

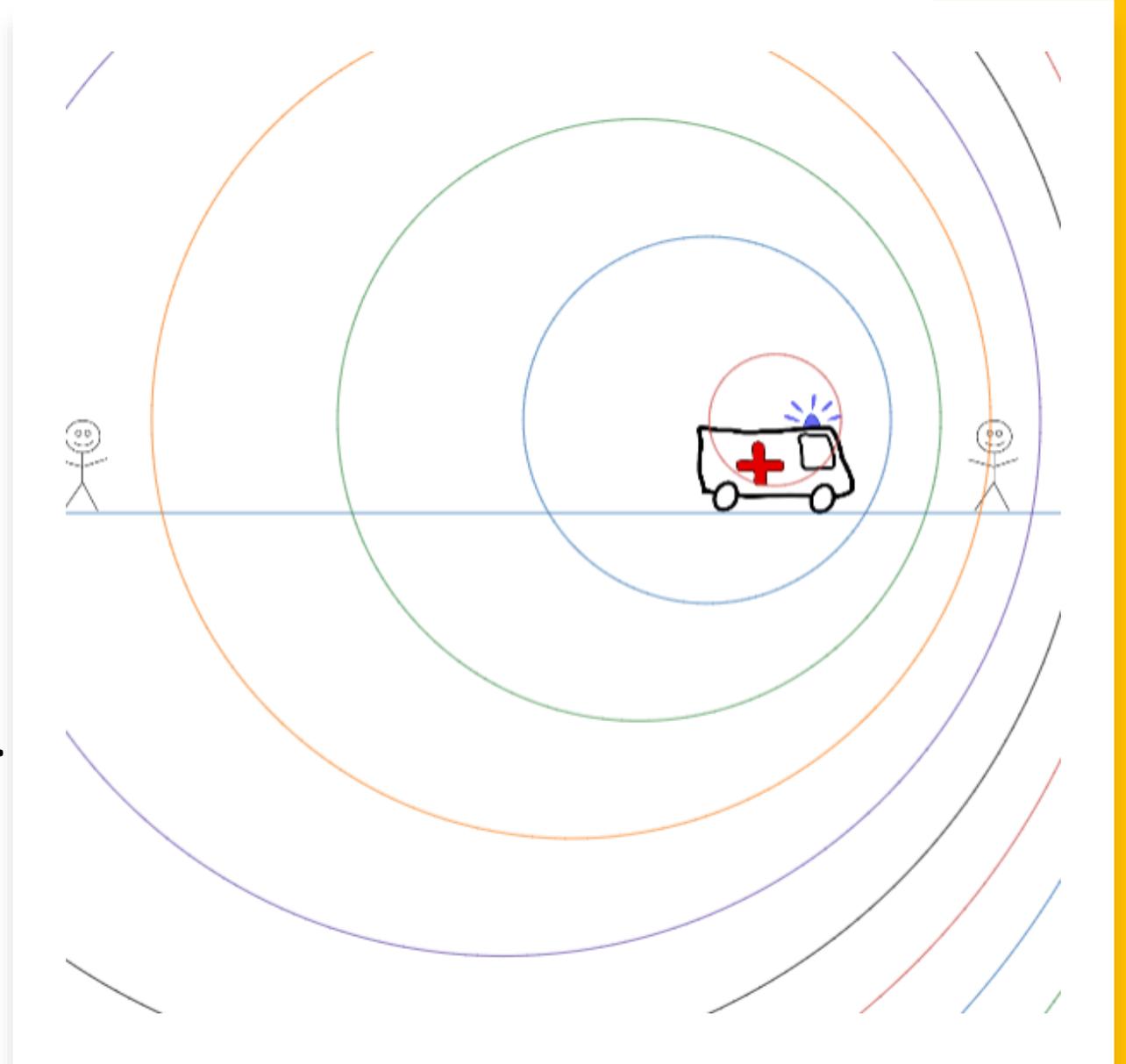
# Aulas Finais de Ondulatória

Professor Danilo

# Assuntos deste slide

---

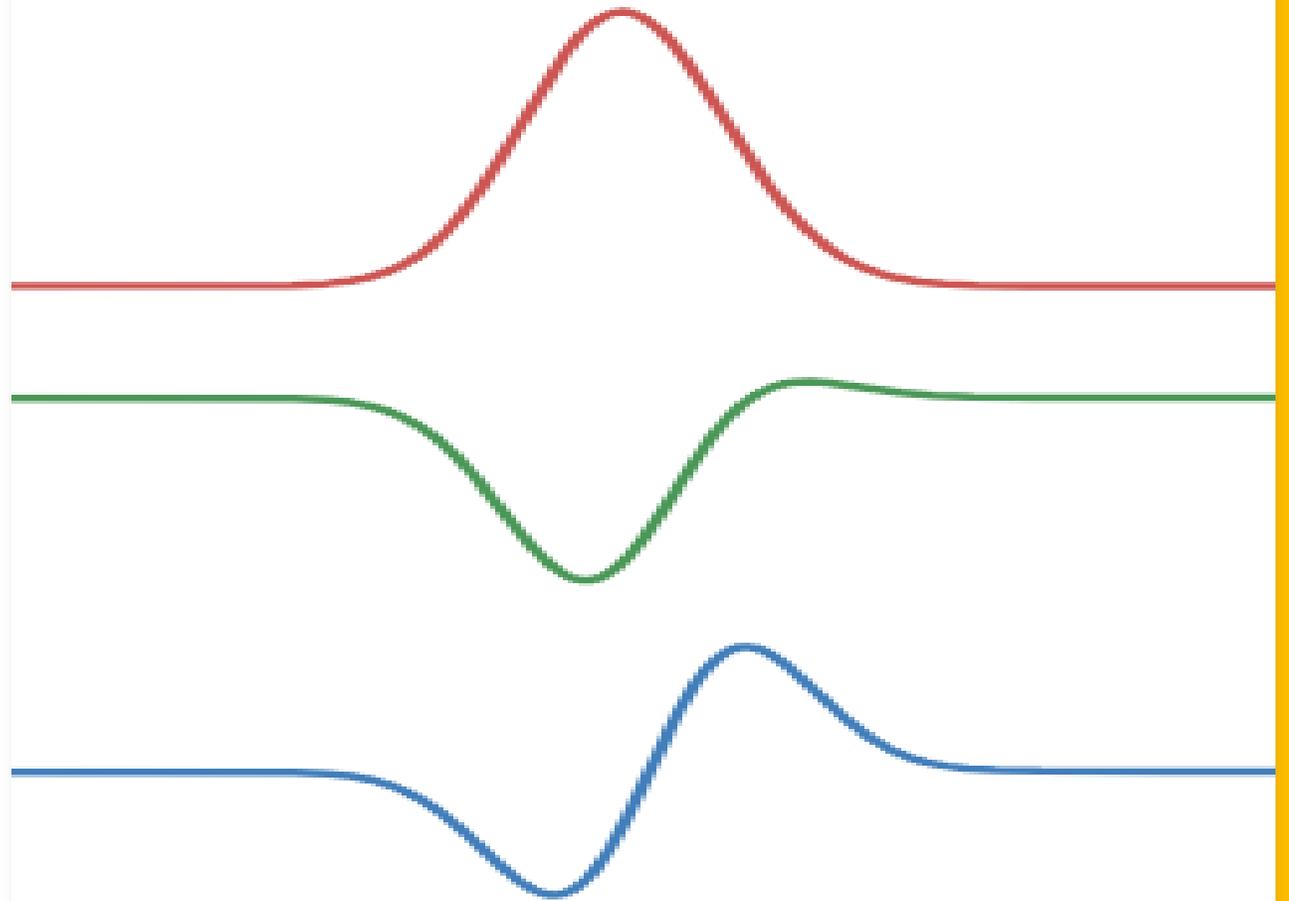
- Efeito Doppler de onda sonora
  - Folha 11
- Revendo ondas eletromagnéticas
  - Folha 11
- Efeito Doppler de ondas eletromag.
  - Folha 11
- Ondas de choque
  - Folha 11



# Assuntos deste slide

---

- Difração
  - Folha 12
- Espalhamento
  - Folha 12
- Polarização
  - Folha 12
- Interferência
  - Folha 12



# Q. 19 – EQUAÇÃO DO EFEITO DOPPLER

$$\frac{f_{fonte}}{V_{som} \pm V_{fonte}} = \frac{f_{obs}}{V_{som} \pm V_{obs}}$$

Sendo:

$f_{fonte}$ : a frequência emitida pela fonte;

$f_{obs}$ : a frequência observada pelo observador;

$V_{som}$ : a velocidade do som em relação ao ar;

$V_{fonte}$ : a velocidade da fonte em relação ao ar;

$V_{obs}$ : a velocidade do observador em relação ao ar.

