

# **Física 3**

(1/2015)

## *Teoria Ondulatória*

Aula 20

Carlos Eduardo Souza (Cadu)  
carlooseduardosouza@id.uff.br

Site: [cursos.if.uff.br/fisica3-0115/](http://cursos.if.uff.br/fisica3-0115/)

## Tarefa de Leitura

O que são frentes de onda?

Estudante 1 - “As frentes de onda representam as cristas da onda e estão espaçadas pelo comprimento de onda  $\lambda$ .”

Estudante 1 - “As frentes de onda representam as cristas da onda e estão espaçadas pelo comprimento de onda  $\lambda$ .”

## Tarefa de Leitura

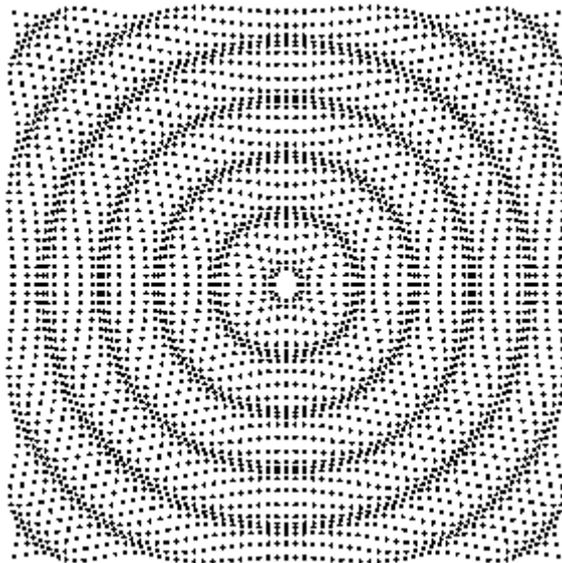
Considerando a interferência em 2D, o que são linhas nodais?

Estudante 1 - “Linhas nodais são as linhas onde ao longo delas ocorre a interferência destrutiva. Nelas não ocorrem oscilações e a intensidade é nula (observar figura 21.28).”

Estudante 2 - “São vibrações nas membranas (corpos flexíveis) definidas por linhas nodais, cujos pontos permanecem em repouso, ao invés dos nós. Como por exemplo: Uma chapa metálica (circular ou quadrada) é colocada sobre um vibrador, e em cima da chapa despeja-se areia fina.”

# Ondas em 2-3D

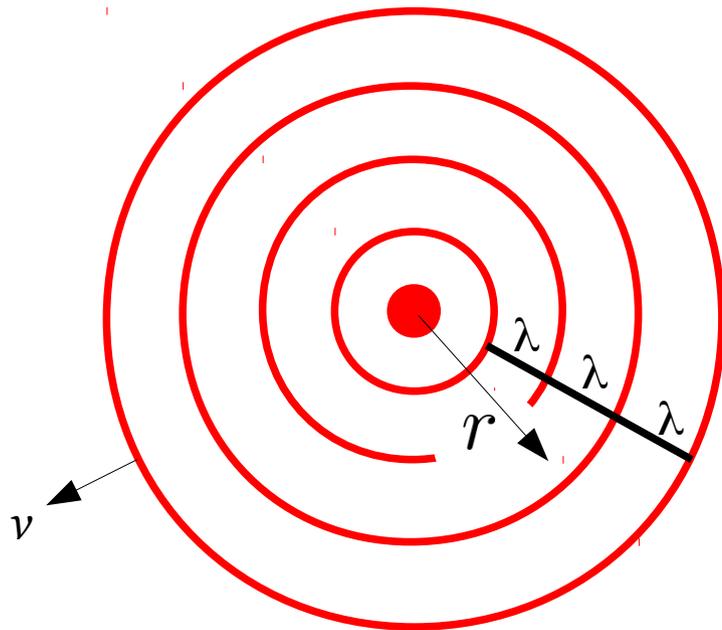
Ondas 2D produzidas por uma fonte pontual



As **frentes de Onda** são as cristas da onda. Elas são separadas por um comprimento de onda e se afastam da fonte com velocidade  $v$ .

