\text{s} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \rightarrow v = \frac{6}{8} = 0,75\text{ cm/s}$$

#### Gabarito: B

#### 20.(EAM 2017)

A classificação quanto à natureza e quanto à direção de propagação das ondas causadas pelo vento na superfície de um lago, vistas por um observador que passeia à beira desse lago, é, respectivamente:

- a) mecânicas e unidimensionais.
- b) eletromagnéticas e tridimensionais.
- c) eletromagnéticas e bidimensionais.
- d) mecânicas e bidimensionais.
- e) mecânicas e tridimensionais.

#### Comentário:

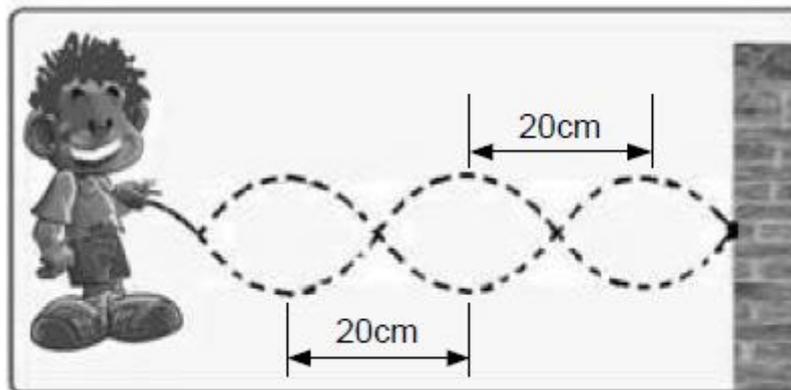
As ondas observadas são **mecânicas** pois se precisam de um meio para a propagação (água do lago) e são **bidimensionais** pois se propagam no plano do lago apenas! 😊

#### Gabarito: D

#### 21.(EAR 2017)



Um garoto amarra uma das extremidades de uma corda em uma coluna fixada ao chão e resolve brincar com ela executando um movimento vertical de sobe e desce na extremidade livre da corda, em intervalos de tempos iguais, produzindo uma onda de pulsos periódicos, conforme mostrado na figura. Sabendo que a frequência da onda formada na corda é de 5,0 Hz, determine a velocidade dessa onda, em m/s.



- a) 1
- b) 2
- c) 50
- d) 100

**Comentário:**

Da figura, podemos observar que o comprimento de onda é 40cm, logo:

$$V = \lambda \cdot f$$
$$V = 40 \cdot 10^{-2} \times 5 = \mathbf{2m/s}$$

**Gabarito: B**

**22.(EEAR 2017)**

Em uma apresentação musical, uma criança viu três instrumentos semelhantes em formato, porém de tamanhos diferentes: o violoncelo, a viola e o violino. Detectou que o violino tinha o som mais agudo e que o violoncelo tinha o som mais grave. Segundo o texto acima, a qualidade sonora detectada pela criança foi:

- a) Intensidade
- b) Altura
- c) Timbre
- d) volume

**Comentário:**

Sons são classificados como agudos ou graves de acordo com a sua frequência. Portanto a qualidade detectada pela criança foi a **altura**.

É importante observar o erro comum do dia-a-dia, quando falamos que um som está alto demais quando queremos dizer que seu volume está elevado. Entretanto, isso é um erro. A forma correta é dizer que o som está **intenso** demais. 😊

**Gabarito: B**



### 23.(EEAR 2017)

A velocidade do som no ar é de aproximadamente 340 m/s. Se o ser humano é capaz de ouvir sons de 20 a 20000 Hz, qual o maior comprimento de onda, em metros, audível para uma pessoa com audição perfeita?

- a) 1,7
- b) 17
- c) 170
- d) 1700

#### Comentário:

Sabendo que:

$$V = \lambda \cdot f$$

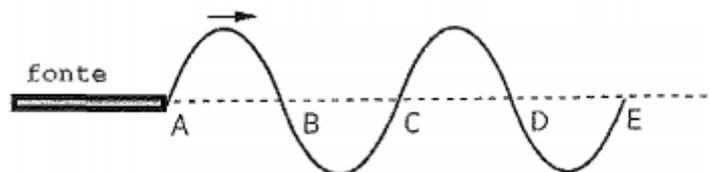
O ser humano ouvirá um som com maior comprimento de onda quando sua frequência for a menor possível, portanto:

$$340 = \lambda \cdot 20 \rightarrow \lambda = 17 \text{ m}$$

#### Gabarito: B

### 24.(EAM 2016)

Observe a figura abaixo.