Note que  $V_{som} \pm V_{fonte}$  é a velocidade do som em relação à fonte e que  $V_{som} \pm V_{obs}$  é a velocidade do som em relação ao observador.

# EQUAÇÃO DO EFEITO DOPPLER - EXEMPLO

## Apostila 6: "Acústica"

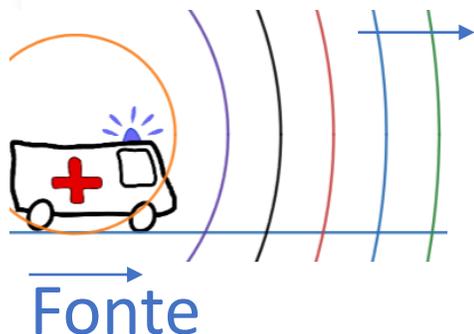
22

Ler menos



Um automóvel com velocidade constante de 72 km/h se aproxima de um pedestre parado. A frequência do som emitido pela buzina é de 720 Hz. Sabendo-se que a velocidade do som no ar é de 340 m/s, a frequência do som que o pedestre irá ouvir será de:

- a) 500 Hz
- b) 680 Hz
- c) 720 Hz
- d) 765 Hz
- e) 789 Hz



$$\frac{f_{\text{fonte}}}{V_{\text{som}} \pm V_{\text{fonte}}} = \frac{f_{\text{obs}}}{V_{\text{som}} \pm V_{\text{obs}}}$$

$$V_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{fonte}} = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{obs}} = 0 \quad f_{\text{fonte}} = 720 \text{ Hz}$$

$$\frac{f_{\text{fonte}}}{V_{\text{som}} - V_{\text{fonte}}} = \frac{f_{\text{obs}}}{V_{\text{som}} \pm 0} \Rightarrow \frac{720}{340 - 20} = \frac{f_{\text{obs}}}{340} \Rightarrow \frac{720 \cdot 340}{320} = f_{\text{obs}} \Rightarrow$$

$$f = 765 \text{ Hz.}$$

## EFEITO DOPPLER DE ONDA ELETROMAGNÉTICA

### Q. 20 – ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

#### Produção:

- Cargas elétricas aceleradas emitem ondas eletromagnéticas.
  - Cargas em movimento oscilatório fazem uma antena emitir ondas eletromagnéticas.
  - A produção de raios X consiste em frear abruptamente elétrons fazendo-os colidir em placas metálicas;
  - Cargas elétricas em movimento circular emitem radiação eletromagnética chamada radiação sincrotron.
- Quando um átomo mais pesado decai em átomos mais leves ocorre emissão de raios gama ( $\gamma$ ).
- Ondas eletromagnéticas também são emitidas por qualquer objeto pelo simples fato de terem temperaturas absolutas acima de 0 K.
- Decaimento eletrônico: transições eletrônicas em átomos também emitem radiação (fótons).

- **OBSERVAÇÕES IMPORTANTES:** os “raios” abaixo não são ondas eletromagnéticas.
  - Raios alpha ( $\alpha$ ) consiste no núcleo do átomo de Hélio (Hélio sem elétrons);
  - Raios beta menos ( $\beta^-$ ) são, na verdade, feixes de elétrons enquanto raios beta mais ( $\beta^+$ ) são feixes de pósitrons (antimatéria, isto é, antielétron).

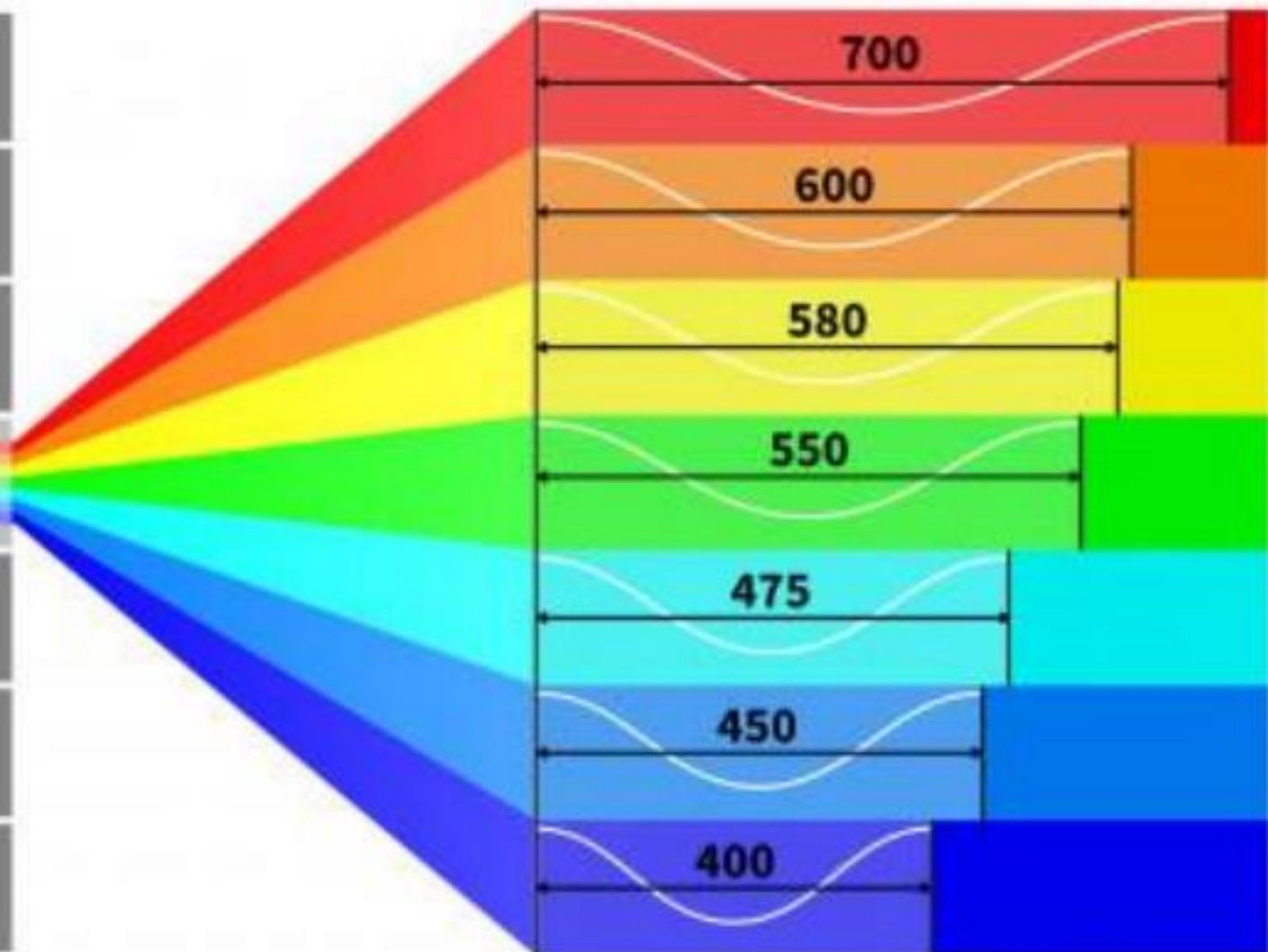
Conforme visto anteriormente, consiste na oscilação dos campos elétricos e magnéticos no espaço e no tempo.

Observe a figura a seguir onde estão representadas as diversas ondas eletromagnéticas com frequências crescentes de cima para baixo.

Radiações com comprimentos de ondas semelhantes ou maiores que o ultravioleta são radiações ionizantes (produzem íons quando interagem com a matéria) e são mais agressivas aos seres vivos, como raios X e raios gama ( $\gamma$ ).