# Ondas em 2-3D

Ondas 2D produzidas por uma fonte pontual



$$y(r, t) = A(r) \text{sen}(kr - \omega t + \phi_0)$$

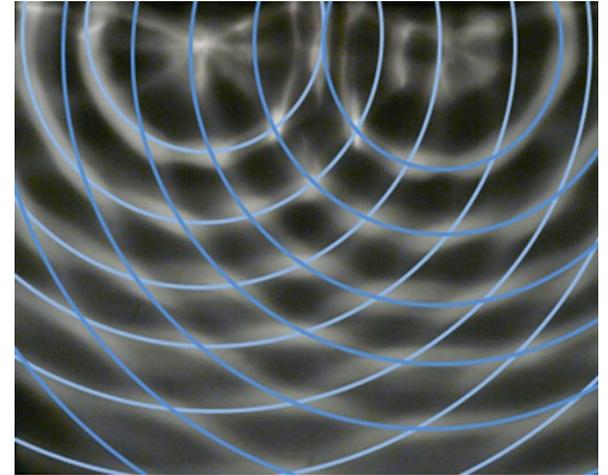
$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \text{distância com relação a fonte}$$

As Frentes de Onda são as cristas da onda. Elas são separadas por um comprimento de onda e se afastam da fonte com velocidade  $v$ .

# Ondas em 2-3D

## Interferência entre ondas: caso 2D

➔ O movimento das ondas não afeta a localização dos pontos de interferência destrutiva e construtiva.



$$\begin{aligned} Y(r, t) &= y_1 + y_2 \\ &= A \operatorname{sen}(kr_1 - \omega t + \phi_0) + A \operatorname{sen}(kr_2 - \omega t + \phi_0) \\ &= \boxed{2A \cos\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)} \operatorname{sen}(k\bar{r} - \omega t + \bar{\phi}) \\ &\quad \text{Amplitude} \end{aligned}$$

$$\operatorname{sen}(\alpha) + \operatorname{sen}(\beta) = 2 \cos\left(\frac{1}{2}(\alpha - \beta)\right) \operatorname{sen}\left(\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\right)$$

# Ondas em 2-3D

## Interferência entre ondas: caso 2D

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) + \phi_2 - \phi_1$$



$$\phi_2 - \phi_1 = 0 \quad \longrightarrow \quad \text{Fontes em Fase}$$

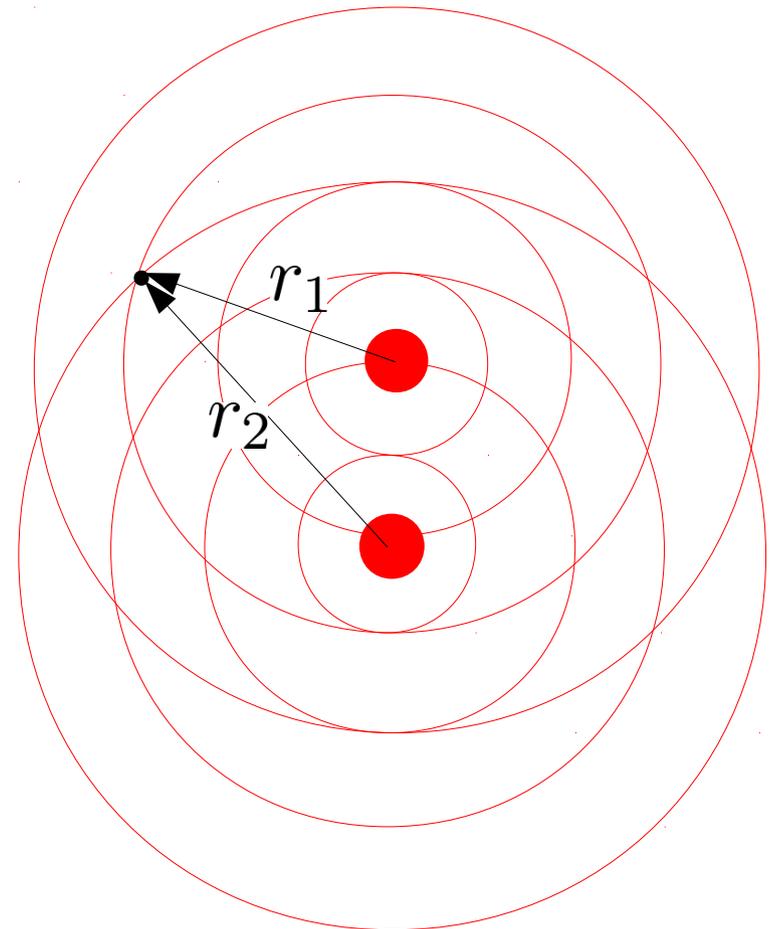
$$\frac{\Delta\varphi}{2} = m\pi \quad \longrightarrow \quad \text{Interferência construtiva}$$