O esquema acima representa ondas periódicas propagando-se ao longo de uma corda tensa. Nesse esquema, os pontos A e E distam 60cm um do outro e o instante mostrado foi obtido 5s após o início da vibração da fonte.

Considerando essa situação, pode-se dizer que o comprimento de onda ( $\lambda$ ), a frequência ( $f$ ) e a velocidade ( $v$ ) dessa onda valem, respectivamente:

- a) 60cm, 1,0 Hz e 12 cm/s
- b) 60cm, 4,0 Hz e 10 cm/s
- c) 30cm, 0,4 Hz e 12 cm/s
- d) 30cm, 0,4 Hz e 10 cm/s
- e) 30cm, 0,6 Hz e 10 cm/s

#### Comentário:

Da figura, podemos observar que do ponto A ao ponto E temos 2 comprimentos de onda:

$$2\lambda = 60 \rightarrow \lambda = 30 \text{ cm}$$

Como o tempo foi de 5 segundos, temos:

$$T = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ s}$$

$$V = \frac{30}{2,5} = \frac{12\text{cm}}{\text{s}}$$

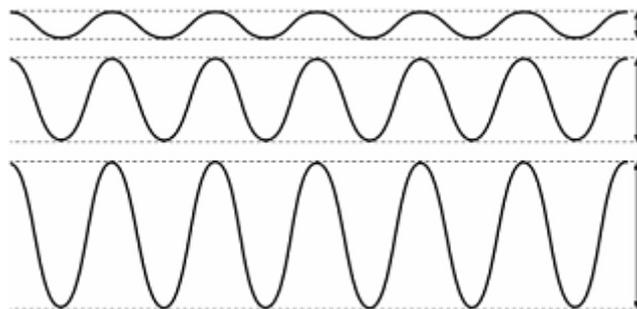
Por fim, temos:

$$V = \lambda \cdot f \rightarrow 12 = 30 \cdot f \rightarrow f = \frac{12}{30} = 0,4 \text{ Hz}$$

**Gabarito: C**

### 25.(EEAR 2017)

Analisando a figura do gráfico que representa três ondas sonoras produzidas pela mesma fonte, assinale a alternativa correta para os três casos representados.



- a) As frequências e as intensidades são iguais.
- b) As frequências e as intensidades são diferentes.
- c) As frequências são iguais, mas as intensidades são diferentes.
- d) As frequências são diferentes, mas as intensidades são iguais.

### Comentário:

Da figura, podemos observar que os comprimentos verticais (Amplitudes totais) das ondas são diferentes. Portanto a **intensidade de cada onda é diferente**. Entretanto, como a fonte é a mesma, então a **frequência é igual** para todas as ondas, pois a mesma só depende da fonte!



**Gabarito: C**

### 26. (EEAR 2007)

A figura representa uma onda estacionária numa corda fixa nas extremidades A e B. O comprimento  $\ell$ , em metros, vale

- a) 1,0.
- b) 1,5.
- c) 2,0.
- d) 3,0.

### Comentário:

Da figura, temos que:

$$\lambda = 0,5\text{m}$$

Sabendo que:

$$\ell = 3 \cdot \lambda$$



$$\ell = 3 \cdot 0,5$$

$$\ell = 1,5 \text{ m}$$

### Gabarito: B

---

#### 27. (EEAR 2007)

Ondas eletromagnéticas são aquelas que se propagam

- a) *somente no vácuo.*
- b) *somente em meios materiais.*
- c) *somente em condutores elétricos.*
- d) *tanto em meios materiais quanto no vácuo.*

#### Comentário:

Sabendo que:

- Ondas mecânica são as ondas que precisam de um meio material para se propagar.
- Ondas eletromagnéticas são as ondas que podem se propagar tanto em meios materiais quanto no vácuo.

Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra D.