**WAVE LENGTH IN NANOMETER**



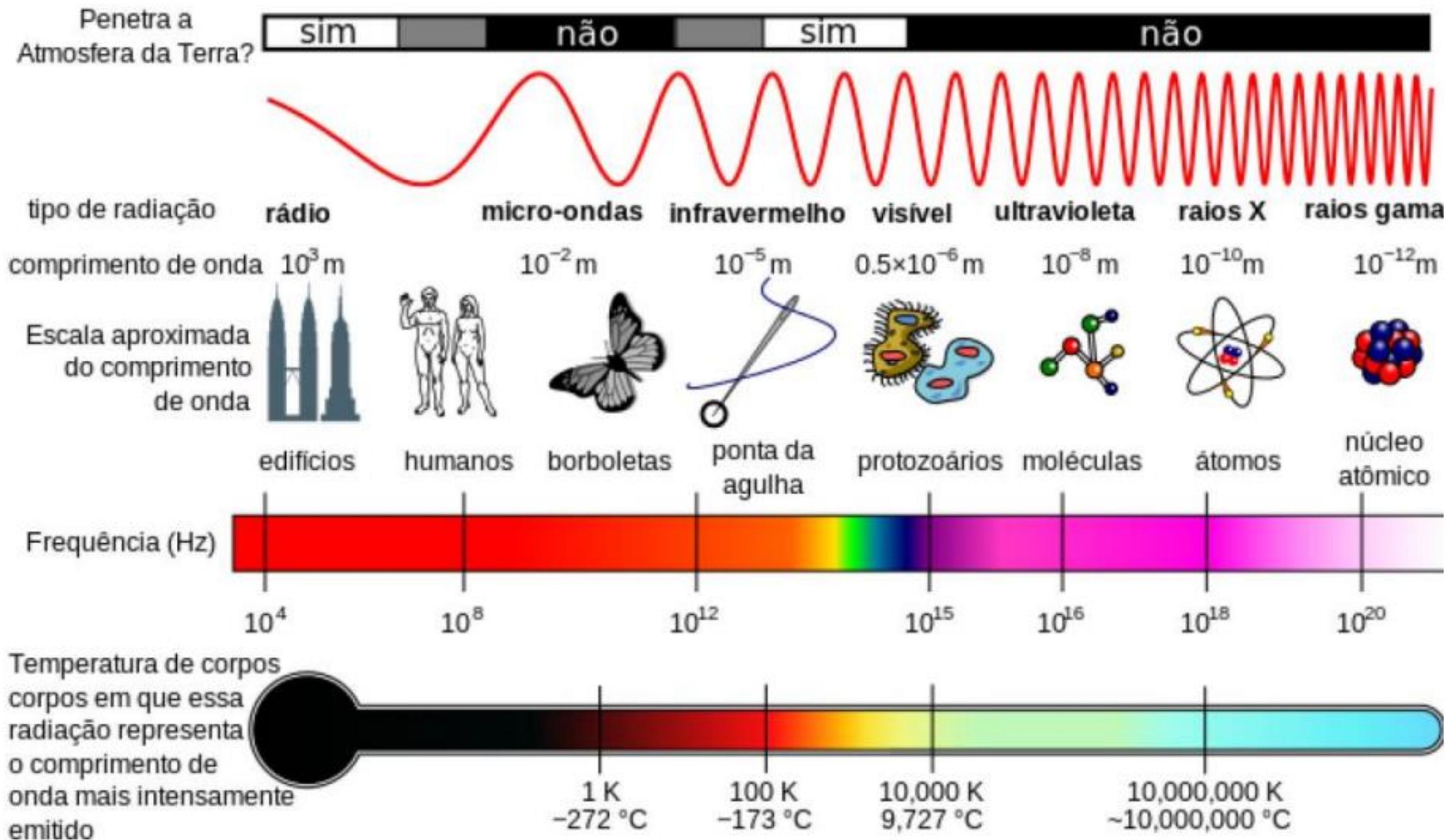


Figura 9: Comparando o comprimento de onda eletromagnético com objetos comuns.

## Q. 21– EFEITO DOPPLER DE UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA

Geralmente a equação abaixo é dada pelo enunciado:

$$\Delta f = f_{\text{Observada}} - f_{\text{Fonte}} = \pm \frac{v}{c} f_{\text{Fonte}}$$

Sendo  $\Delta f$  a diferença entre a frequência observada  $f_{\text{Observada}}$  e a frequência emitidas pela fonte  $f_{\text{Fonte}}$  sendo  $v$  a velocidade da fonte e  $c$  a velocidade da onda eletromagnética.

No caso da astronomia, a Lei de Hubble afirma que quanto mais distante um astro se encontra maior a velocidade de afastamento. Tal velocidade radial produz um efeito Doppler nas luzes vindas de estrelas distantes fazendo a frequência observada ser menor que a emitida.

Como resultado, estrelas visíveis tendem a ter um tom mais avermelhado e a isso chamamo de *red shift*.

## ONDAS DE CHOQUE

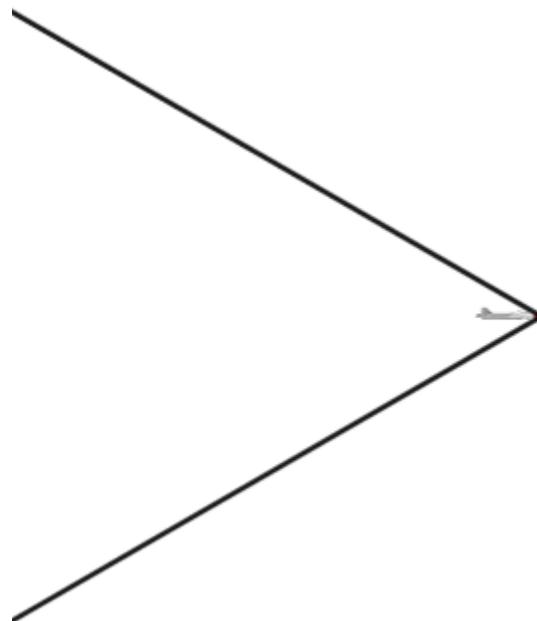
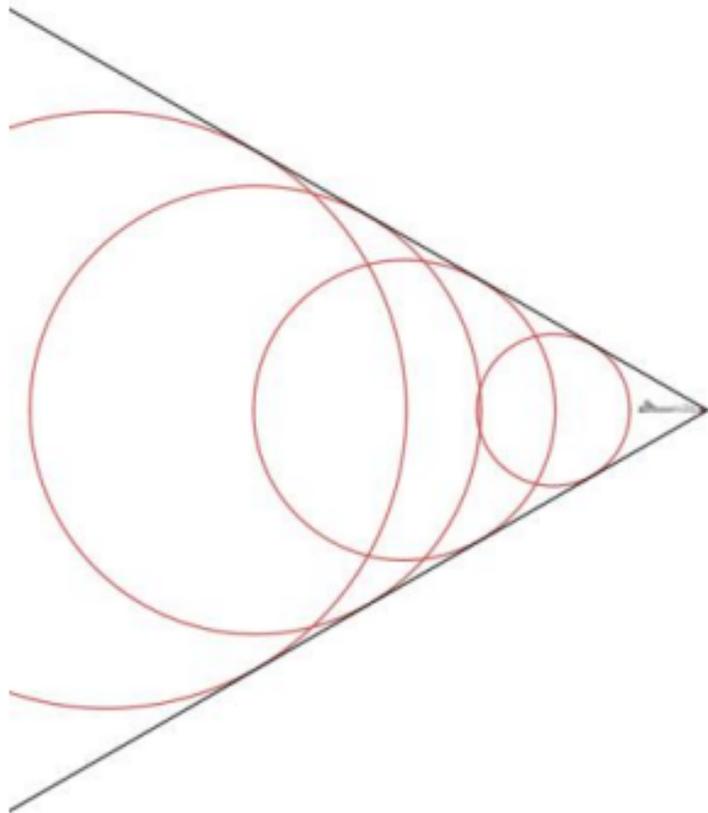
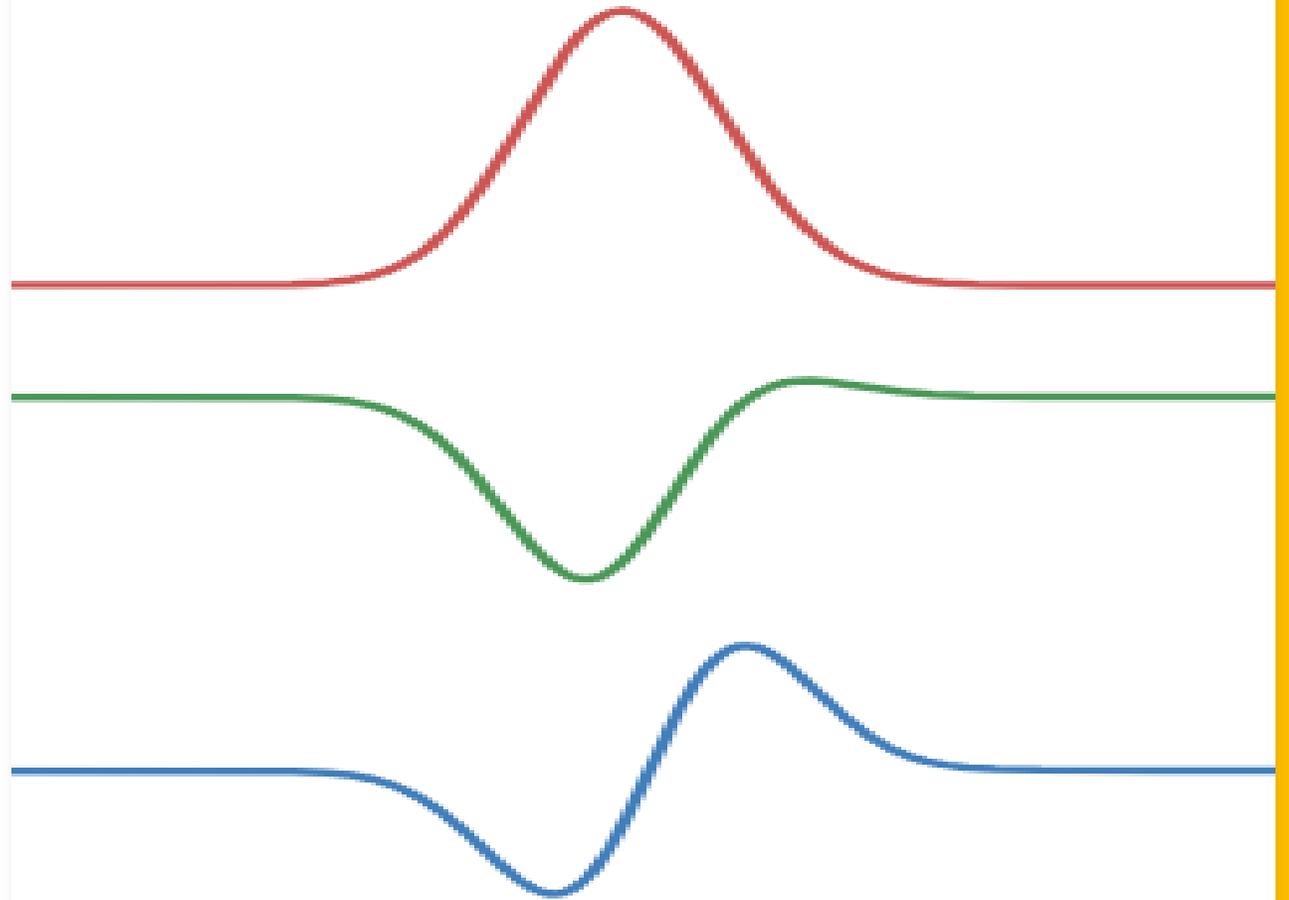