$$\frac{\Delta\varphi}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\pi \quad \longrightarrow \quad \text{Interferência destrutiva}$$

# Ondas em 2-3D

Localizando os pontos de interferência: A diferença de caminho determina se a interferência em um determinado ponto é construtiva/destrutiva

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) \\ &= \frac{2\pi}{\lambda}(\Delta r)\end{aligned}$$



**Fontes em Fase**

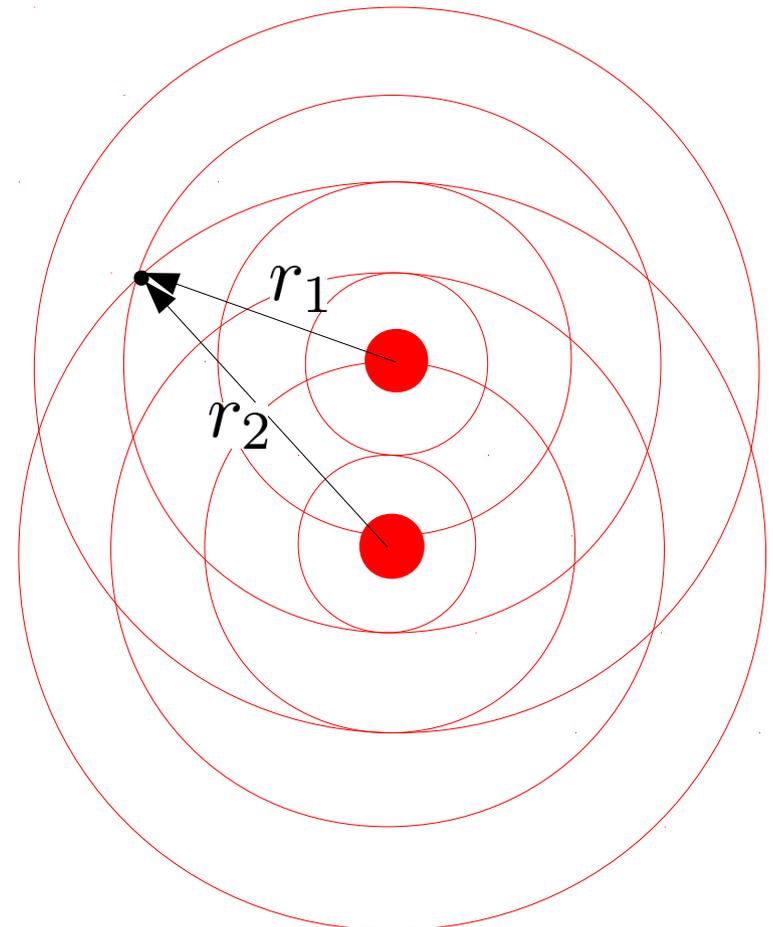
# Ondas em 2-3D

Localizando os pontos de interferência: A diferença de caminho determina se a interferência em um determinado ponto é construtiva/destrutiva

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) \\ &= \frac{2\pi}{\lambda}(\Delta r)\end{aligned}$$

$$\frac{\Delta\varphi}{2} = m\pi \quad \rightarrow \quad \text{Int. Construtiva}$$