### Gabarito: D

---

#### 28. (EEAR 2008)

Assinale a alternativa correta:

- a) *Ondas sonoras podem propagar-se no vácuo.*
- b) *A faixa de frequências audíveis vai de 20 kHz a 20 MHz.*
- c) *Ondas eletromagnéticas não podem propagar-se no vácuo.*
- d) *A velocidade de propagação do som na água é maior que no ar.*

#### Comentário:

Analisando a alternativa, temos que:

- Alternativa A está incorreta, pois as ondas sonoras são ondas mecânicas e, conseqüentemente, não se propagam no vácuo.
- Alternativa B está incorreta, pois a faixa de frequência audível vai de 20 Hz a 20000 Hz.
- Alternativa C está incorreta, pois as ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo.
- Alternativa D está correta, pois como as partículas de água estão mais próximas do que no ar, a velocidade na água vai ser maior que no ar.

### Gabarito: D

---

#### 29. (EEAR 2010)

Uma onda passa de um meio material para outro, no qual apresenta diferente velocidade de propagação. Neste caso, no novo meio, a onda apresenta

- a) *frequência maior que a anterior.*
- b) *frequência menor que a anterior.*



- c) a mesma frequência que no meio anterior.
- d) o mesmo comprimento de onda que no meio anterior.

**Comentário:**

Sabendo, de conhecimento prévio, que a frequência não se altera com a mudança do meio de propagação, temos que a alternativa correta é a letra C.

**Gabarito: C**

---

**30. (EEAR 2010)**

Uma emissora de rádio AM transmite ondas eletromagnéticas na frequência de 30 MHz, ou seja, dentro da faixa de ondas curtas. Supondo a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar a mesma que no vácuo, ou seja,  $3 \cdot 10^8$  m/s, qual o comprimento de onda relativo a essa frequência?

- a) 1 mm
- b) 1 cm
- c) 1 m
- d) 10 m

**Comentário:**

Sabendo que:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 30 \cdot 10^6$$
$$\frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^7} = \lambda$$
$$\lambda = 10 \text{ m}$$

**Gabarito: D**

---

**31. (EEAR 2012)**

Um nadador ao executar o movimento das pernas e braços dentro da água produz pequenas ondas. Ao incidirem em certas bordas de piscina, essas ondas retornam e incidem sobre o nadador acarretando a diminuição do módulo da velocidade do mesmo. Para evitar isso, as piscinas mais atuais utilizam bordas cuja altura em relação ao nível da água é praticamente nula e assim evitam a (o) \_\_\_\_ das ondas.

- a) reflexão
- b) ressonância
- c) polarização
- d) efeito doppler

**Comentário:**

Analisando os fenômenos das alternativas:

- Reflexão acontece quando uma onda atinge uma região que separa dois meios e ela volta a se propagar no meio que ela veio.
- Ressonância acontece quando ondas ou objetos vibram na mesma frequência.



- Polarização significa orientar a onda em uma única direção.
- Efeito doppler é a alteração aparente percebida de uma onda quando existe movimento entre a fonte de ondas e o receptor.

Dessa forma, temos que ocorre uma reflexão das ondas na borda da piscina.

**Gabarito: A**

---

**32. (EEAR 2012)**

Uma onda sonora propaga-se no ar com um comprimento de onda igual a 1,1 m a uma velocidade de 330 m/s. A frequência, em Hz, dessa onda sonora é

- a) 155.
- b) 150.
- c) 330.
- d) 300.

**Comentário:**

Sabendo que:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$330 = 1,1 \cdot f$$
$$\frac{330}{1,1} = f$$
$$f = 300 \text{ Hz}$$

**Gabarito: D**

---

**33. (EEAR 2013)**

No funcionamento de um equipamento de comunicação há uma onda quadrada com período de 0,04 segundos. Em outras palavras, a frequência dessa onda é de \_\_\_\_\_ Hz.

- a) 4
- b) 25
- c) 40
- d) 100

**Comentário:**

Sabendo que:

$$f = \frac{1}{T}$$
$$f = \frac{1}{0,04}$$
$$f = \frac{100}{4}$$
$$f = 25 \text{ Hz}$$

**Gabarito: B**

---



### 34. (EEAR 2013)

Em relação às qualidades do som, a unidade decibel (dB) refere-se à (ao) \_\_\_\_\_ da onda sonora.