Figura 10: Cone de Mach. Surge quando a fonte ultrapassa a velocidade da onda que produz. À direita, uma animação.

# Assuntos deste slide

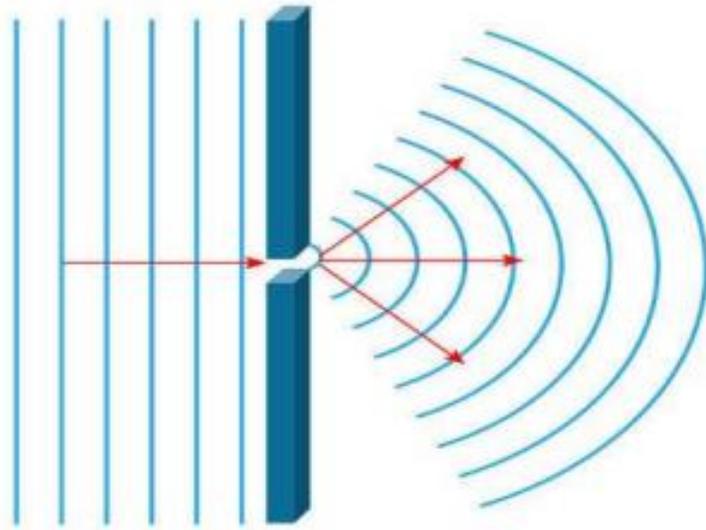
---

- Difração
  - Folha 12
- Espalhamento
  - Folha 12
- Polarização
  - Folha 12
- Interferência
  - Folha 12



## 1. DIFRAÇÃO E ESPALHAMENTO

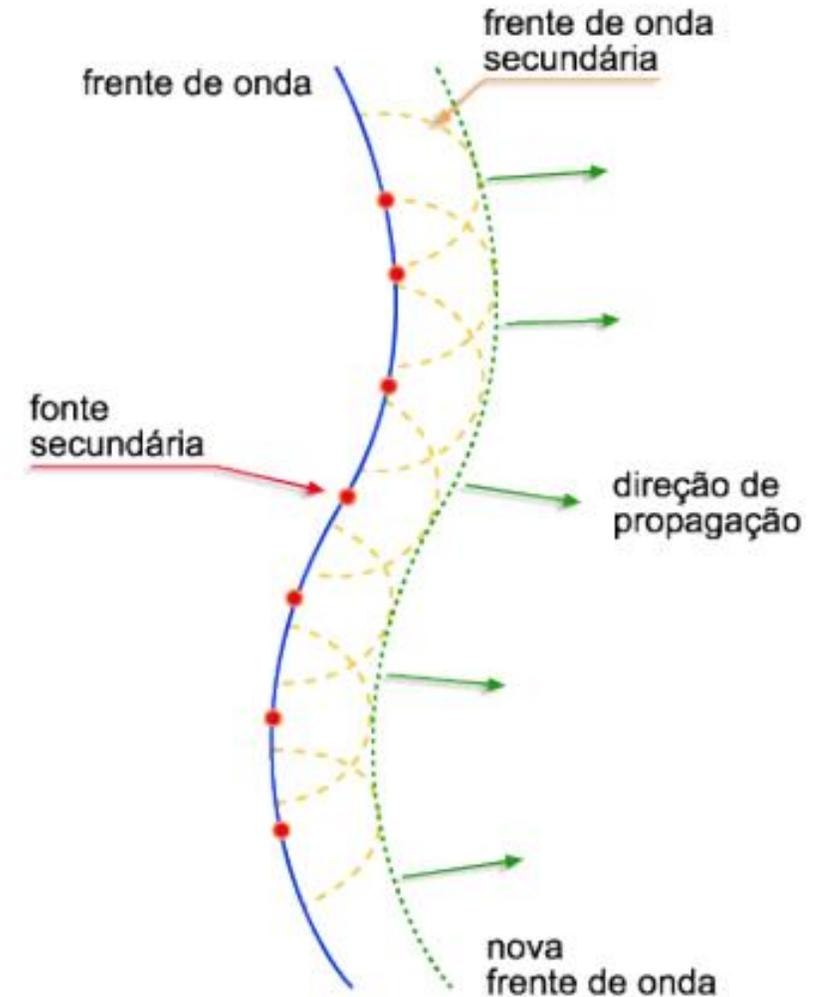
- A difração é a capacidade de contornar objetos de dimensões próximas ao comprimento de onda da onda incidente
- O espalhamento ocorre quando as dimensões dos objetos são muito menores que o comprimento de onda da onda incidente
- Falaremos disso em detalhes mais adiante