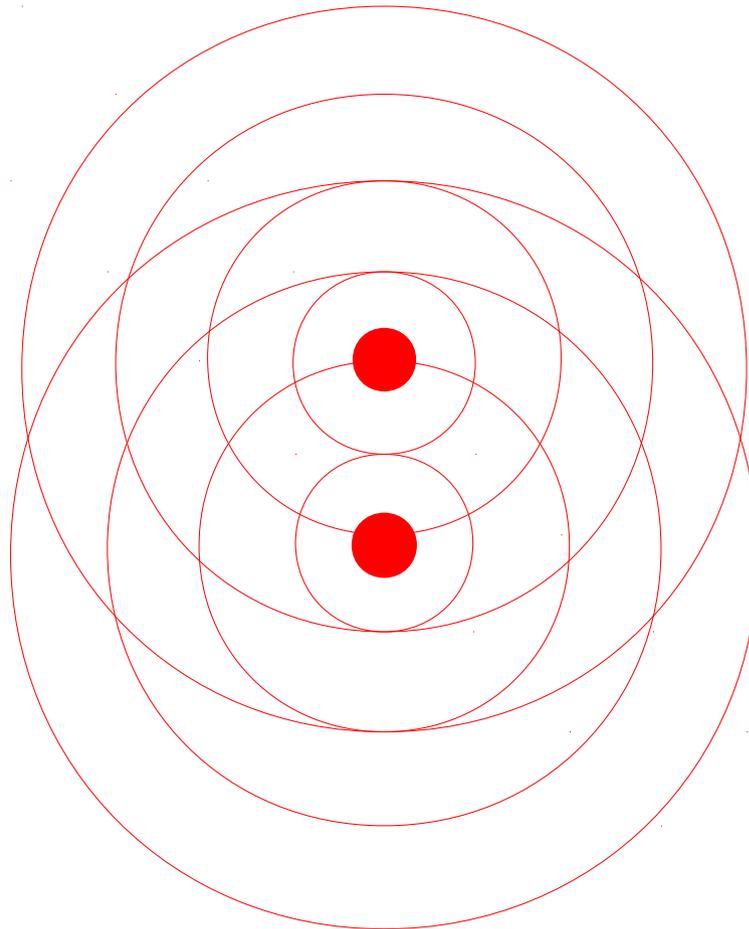
$$\frac{\Delta\varphi}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\pi \quad \rightarrow \quad \text{Int. Destrutiva}$$