- a) intensidade
- b) período
- c) timbre
- d) altura

#### Comentário:

Sabendo, de conhecimento prévio, temos que dB se refere à intensidade da onda sonora.

**Gabarito: A**

---

### 35. (EEAR 2013)

Um transmissor de Radar emite no ar ondas eletromagnéticas na faixa de micro-ondas. Sabendo-se que a frequência do transmissor é de 2,0 GHz, qual o comprimento de onda, em cm, das ondas transmitidas?

Considere:

- 1 – O meio homogêneo,
- 2 – a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar igual a 300.000 km/s e
- 3 – o prefixo G =  $10^9$ .

- a) 0,6
- b) 1,5
- c) 6,0
- d) 15,0

#### Comentário:

Sabendo que:

$$\begin{aligned}v &= \lambda \cdot f \\300000 \cdot 10^3 &= \lambda \cdot 2 \cdot 10^9 \\3 \cdot 10^8 &= \lambda \cdot 2 \cdot 10^9 \\ \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^9} &= \lambda \\ \frac{3}{20} &= \lambda \\ \lambda &= 0,15 \text{ m}\end{aligned}$$

Com isso, temos:

$$\lambda = 15 \text{ cm}$$

**Gabarito: D**

---



### 36. (EEAR 2006)

Certa onda, propagando-se no ar, possui um comprimento de onda igual a 100 cm e velocidade de propagação de 340 m/s. Qual será o comprimento de onda, em centímetros, desta onda ao passar para um meio onde a velocidade de propagação é de 1,36 m/s?

- a) 0,04
- b) 0,4
- c) 2,5
- d) 2500

#### Comentário:

Sabendo que as frequências nos dois meios são iguais:

$$\begin{aligned}f_1 &= f_2 \\ \frac{v_1}{\lambda_1} &= \frac{v_2}{\lambda_2} \\ \frac{340}{100 \cdot 10^{-2}} &= \frac{1,36}{\lambda_2} \\ \frac{340}{1} &= \frac{1,36}{\lambda_2} \\ \lambda_2 &= \frac{1,36}{340} \\ \lambda_2 &= 4 \cdot 10^{-3} m\end{aligned}$$

Sendo assim:

$$\lambda_2 = 0,4 \text{ cm}$$

#### Gabarito: B

### 37. (EEAR 2007)

O ouvido humano normal é capaz de detectar a estreita faixa de frequência compreendida entre 20 Hz e 20 kHz. Admitindo a velocidade do som no ar igual a 340 m/s. O som mais grave e o mais agudo que o ouvido humano é capaz de captar têm comprimentos de onda, respectivamente, iguais a:

- a) 1,7 m e 0,017 m
- b)  $1,7 \cdot 10^3 \text{ cm}$  e  $1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
- c) 1,7 cm e 1,7 m
- d)  $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  e  $1,7 \cdot 10^2 \text{ cm}$

#### Comentário:

Analisando:

- Som mais grave:

$$\begin{aligned}v &= \lambda \cdot f \\ 340 &= \lambda \cdot 20\end{aligned}$$



$$\frac{340}{20} = \lambda$$

$$\lambda = 17 \text{ m} = 1,7 \cdot 10^3 \text{ cm}$$

- Som mais agudo:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$340 = \lambda \cdot 20 \cdot 10^3$$

$$\frac{340}{20 \cdot 10^3} = \lambda$$

$$\lambda = 17 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Logo, a alternativa correta é a letra B.

**Gabarito: B**

---

**38. (EEAR 2007)**

Qual o comprimento de onda, em metros, de uma onda sonora de 1,7 kHz propagando-se no ar?

Dado: velocidade do som no ar é igual a 340 m/s.

- a) 0,2
- b) 5,0
- c) 20
- d) 50

**Comentário:**

Sabendo que:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$340 = \lambda \cdot 1,7 \cdot 10^3$$

$$\frac{340}{170 \cdot 10} = \lambda$$

$$\frac{2}{10} = \lambda$$

$$\lambda = 0,2 \text{ m}$$

**Gabarito: A**

---

**39. (EEAR 2007)**

O fenômeno ondulatório no qual uma onda consegue contornar um obstáculo é chamado de

- a) reflexão.
- b) refração.
- c) difração.
- d) polarização.