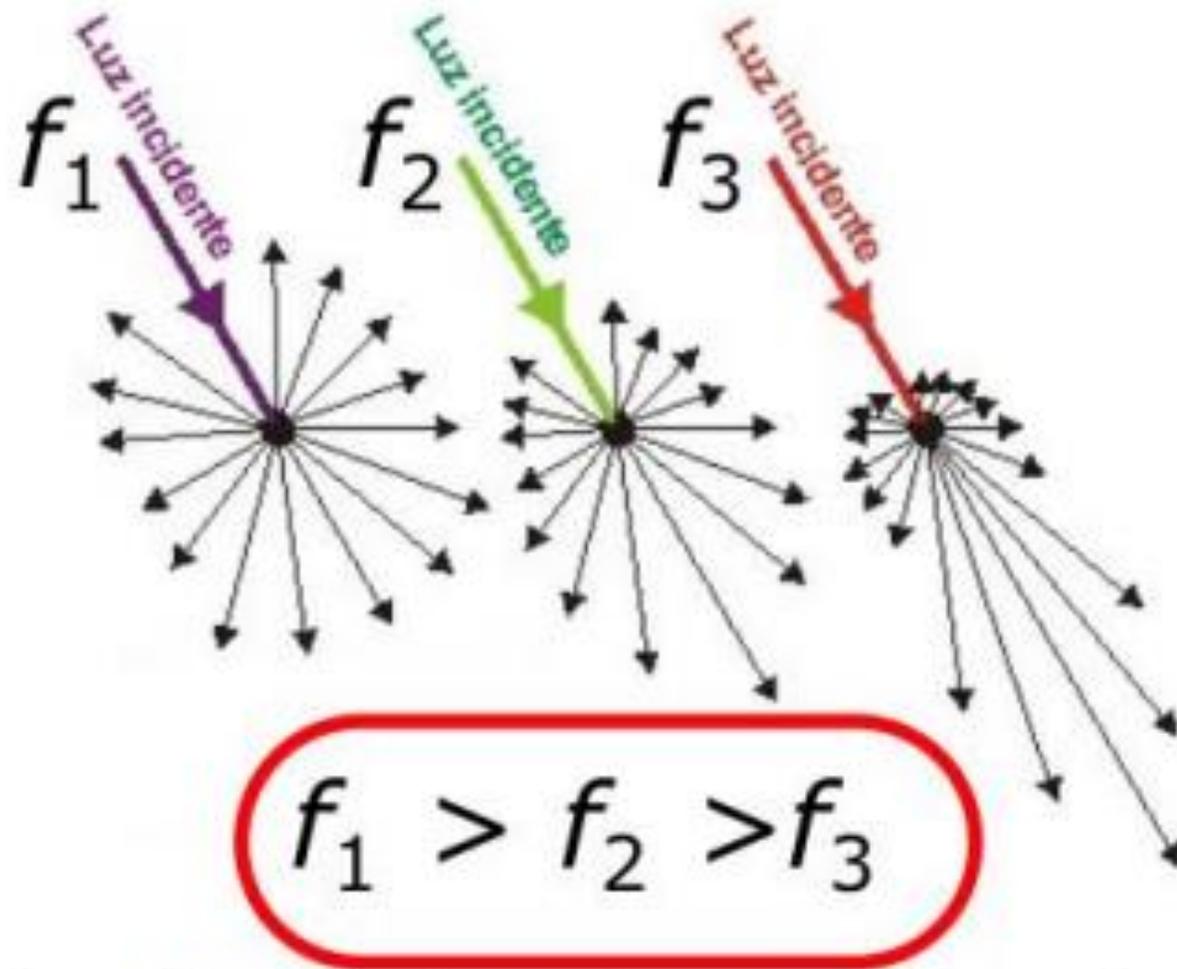
Difração: a fenda se comporta como uma fonte e a parede interromperá as ondas nas laterais.

## 2. PRINCÍPIO DE HUYGENS

- Cada ponto de uma frente de onda se comporta como se fosse uma fonte de onda

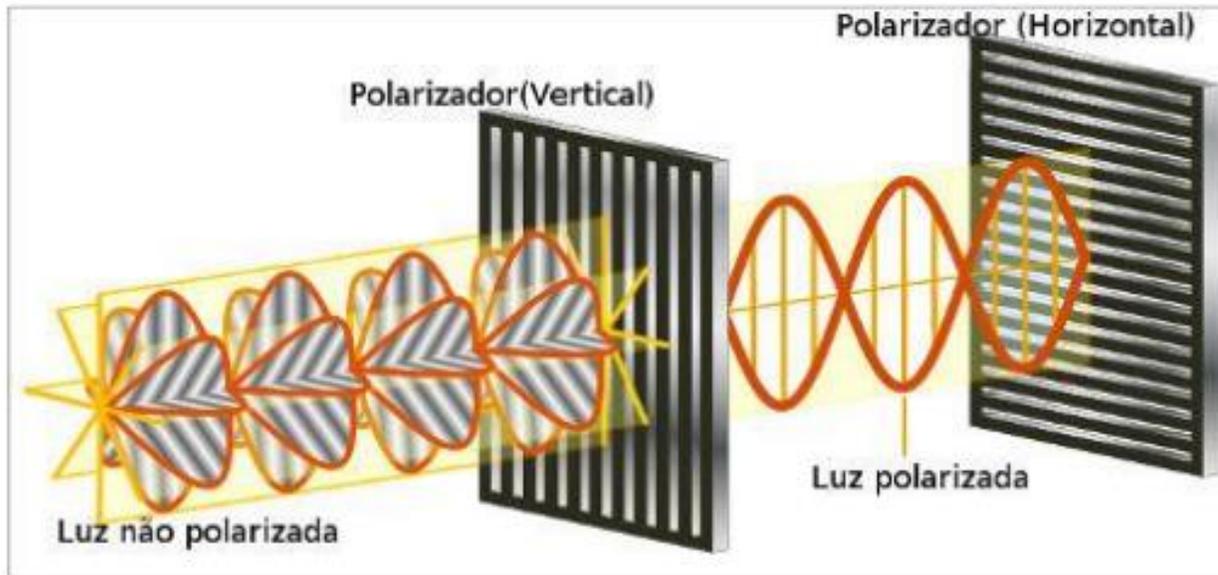


- Podemos explicar o espalhamento e a difração usando este princípio



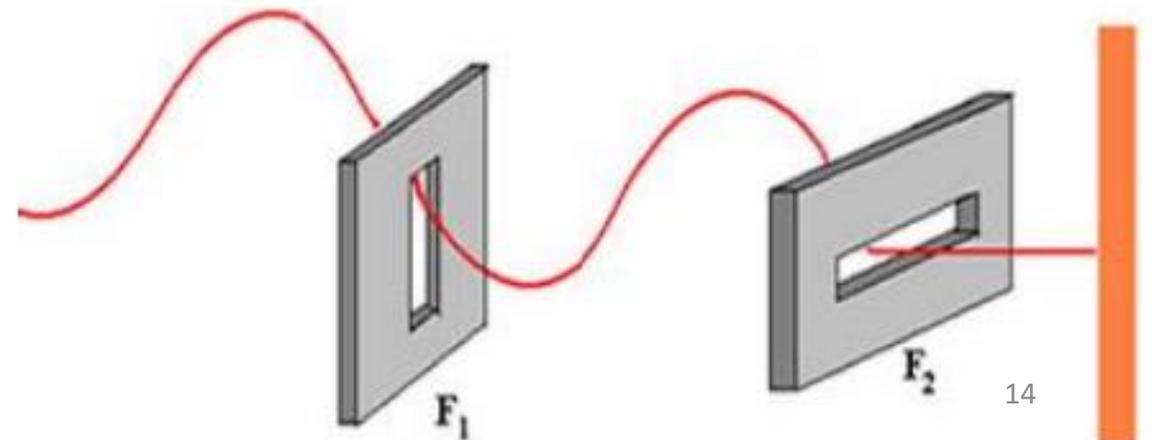
Quanto maior a frequência maior o espalhamento. Os pontos entorno das partículas se comportam como fontes.

### 3. POLARIZAÇÃO



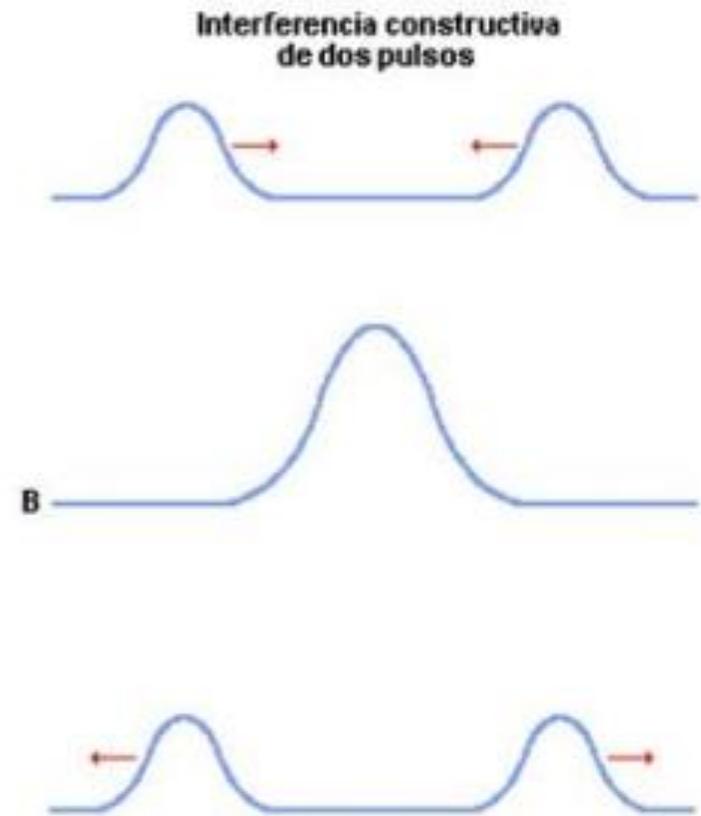
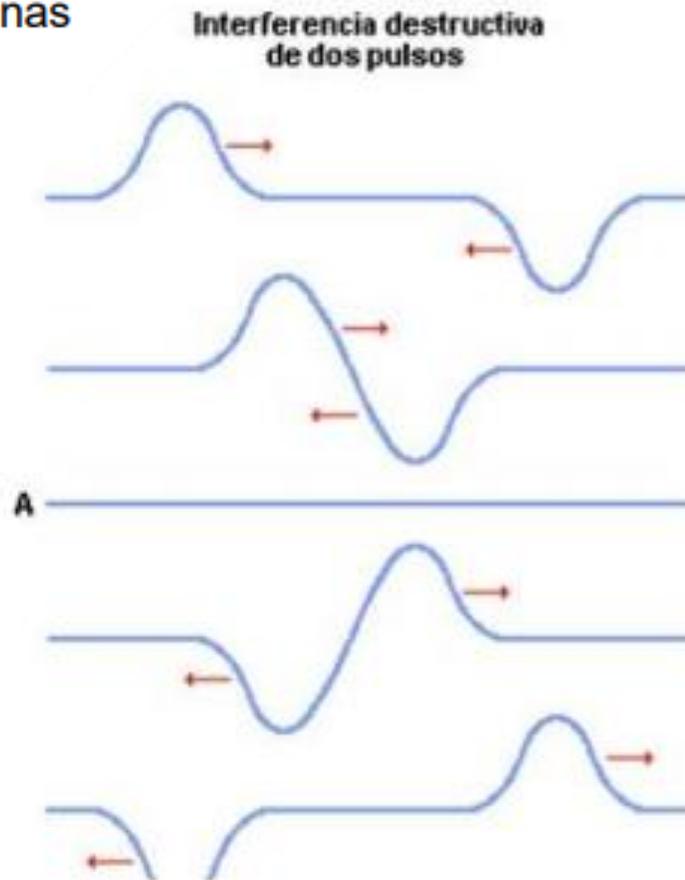
- Só podemos polarizar ondas transversais
- Um polarizador funciona como um filtro permitindo a passagem de uma parte da onda que oscila em direção específica
- É muito usado em óptica (display de calculadora, lentes etc.)