**Fontes em Fase**

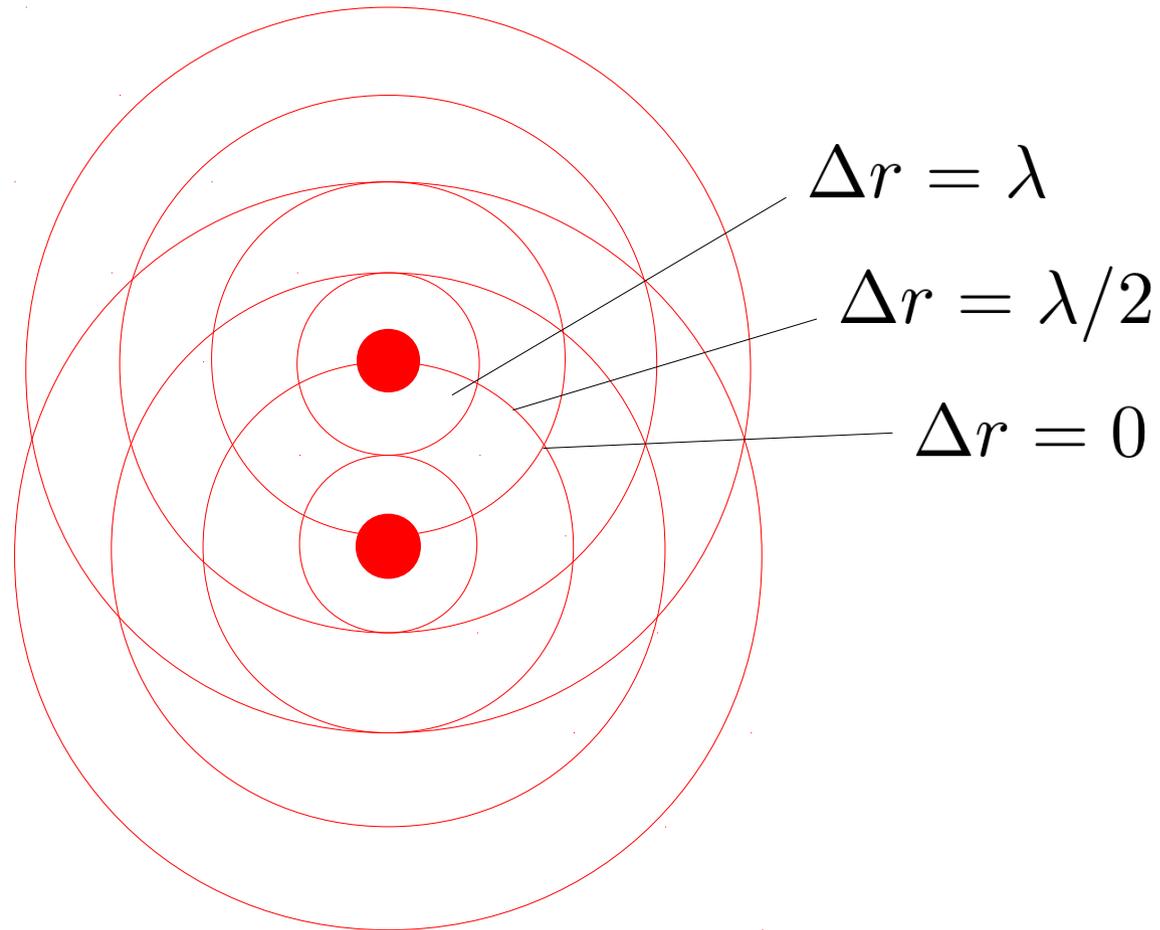
# Ondas em 2-3D

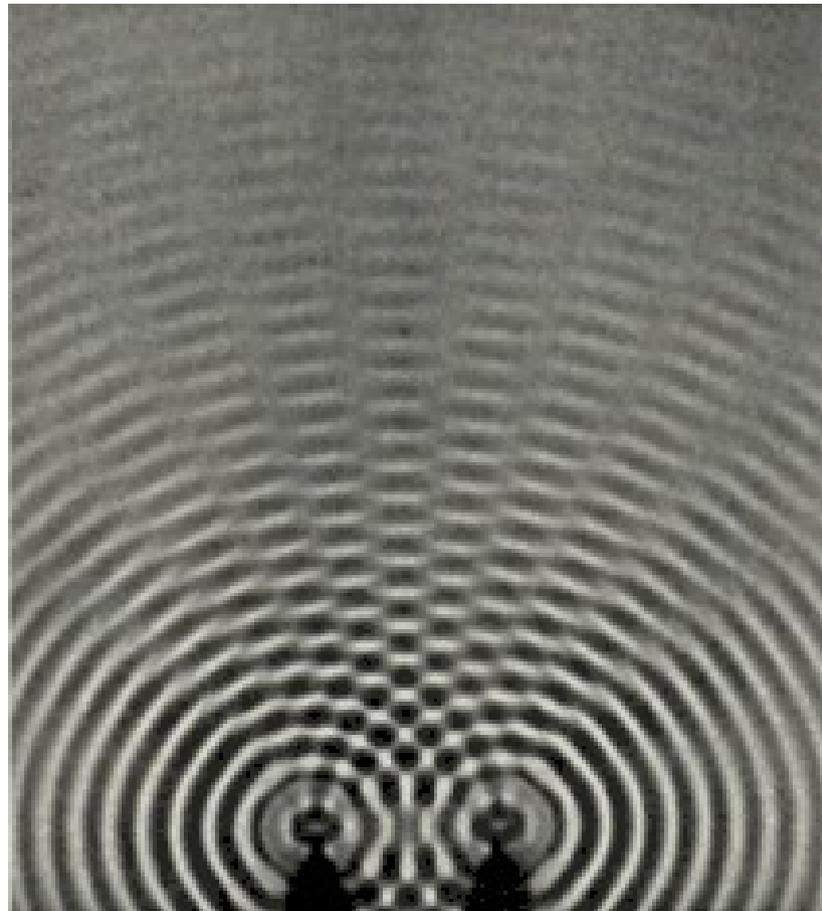
Problema 1: Desenhe as linhas antinodais (Int. Construtiva) e linhas nodais (Int. Destrutiva).



# Ondas em 2-3D

Problema 1: Desenhe as linhas antinodais (Int. Construtiva) e linhas nodais (Int. Destrutiva).