**Comentário:**



Analisando os fenômenos das alternativas:

- Reflexão acontece quando uma onda atinge uma região que separa dois meios e ela volta a se propagar no meio que ela veio.
- Refração acontece quando uma onda atinge uma região que separa dois meios e ela atravessa e começa a se propagar no novo meio.
- Difração pode ser definida como a capacidade de contornar obstáculos.
- Polarização significa orientar a onda em uma única direção.

Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra C.

**Gabarito: C**

---

#### 40. (EEAR 2008)

Uma mesma nota musical produz “sensações” diferentes quando emitidas por um violino ou por um piano. A qualidade do som que permite diferenciar dois sons de mesma frequência e mesmo “volume”, emitidos por fontes distintas é a (o) \_\_\_\_\_.

- a) altura
- b) timbre
- c) fidelidade
- d) intensidade

**Comentário:**

Analisando as alternativas, temos:

- Altura de um som diz respeito a sua frequência.
- Timbre é o formato da onda sonora e cada instrumento possui seu próprio modo de vibração que resulta na produção de um som característico.
- Fidelidade é a reprodução de um som com a maior fidelidade possível ao som real.
- Intensidade é a medida da quantidade de energia que uma onda sonora é capaz de transferir.

Dessa forma, temos que a alternativa correta é a letra B.

**Gabarito: B**

---

#### 41. (EEAR 2008)

Admitindo que as estações de rádio, de uma determinada região, emitam ondas eletromagnéticas basicamente em duas faixas: AM e FM e que a velocidade das ondas eletromagnéticas vale  $3 \times 10^8$  m/s, duas estações de rádio que emitam ondas de comprimento de onda igual a 300 m e 200 m estão operando, respectivamente, em \_\_\_\_\_.

Dados:

AM de 535 a 1650 kHz

FM de 88 a 108 MHz

- a) AM e AM
- b) AM e FM



- c) FM e AM
- d) FM e FM

### Comentário:

Analisando:

- Onda com maior comprimento de onda:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$3 \cdot 10^8 = 300 \cdot f_1$$
$$\frac{3 \cdot 10^8}{300} = f_1$$
$$\frac{10^8}{10^2} = f_1$$
$$f_1 = 10^6 \text{ Hz}$$
$$f_1 = 10^3 \text{ kHz}$$

Com isso, a primeira onda está na faixa do AM.

- Onda com menor comprimento de onda:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$3 \cdot 10^8 = 200 \cdot f_1$$
$$\frac{3 \cdot 10^8}{200} = f_1$$
$$f_1 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$
$$f_1 = 1500 \text{ kHz}$$

Com isso, a segunda onda também está na faixa do AM.

Logo, a alternativa correta é a letra A

**Gabarito: A**

### 42. (EEAR 2008)

A palavra LASER vem da sigla Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Um laser que emite ondas eletromagnéticas, no ar, com velocidade de  $3 \cdot 10^8$  m/s, com frequência de  $5,0 \cdot 10^{14}$  Hz, terá comprimento de onda, em metros, igual a \_\_\_\_\_.

- a)  $1,5 \cdot 10^{-8}$
- b)  $6,0 \cdot 10^{-8}$
- c)  $1,5 \cdot 10^{-7}$
- d)  $6,0 \cdot 10^{-7}$

### Comentário:

Sabendo que:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 5 \cdot 10^{14}$$



$$\frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{14}} = \lambda$$

$$\frac{6 \cdot 10^8}{10^{15}} = \lambda$$

$$\lambda = 6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

**Gabarito: D**

---

**43. (EEAR 2009)**

Em um determinado meio de propagação, o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) de uma dada onda, são grandezas

- a) *diretamente proporcionais.*
- b) *inversamente proporcionais.*
- c) *que só podem ser aplicadas no estudo do som.*
- d) *que não apresentam nenhuma proporcionalidade.*

**Comentário:**

Sabendo que:

$$v = \lambda \cdot f$$

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

Com isso, temos que o comprimento de onda e a frequência são inversamente proporcionais e, portanto, a alternativa correta é a letra B.