- Só podemos polarizar ondas transversais
- Um polarizador funciona como um filtro permitindo a passagem de uma parte da onda que oscila em direção específica
- É muito usado em óptica (display de calculadora, lentes etc.)



# INTERFERÊNCIA DE ONDAS

- Sabemos que uma onda pode ser descrita matematicamente através de funções
- Da experiência, sabemos que quando duas ondas se superpõem, o resultado equivale à soma das duas funções que descrevem as duas ondas
- Não faremos isso matematicamente, apenas geometricamente







- Quando duas ondas estão em fase e se interferem, a amplitude final será a soma das duas ondas e chamamos isso de **interferência construtiva**
- Quando duas ondas estão em oposição de fase se superpõem (interferem), a amplitude resultante será a diferença das duas amplitudes e a isso chamamos de **interferência destrutiva**. Particularmente, se as duas ondas possuem a mesma amplitude, quando a amplitude resultante é zero, chamamos isso de **interferência totalmente destrutiva**.
- É importante destacar que a interferência é local: as duas ondas seguirão seus caminhos, após interagirem uma com a outra, como se nada tivesse acontecido.
- Se as duas ondas que interferirem possuírem frequências próximas, ocorrerá um fenômeno chamado de batimento cuja frequência será  $f_{bat}$ .

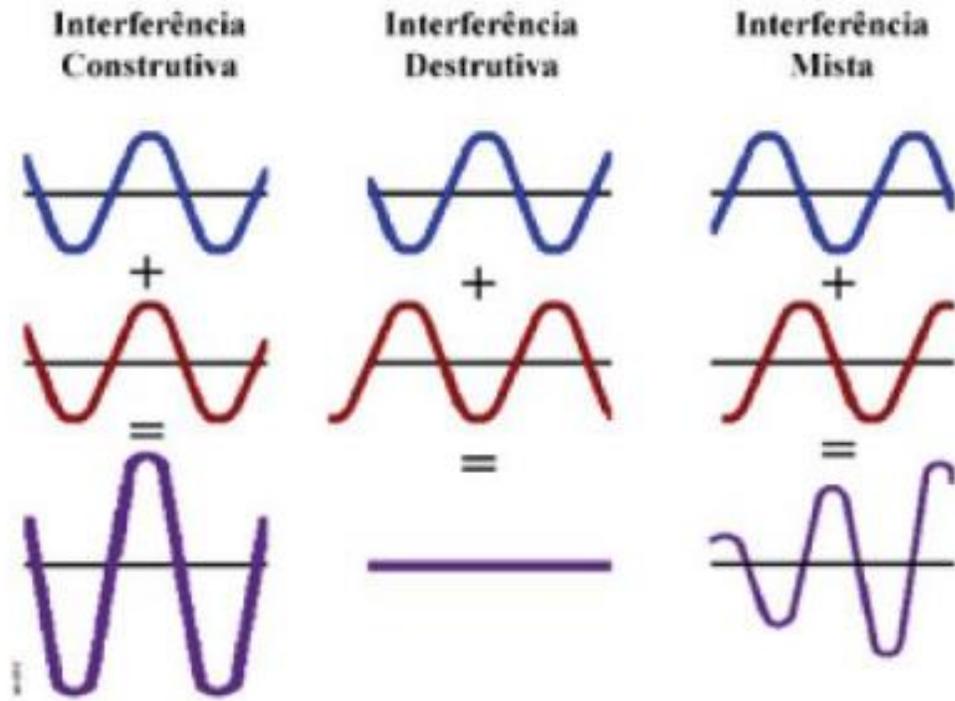
<https://onlinetonegenerator.com/>

$$f_{bat} = |f_1 - f_2|$$

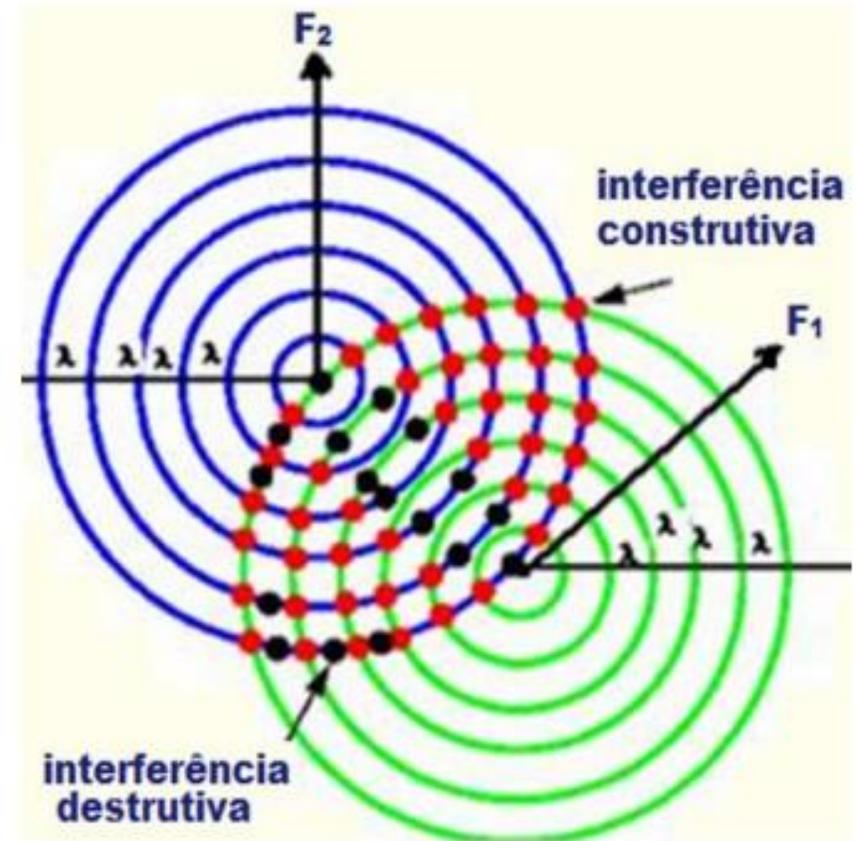
Enquanto a onda resultante terá frequência  $f_{result}$  dada por

$$f_{result} = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

Observe alguns casos de interferências:



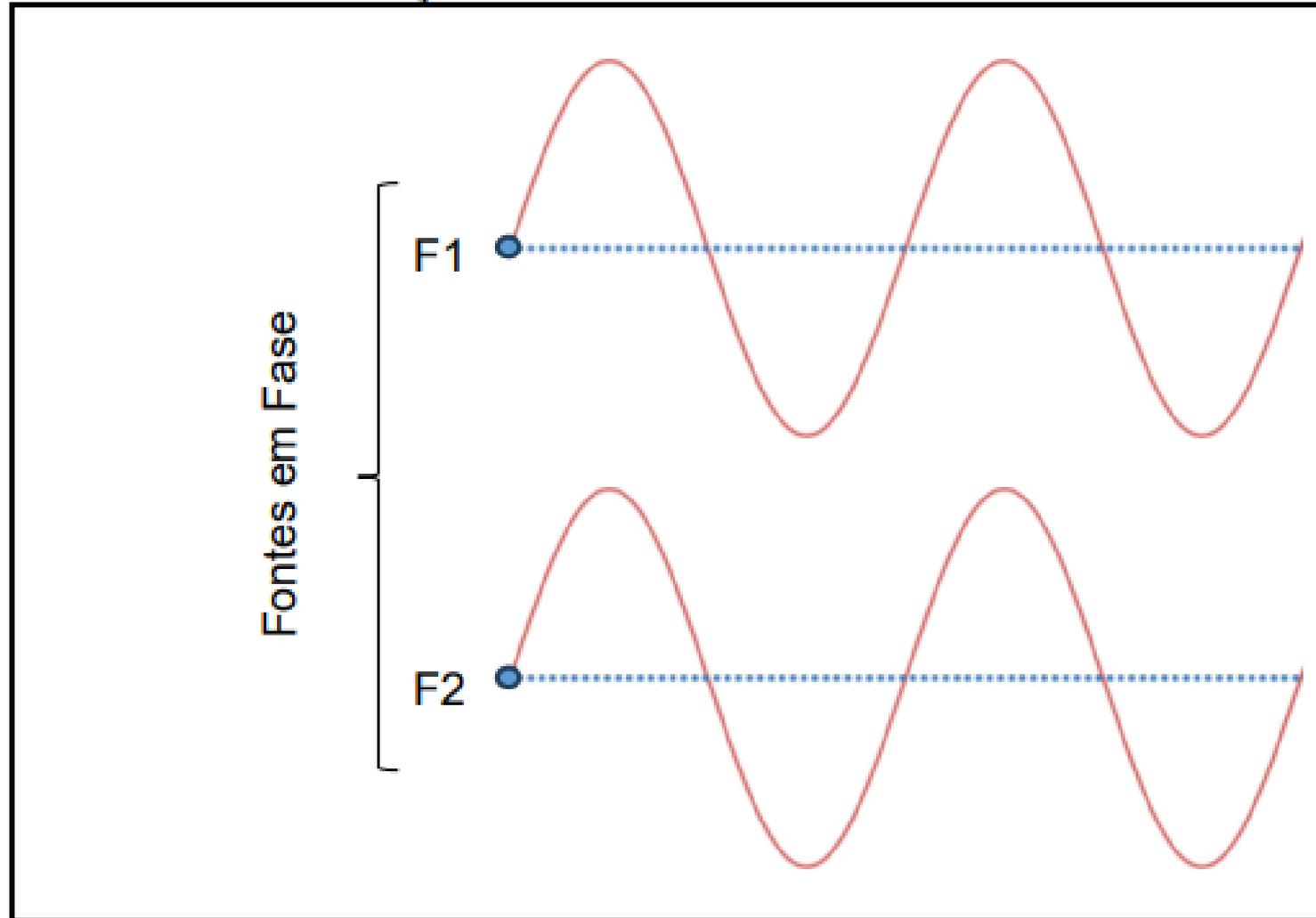
Em representação bidimensional, os vales são representados por linhas pontilhadas e as cristas por linhas cheias



Sabemos que ondas podem ser descritas matematicamente, assim a interferência entre duas ondas corresponde à soma das funções que descrevem ambas as ondas.

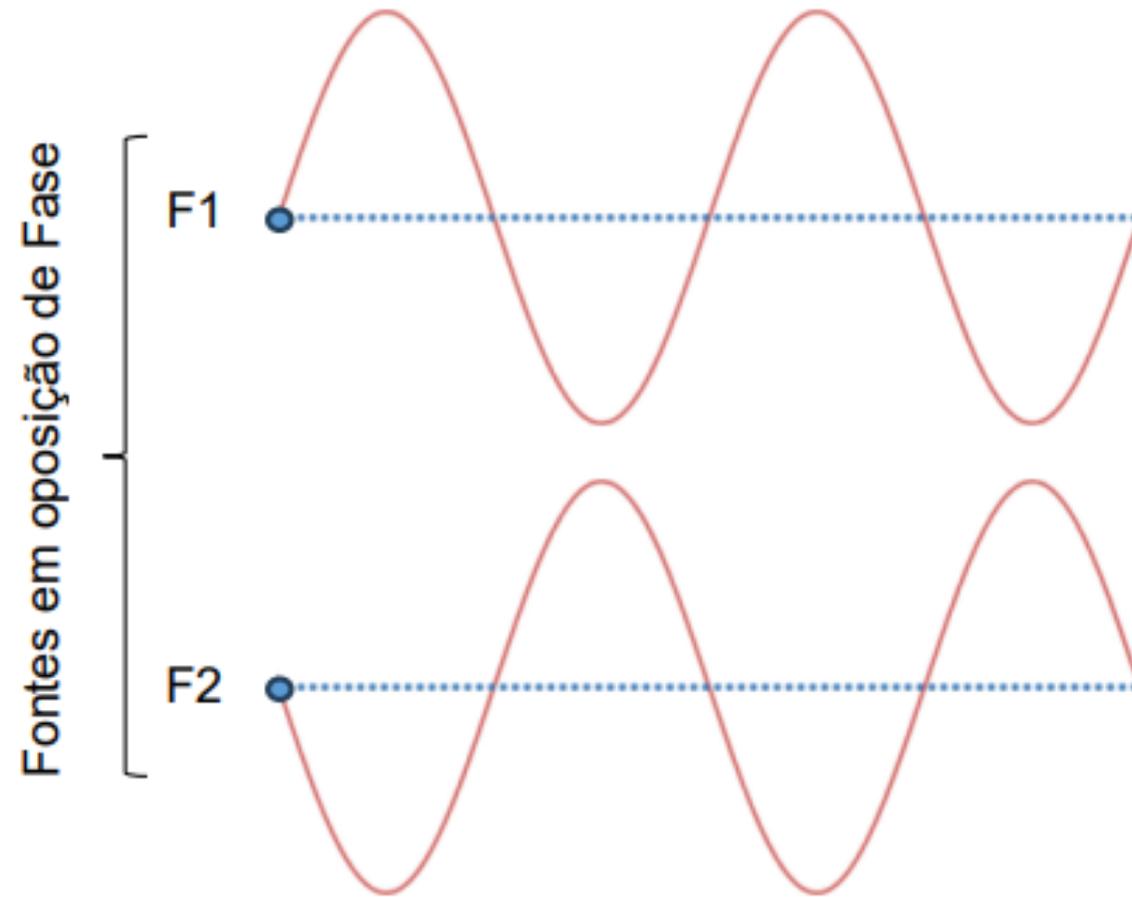
Quando temos ondas unidimensionais, a solução é mais simples: basta sobrepor as duas ondas. Já no caso de interferência bidimensional, a situação é um pouco mais complicada.