# Ondas em 2-3D

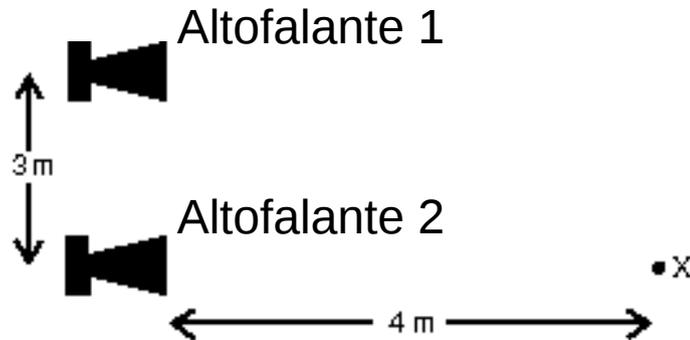
TC1 - Dois pequenos altofalantes idênticos são conectados (em fase) na mesma fonte. Os altofalantes estão 3,0m separados um do outro. Um observador está posicionado em x, a 4,0m em frente a um dos altofalantes (ver figura). Se as amplitudes das ondas sonoras permanecem inalteradas com relação às distâncias às fontes, o som ouvido pelo observador será menos intenso se o comprimento de onda for:



- (A) 1m      (B) 2m      (C) 3m      (D) 4m

# Ondas em 2-3D

TC2 - Dois pequenos altofalantes idênticos são conectados (em fase) na mesma fonte. Os altofalantes estão 3,0m separados um do outro. Um observador está posicionado em x, a 4,0m em frente a um dos altofalantes (ver figura). Se as amplitudes das ondas sonoras permanecem inalteradas com relação às distâncias às fontes, o som ouvido pelo observador será mais intenso se o comprimento de onda for:



- (A) 4m      (B) 3m      (C) 2m      (D) 1m

# **Batimentos**

# Ondas em 2-3D

TC3 – “Batimentos” sonoros se referem a

- (A) Interferência de duas ondas de mesma frequência
- (B) Combinação de duas ondas de frequências ligeiramente diferentes
- (C) Inversão de fase relativa a reflexão de uma onda
- (D) Efeito do movimento relativo entre a fonte e o observador

# Ondas em 2-3D

TC4 – O maior número de batimentos por segundo será ouvido em qual dos pares de diapasões ressonantes abaixo?

- (A) 200 e 201 Hz
- (B) 256 e 260 Hz
- (C) 763 e 774 Hz
- (D) 8420 e 8422 Hz

## Tarefa de Leitura

O que é batimento?

Estudante 1 - “São modulações da intensidade, alternadamente, de alta para baixa e vice-versa que ocorrem quando duas ondas de frequência ligeiramente diferentes são sobrepostas.”

## Tarefa de Leitura

O que é frequência de batimento?

**Estudante 1** - “A frequência de batimento é o número de batimentos por segundo, ou simplesmente, a diferença entre as duas frequências individuais:

$$f_{\text{bat}} = f_1 - f_2,$$

com  $f_1$  sendo a maior das duas frequências.”

**Estudante 2** - “Como a amplitude da onda gerada por duas ondas de frequência é varia, cada ciclo de volume equivale a um batimento. A frequência de batimento é o numero de batimentos por segundo. ”

# Batimento

**Batimentos: interferência entre duas ondas com frequências diferentes**

$$y_1 = A \text{sen}(k_1 x - \omega_1 t + \phi_1)$$

$$y_2 = A \text{sen}(k_2 x - \omega_2 t + \phi_2)$$



Supondo (para simplificação dos cálculos):

1. Ponto de obs na origem  $\rightarrow x=0$
2. ondas com mesmas amplitudes  $A$
3. As duas fontes em fase
4. A fase das fontes são  $\phi_1 = \phi_2 = \pi$