**Gabarito: B**

---

**44. (EEAR 2009)**

Uma onda se propaga de um meio para outro, constituindo o fenômeno da refração ondulatória. Pela experiência concluímos que neste fenômeno se mantém sem alteração o (a)

- a) *frequência.*
- b) *comprimento de onda.*
- c) *velocidade de propagação.*
- d) *produto da frequência pelo comprimento de onda.*

**Comentário:**

Sabendo, de conhecimento prévio, que o produto da frequência pelo comprimento de onda é a velocidade de propagação e que a frequência não se altera com a mudança do meio de propagação, temos que a alternativa correta é a letra A.

**Gabarito: A**

---

**45. (EEAR 2009)**

Durante os cercos realizados aos castelos da Idade Média costumava-se colocar barris com água do lado interno das muralhas. O objetivo era detectar por meio das ondulações da



superfície da água a escavação de túneis para entrar no castelo. Dentre as alternativas a seguir, pode-se afirmar, corretamente, que

- a) a frequência observada nas ondulações formadas na superfície da água é a mesma da escavação.
- b) a frequência observada nas ondulações formadas na superfície da água **não** é a mesma da escavação.
- c) a diminuição da amplitude nas ondulações formadas na superfície da água indicava, com certeza, a maior proximidade da escavação.
- d) o aumento da amplitude nas ondulações formadas na superfície da água **não** indicava a maior proximidade da escavação ou maior intensidade da escavação.

### Comentário:

Sabendo, de conhecimento prévio, que a frequência não se altera com a mudança do meio de propagação e quanto mais próximo ou mais intenso, teremos uma maior amplitude das oscilações. Logo, temos que a alternativa correta é a letra A.

### Gabarito: A

---

#### 46. (EEAR 2009)

Na superfície de um lago observa-se a formação de ondas periódicas. Sabendo-se que a distância entre duas cristas consecutivas da onda é de 10 cm e que sua velocidade de propagação é de 2 m/s, qual o período, em s, desta propagação?

- a) 0,05
- b) 0,10
- c) 10,0
- d) 20,0

### Comentário:

Do enunciado, temos que:

$$\lambda = 10 \text{ cm}$$

Sabendo que:

$$\begin{aligned}v &= \lambda \cdot f \\2 &= 10 \cdot 10^{-2} \cdot f \\2 &= 10^{-1} \cdot f \\f &= 20 \text{ HZ}\end{aligned}$$

Como:

$$\begin{aligned}T &= \frac{1}{f} \\T &= \frac{1}{20} \\T &= 0,05 \text{ s}\end{aligned}$$

### Gabarito: A

---



#### 47. (EEAR 2009)

Dentre as frases a seguir, a respeito de Ondulatória e Acústica, são corretas:

- I- a voz masculina apresenta, geralmente, menor frequência que a voz feminina;
- II- o timbre depende da forma das vibrações, isto é, da forma da onda sonora;
- III- as ondas infrassônicas e ultrassônicas são ondas eletromagnéticas e, por este motivo, inaudíveis para o ser humano;
- IV- a altura é a qualidade do som que depende da amplitude da onda sonora.

- a) I e II
- b) todas
- c) III e IV
- d) I, II e III

#### Comentário:

Analisando as afirmativas:

- Afirmativa I está correta, pois, geralmente, a voz masculina é mais grave enquanto a feminina é mais aguda e, portanto, a masculina apresenta, geralmente, menor frequência que a voz feminina.

- Afirmativa II está correta, pois o timbre é o formato da onda sonora e cada instrumento possui seu próprio modo de vibração que resulta na produção de um som característico.

- Afirmativa III está incorreta, pois as ondas infrassônicas e ultrassônicas não são necessariamente ondas eletromagnéticas e, além disso, não são audíveis para o ser humano porque não estão na faixa de frequência audível.

- Afirmativa IV está incorreta, pois a altura é a qualidade do som que depende da frequência.

Logo, a alternativa correta é a letra A.

#### Gabarito: A

---

#### 48. (EEAR 2010)

Um pulso ao propagar-se em uma corda encontra um extremo fixo e sofre reflexão. Ao retornar, o pulso refletido terá

- a) mesma fase e comprimento de onda menor.
- b) mesma fase e mesmo comprimento de onda.
- c) fase invertida e comprimento de onda maior.
- d) fase invertida e mesmo comprimento de onda.

#### Comentário:

Sabendo que a reflexão em um extremo fixo acontece com inversão de fase e como a onda estará se propagando no mesmo meio, ele terá a mesma velocidade de propagação antes e depois da reflexão e como sua frequência também é a mesma. Portanto, o comprimento de onda antes e depois da reflexão também será a mesma.

