

**NOÇÕES DE MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (MHS) E ONDAS**

**Introdução**

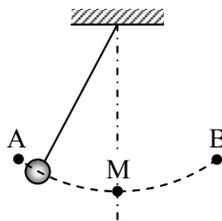
MHS é um movimento periódico de velocidade e aceleração variáveis.

**Movimento Periódico:**

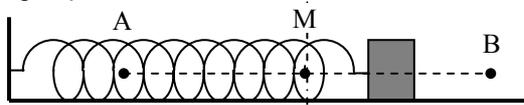
Um fenômeno é periódico quando se repete, identicamente, em intervalos de tempo iguais. O período T é o intervalo de tempo de repetição do fenômeno.

**EXEMPLOS:**

A. O movimento de um pêndulo: O período T é o intervalo de tempo para o pêndulo ir da posição A até a posição B e retorna à posição A.



B. O movimento de um bloco preso a uma mola (desprezadas as forças dissipativas): O período T é o intervalo de tempo para o bloco ir da posição A até a posição B e retorna à posição A.



Nos fenômenos periódicos, além do período T, consideramos uma outra grandeza, a frequência f.

Chama-se frequência f o número de vezes que o fenômeno se repete por unidade de tempo.

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

A unidade de frequência no sistema internacional (ciclos por segundo) é o hertz (símbolo: Hz).

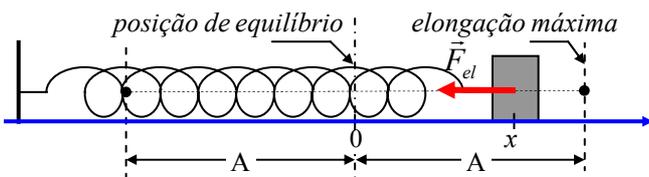
**MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (MHS)**

Diz-se que um ponto material efetua um movimento harmônico simples (MHS) quando, numa trajetória retilínea, oscila periodicamente em torno de uma posição de equilíbrio sob a ação de uma força cuja intensidade é proporcional à distância do ponto à posição de equilíbrio. Essa força é sempre orientada para a posição de equilíbrio e chama-se **força restauradora**.

O exemplo B é um MHS, onde a força elástica  $F_{el} = -kx$ , é a força restauradora.

**Elementos do MHS**

- **Elongação(x):** é dada pela abscissa x, medida num eixo orientado a partir da posição de equilíbrio.
- **Amplitude(A):** é a distância da posição de equilíbrio até o extremo da elongação.



**Observações:**

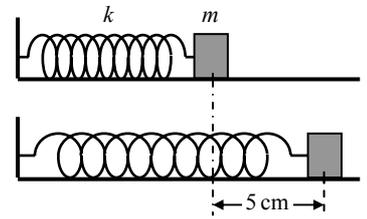
- Nos extremos da oscilação ( $x = +A$  ou  $x = -A$ ) há inversão de sentido do movimento, a velocidade se anula e a aceleração é máxima ( $F_{el}$  é máxima).
- Na posição de equilíbrio ( $x = 0$ ) a velocidade é máxima e a aceleração é nula.
- No oscilador harmônico do exemplo B (sistema massa-mola) o período de oscilação é dado por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

O período do MHS depende da massa m do ponto material em movimento e da constante elástica k, mas não depende da amplitude da oscilação.

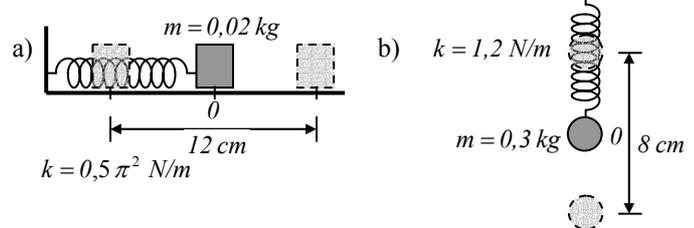
**TESTE DE SALA:**

T01. O ponto material da figura tem massa  $m = 1,2$  kg e está preso à mola de constante elástica  $k = 0,3\pi^2$  N/m. Por meio de uma ação externa, distende-se a mola de 5 cm, abandonando-se o conjunto que começa a oscilar, efetuando um MHS na ausência de forças dissipativas. Determine o período, a frequência e a amplitude do movimento.