# Batimento

**Batimentos: interferência entre duas ondas com frequências diferentes**

$$y_1 = A \operatorname{sen}(k_1 x - \omega_1 t + \phi_1)$$

$$y_2 = A \operatorname{sen}(k_2 x - \omega_2 t + \phi_2)$$


$$Y = y_1 + y_2 = 2A \cos(\omega_{mod}) \operatorname{sen}(\bar{\omega} t)^*$$

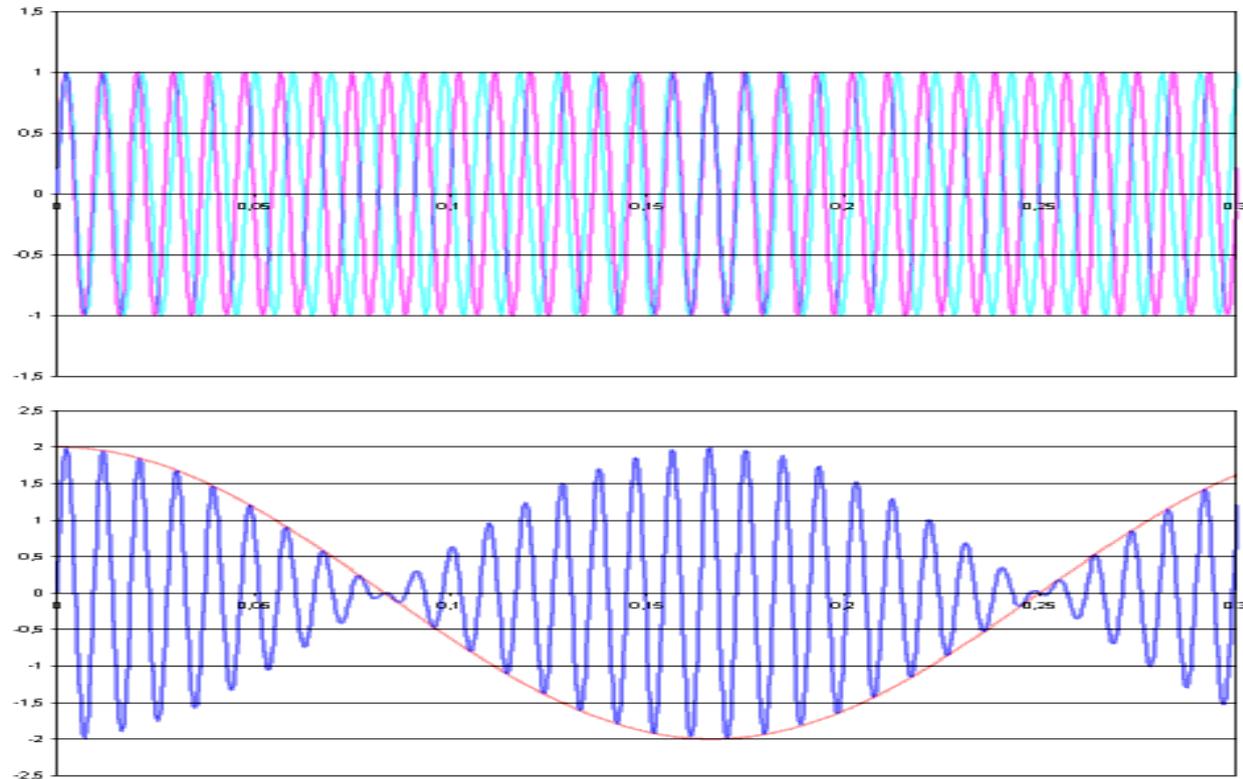
$$\omega_{mod} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \quad \text{→} \quad \text{Frequência de Modulação (baixa)}$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad \text{→} \quad \text{Frequência média (alta)}$$

$$*\operatorname{sen}(\alpha) + \operatorname{sen}(\beta) = 2 \cos \left( \frac{1}{2}(\alpha - \beta) \right) \operatorname{sen} \left( \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \right)$$