Q. 1 – DIFERENÇA DE FASE INICIAL: FONTES EM FASE

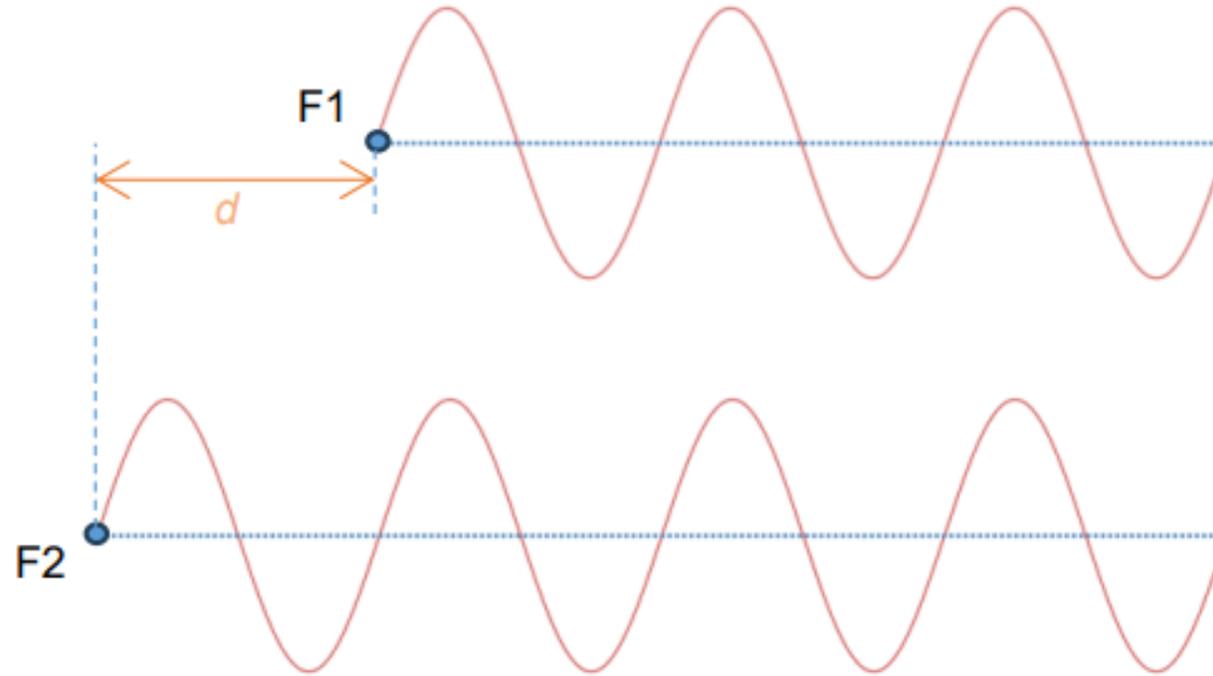


## Q. 2– DIFERENÇA DE FASE INICIAL: OPOSIÇÃO DE FASE

Equivale a uma diferença de percurso de meio comprimento de onda.



### Q. 3– DIFERENÇA DE FASE DEVIDO À DIFERENÇA DE CAMINHO



Sendo  $d$  a diferença de caminho percorridos pelas ondas emitidas pelas duas fontes, 1 e 2. Podemos encontrar o equivalente em comprimentos de onda fazendo uma regra de três:

$$\frac{\lambda}{d} = \frac{2\pi}{x} \Rightarrow x = \frac{d}{\lambda} \cdot 2\pi$$

## Q. 4 – DIFERENÇA DE FASE DEVIDO À REFLEXÃO

Sempre que houver inversão de fase na reflexão, podemos considerar uma diferença de percurso de meio comprimento de onda ( $\lambda / 2$ ).

Normalmente o enunciado fornece esta informação, porém:

- Quando a luz vai de um meio menos refringente para um meio mais refringente, há inversão de fase na onda refletida.
  - Quando uma onda em uma corda vai de um meio onde a onda é mais rápida (corda mais fina) para uma corda onde a onda é mais lenta (corda mais grossa) a onda sofre inversão de fase.
  - Ainda em cordas, há inversão de fase quando a corda possui uma extremidade fixa e não há inversão quando a extremidade é livre.
- Refletores perfeitos para ondas sonoras e eletromagnéticas também provocam inversão de fase.

## Q. 5 – DIFERENÇA DE FASE TOTAL

Para determinar se há interferência construtiva ou destrutiva, devemos somar todas as diferenças de fase. Se o resultado for:

- Um múltiplo inteiro ( $0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, 4\lambda, 5\lambda, \dots$ ) de comprimentos de onda, então a interferência é construtiva;
- Se for um múltiplo semi-inteiro ( $\lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2, 7\lambda/2, \dots$ ) de comprimentos de ondas, então a interferência é destrutiva

# INTERFERÊNCIA DE ONDAS - EXEMPLO

## Apostila 6: “Interferência de ondas”

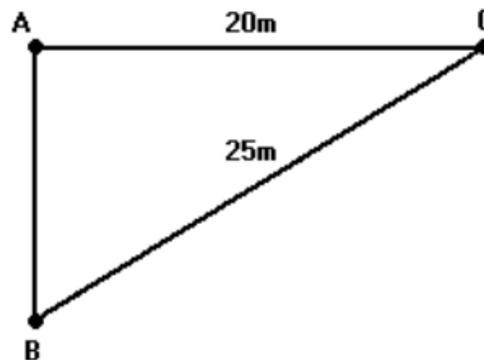
6

Ler menos



Um observador, situado no ponto O, recebe ondas sonoras emitidas por duas fontes situadas nos pontos A e B, idênticas, que emitem em oposição de fase.

A velocidade de propagação do som emitido pelas fontes é de 340 m/s e a frequência é de 170 Hz.



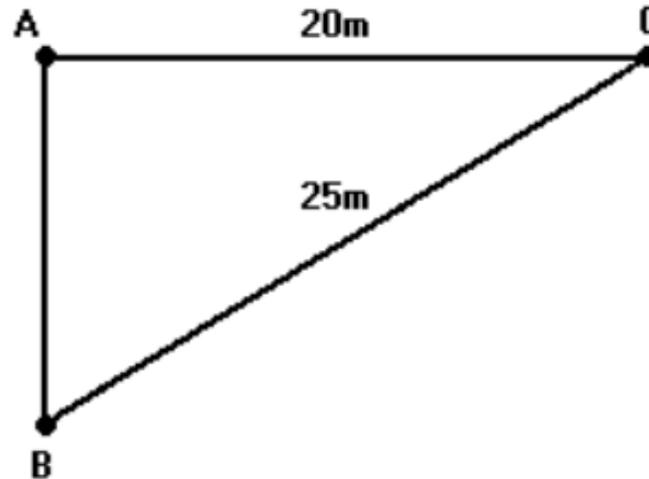
No ponto O ocorre interferência:

- a) Destrutiva e não se ouve o som emitido pelas fontes.
- b) Construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 170 Hz.
- c) Construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 340 Hz.
- d) Construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 510 Hz.
- e) Destrutiva e a frequência da onda sonora nesse ponto será de 340 Hz.



Um observador, situado no ponto O, recebe ondas sonoras emitidas por duas fontes situadas nos pontos A e B, idênticas, que emitem em oposição de fase.

A velocidade de propagação do som emitido pelas fontes é de 340 m/s e a frequência é de 170 Hz.



## INTERFERÊNCIA DE ONDAS - EXEMPLO

No ponto O ocorre interferência:

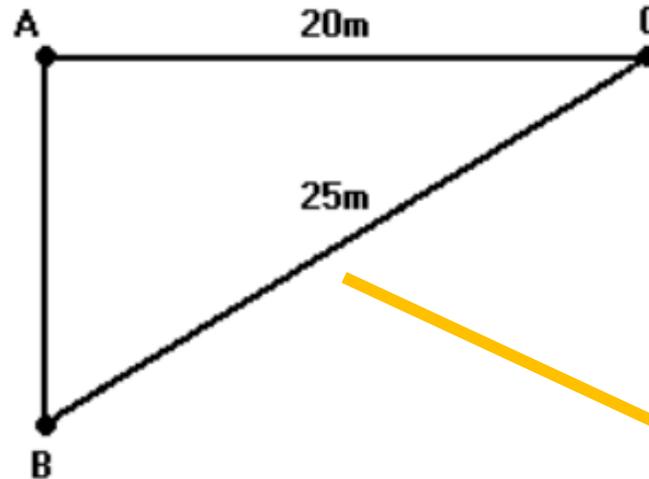
- Destrutiva e não se ouve o som emitido pelas fontes.
- Construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 170 Hz.
- Construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 340 Hz.
- Construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 510 Hz.
- Destrutiva e a frequência da onda sonora nesse ponto será de 340 Hz.

Apostila 6:

“Interferência de ondas”

Um observador, situado no ponto O, recebe ondas sonoras emitidas por duas fontes situadas nos pontos A e B, idênticas, **que emitem em oposição de fase.**  $\rightarrow \lambda / 2$

A velocidade de propagação do som emitido pelas fontes é de **340 m/s** e a frequência é de **170 Hz.**



$$\begin{cases} v_{som} = 340 \text{ m/s} \\ f = 170 \text{ Hz} \end{cases} \Rightarrow$$

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 340 = \lambda \cdot 170 \Rightarrow$$

$$\underline{\lambda = 2 \text{ m}}$$

$$d = 5 \text{ m} \Rightarrow \frac{d}{\lambda} = \frac{5}{2} = 2,5$$

comprimentos de onda

Defasagem TOTAL =

$$2,5\lambda + 0,5\lambda = 3\lambda$$

No ponto O ocorre interferência:

- a) Destrutiva e não se ouve o som emitido pelas fontes.
- b) Construtiva** e a frequência da onda sonora resultante será de **170 Hz.**
- c) **Construtiva** e a frequência da onda sonora resultante será de 340 Hz.
- d) Construtiva e a frequência da onda sonora resultante será de 510 Hz.
- e) **Destrutiva** e a frequência da onda sonora nesse ponto será de 340 Hz.