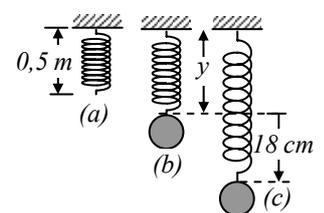


**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

P01. Determine o período, a frequência e a amplitude dos MHS indicados a seguir. A posição de equilíbrio corresponde ao ponto 0, sendo indicado os extremos da oscilação. Não há forças dissipativas.



P02. Uma mola tem constante elástica igual a 1,6 N/m e comprimento 0,5 m quando não solicitada (fig. a). Coloca-se em sua extremidade, um corpo de massa  $m = 0,1$  kg (fig. b).

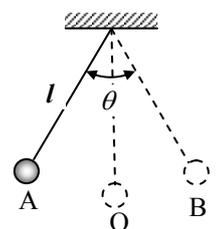


- Determine a posição de equilíbrio da mola, medida em relação ao teto.
- Puxa-se o corpo 18 cm da posição de equilíbrio, abandonando-o a seguir, no instante  $t = 0$  (fig. c). após quanto tempo o corpo retorna a essa posição? Qual a amplitude de seu movimento? Qual o comprimento mínimo que passa a mola, medido a partir do teto? Adote  $g = 10$  m/s<sup>2</sup> e despreze as forças dissipativas.

**Pêndulo Simples**

Pêndulo simples é um sistema constituído por uma partícula de massa m, suspensa por um fio ideal de comprimento l.

- Para pequenas oscilações, de abertura não superior a 10°, a esfera pendular realiza MHS.
- O período desse MHS é  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ,



onde l é o comprimento do fio e g é a aceleração local da gravidade.

**TESTE DE SALA:**

**T02.** (Fuvest-SP) O pêndulo de Foucault – popularizado pela famosa obra de Umberto Eco – consistia de uma esfera de 28 kg, pendurada na cúpula do Pantheon de Paris por um fio de 67 m de comprimento. Sabe-se que o período  $T$  de oscilação de um pêndulo simples é relacionado com seu comprimento  $l$  e com a aceleração da gravidade  $g$  pela seguinte expressão:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

- Qual o período de oscilação do pêndulo de Foucault? Despreze as frações de segundos.
- Que aconteceria com o período desse pêndulo se dobrássemos a sua massa? (Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

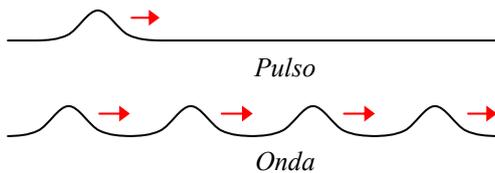
**EXERCÍCIO PROPOSTO:**

**P03.** Um Pêndulo simples realiza pequenas oscilações de período igual a 4π s. Determine seu comprimento. A aceleração local da gravidade é  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

**NOÇÕES DE ONDAS**

Uma onda é o movimento causado por uma perturbação que se propaga em um meio transportando apenas energia sem o transporte de matéria.

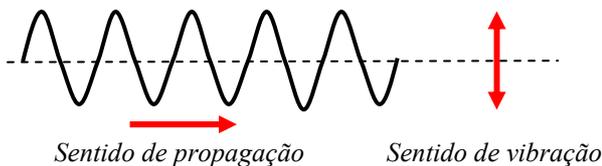
Toda onda tem uma fonte que emite pulsos, uma onda pode ser considerada como um conjunto de pulsos.