# Batimento

**Batimentos: interferência entre duas ondas com frequências diferentes**



$$Y = 2A \cos(\omega_{mod}) \sin(\bar{\omega}t)$$

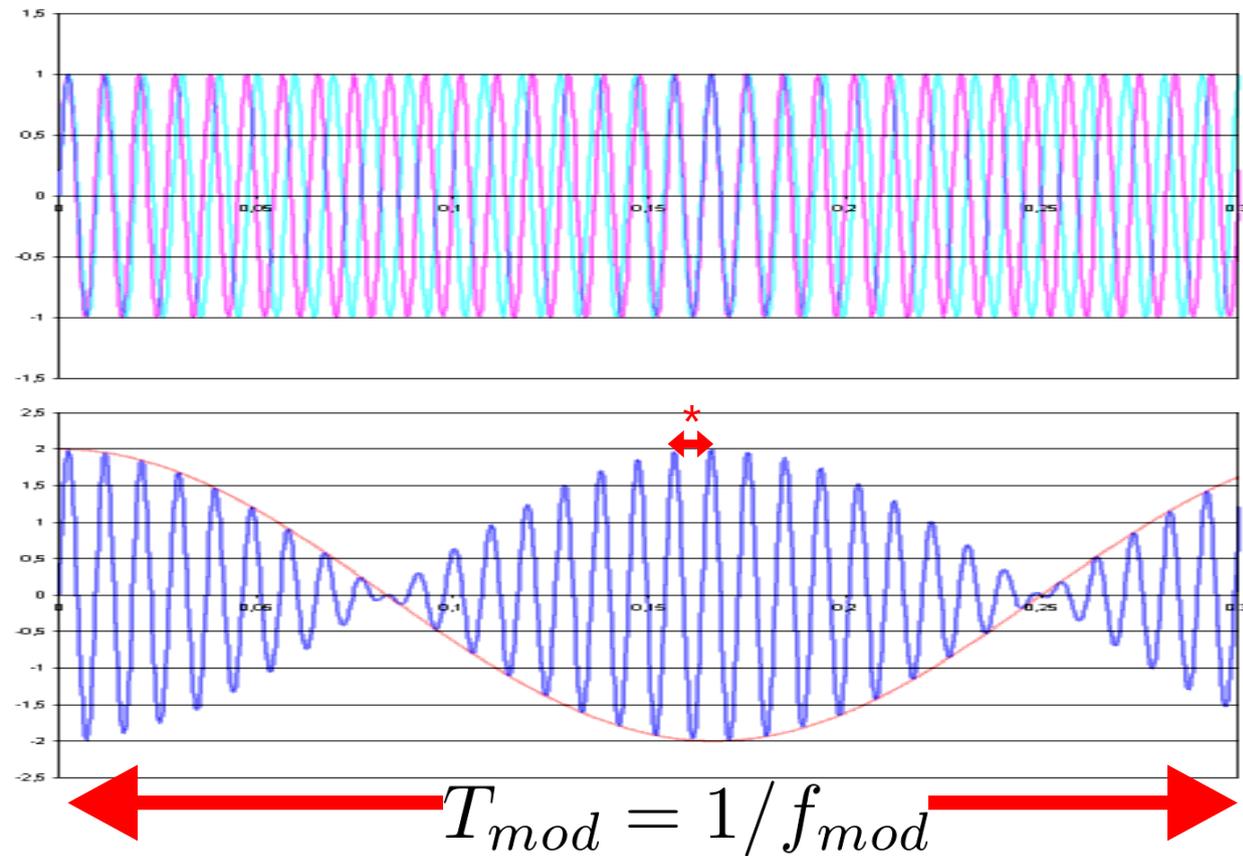
# Batimento

**Batimentos: interferência entre duas ondas com frequências diferentes**

$$* \bar{T} = 1/\bar{f}$$

$$Y = 2A \cos(\omega_{mod}) \text{sen}(\bar{\omega}t)$$

$$f_{bat} = 2f_{mod} = f_2 - f_1$$



# Batimento

TC5 – Duas cordas idênticas, **A** e **B**, têm quase a mesma tensão. Quando ambos vibram em seus modos de ressonância fundamentais, há um batimento de 3 Hz. A corda **B** é ligeiramente “apertada”, de forma a aumentar a sua tensão, até que a frequência de batimento torne-se 6 Hz. A frequência de batimento aumenta continuamente durante o procedimento de “aperto” da corda. Isso significa:

(A) que antes de apertar, **A** tinha uma frequência maior do que **B**, mas depois de apertar, **B** tem uma frequência maior do que **A**

(B) que antes de apertar, **B** tinha uma frequência maior do que **A**, mas depois de apertar, **A** tem uma frequência maior do que **B**

(C) que, antes e depois de apertar, a frequência de **A** sempre foi maior que a frequência de **B**

(D) que, antes e depois de apertar, a frequência de **B** sempre foi maior que a frequência de **A**