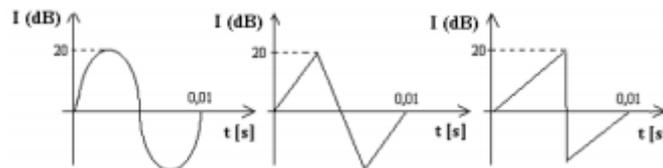


Sendo assim, temos que a alternativa correta é a letra D.

**Gabarito: D**

**49. (EEAR 2010)**

As figuras abaixo representam ondas sonoras emitidas por 3 dispositivos diferentes.



A qualidade do som que permite ao ouvinte identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos é

- a) a altura.
- b) o timbre.
- c) a intensidade.
- d) o comprimento de onda.

**Comentário:**

Analisando as alternativas:

- Alternativa A está incorreta, pois as alturas das três ondas são iguais tendo em vista que a altura está relacionada com a frequência e, conseqüentemente, com o período que é igual nos três gráficos. Sendo assim, não é possível identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos.

- Alternativa B está correta, pois o timbre é o formato da onda sonora e cada instrumento possui seu próprio modo de vibração que resulta na produção de um som característico e, com isso, podemos identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos.

- Alternativa C está incorreta, pois no gráfico podemos observar que todas as ondas possuem o mesmo valor de intensidade máxima. Sendo assim, não é possível identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos.

- Alternativa D está incorreta, pois como a velocidade de propagação do som é o mesmo e, do gráfico, temos que a frequência delas é a mesma podemos concluir que as ondas terão o mesmo comprimento de onda. Sendo assim, não é possível identificar a diferença entre os sons gerados pelos dispositivos.

**Gabarito: B**

**50. (EEAR 2011)**

O valor mínimo da escala de intensidade sonora corresponde a  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>.

Assinale a alternativa que indica corretamente o valor, em decibéis, para uma intensidade de 1,0 W/m<sup>2</sup>.

- a) 1 dB.
- b) 10 dB.
- c) 12 dB.

d) 120 dB.

**Comentário:**

Sabendo que o valor em decibéis é dado por:

$$N = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$N = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{10^{-12}}\right)$$

$$N = 10 \cdot \log(10^{12})$$

$$N = 10 \cdot 12 \cdot \log(10)$$

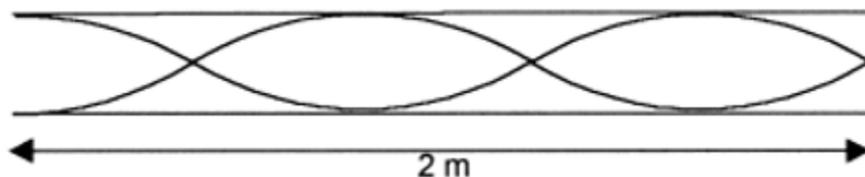
$$N = 10 \cdot 12 \cdot 1$$

$$N = 120 \text{ dB}$$

**Gabarito: D**

**51. (ESPCEX 2000)**

A figura representa uma onda estacionária que se forma em um tubo sono fechado. Considerando a velocidade do som no ar de 340 m/s, a frequência, em Hz, do som emitido pelo tubo é de



- a) 200,0
- b) 200,5
- c) 212,5
- d) 220,5
- e) 225,0

**Comentário:**

O comprimento de 2 metros do tubo comporta  $\frac{5\lambda}{4}$ .

$$\frac{5\lambda}{4} = 2$$

$$\lambda = 1,6 \text{ m}$$

Utilizando a equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$340 = 1,6 \cdot f$$

$$f = 212,5 \text{ Hz}$$



**Gabarito: C**

**52. (ESPCEX 2005)**

Um barítono emite um som unísono na frequência de 180 Hz. Sabendo que a velocidade do som no ar é constante e igual a 324 m/s, pode-se afirmar que o comprimento de onda do som emitido pelo barítono é de:

- a) 2,4 m
- b) 1,8 m
- c) 0,9 m
- d) 0,6 m
- e) 0,5 m

Comentário:

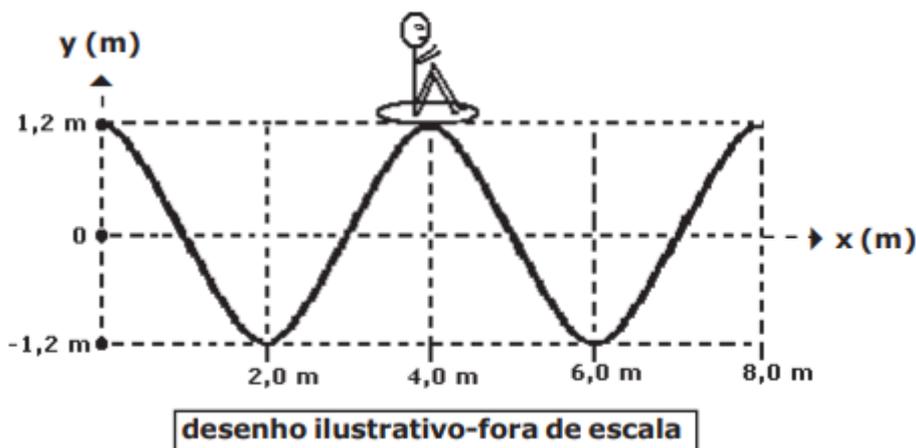
Utilizando a equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$
$$324 = \lambda \cdot 180$$
$$\lambda = 1,8 \text{ m}$$

**Gabarito: B**

**53. (ESPCEX 2014)**

Uma das atrações mais frequentadas de um parque aquático é a “piscina de ondas”. O desenho abaixo representa o perfil de uma onda que se propaga na superfície da água da piscina em um dado instante. Um rapaz observa, de fora da piscina, o movimento de seu amigo, que se encontra em uma boia sobre a água e nota que, durante a passagem da onda, a boia oscila para cima e para baixo e que, a cada 8 segundos, o amigo está sempre na posição mais elevada da onda. O motor que impulsiona as águas da piscina gera ondas periódicas. Com base nessas informações, e desconsiderando as forças dissipativas na piscina de ondas, é possível concluir que a onda se propaga com uma velocidade de



- a) 0,15 m/s
- b) 0,30 m/s

- c) 0,40 m/s
- d) 0,50 m/s
- e) 0,60 m/s

**Comentário:**

O período do movimento é dado por  $T = 8$  segundos.

Utilizando a equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f$$

Mas:

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

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

Da figura, o comprimento de onda é dado por  $\lambda = 4$  m

$$v = \frac{4}{8} = 0,5 \text{ m/s}$$

**Gabarito: D**

---

**54. (ESPCEX 2018)**

Com relação às ondas, são feitas as seguintes afirmações:

- I. As ondas mecânicas propagam-se somente em meios materiais.
- II. As ondas eletromagnéticas propagam-se somente no vácuo.
- III. As micro-ondas são ondas que se propagam somente em meios materiais.

Das afirmações acima está(ão) correta(s) apenas a(s):

- a) I.
- b) II.
- c) I e III.
- d) I e II.
- e) II e III.

**Comentário:**

- I. **Verdadeiro.** As ondas mecânicas necessitam de um meio material para se propagarem.
- II. **Falso.** As ondas eletromagnéticas também se propagam em meios materiais.
- III. **Falso.** As micro-ondas são ondas eletromagnéticas, portanto se propagam no vácuo também.

**Gabarito: A**

---



## Considerações Finais

Querido aluno(a),

Se você está com certo receio em algum tópico, reveja toda a teoria e depois refaça os exercícios propostos. Uma valiosa dica é fazer a lista inteira e só depois olhar o gabarito com a resolução. Com isso, você se forçará a ter uma maior atenção na feitura de questões e, portanto, aumentará sua concentração no momento de prova.

Se as dúvidas persistirem, não se esqueça de acessar o Fórum de Dúvidas! Responderei suas dúvidas o mais rápido possível!



Você também pode me encontrar nas redes sociais! 😊

Conte comigo,

**Vinícius Fulconi**



@viniciusfulconi



vinicius.fulconi



## Referências

[1] Tópicos da física 2: Volume 2 - Ricardo Helou Doca, Gualter José Biscuola, Newton Villas Boas - 21. Ed - São Paulo : Saraiva, 2012.