**Classificação das ondas****Quanto a sua natureza:**

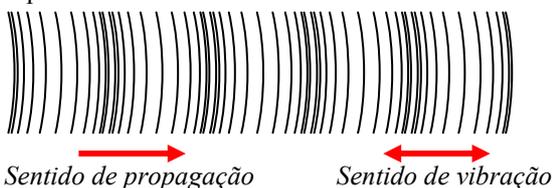
- Ondas mecânicas** – são aquelas que precisam de um meio material para se propagar.  
Exemplos: Ondas em uma corda e ondas sonoras.
- Ondas eletromagnéticas** - são geradas por cargas elétricas oscilantes e não necessitam de um meio material para se propagar, podem se propagar no vácuo.  
Exemplos: ondas de rádio, de televisão, de raio X, micro-ondas e etc.

**Quanto à direção de vibração:**

- Onda transversal** – a vibração do meio é perpendicular à direção de propagação.  
Exemplos: Ondas em uma corda e ondas luminosas.



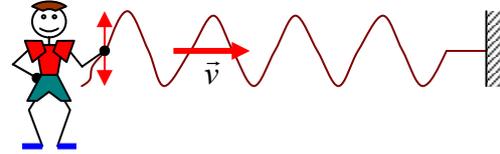
- Onda longitudinal** – a vibração do meio ocorre na mesma direção que a propagação.  
Exemplo: ondas sonoras no ar.

**Velocidade de propagação de uma onda em uma corda**

Considere uma corda de massa  $m$  e comprimento  $l$ , sob a ação de uma força  $F$ .

A velocidade da onda (de qualquer onda) só depende das propriedades do meio e no caso da corda é dada por:

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



Onde:

- $F$  = força de tração na corda
- $\mu = \frac{m}{l}$  é a densidade linear da corda

**TESTE DE SALA:**

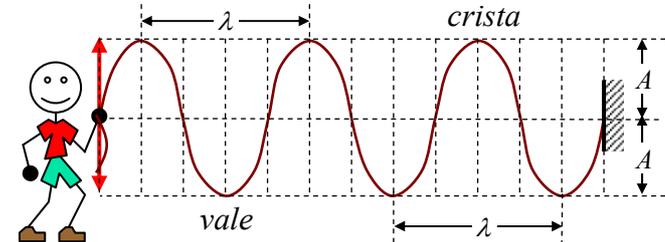
**T03.** Uma corda flexível de 80 cm e massa 100 g é tracionada por uma força de 50 N. Determine a velocidade de propagação da onda na corda.

**EXERCÍCIO PROPOSTO:**

**P04.** A corda de um instrumento musical possui massa igual a 40 g e encontra-se presa, horizontalmente, a dois pontos fixos separados por 40 cm. Aplicando-se uma tensão de módulo igual a 10 N, a corda vibra. Calcule a velocidade de propagação de uma onda nessa corda.

**Elementos de uma onda**

Considere uma pessoa executando um movimento de sobe e desce na extremidade livre de uma corda, em intervalos de tempo iguais.



- Amplitude da onda (A):** são os máximos da elongação do movimento vibratório.
- Comprimento de onda ( $\lambda$ ):** é a distância entre dois pontos correspondentes (em fase).
- Período de uma onda (T):** é o intervalo de tempo gasto para se completar uma vibração.
- Frequência de uma onda (f):** é o número de vibrações por intervalo de tempo.

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

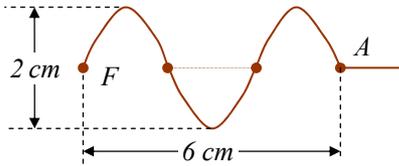
- Velocidade da onda (v):** depende do meio onde a onda se propaga.

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{n \cdot \lambda}{n \cdot T} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \lambda \cdot f$$

$$v = \lambda \cdot f$$

**TESTE DE SALA:**

**T04.** Uma fonte F presa à extremidade de uma corda tensa produz as ondas representadas na figura.

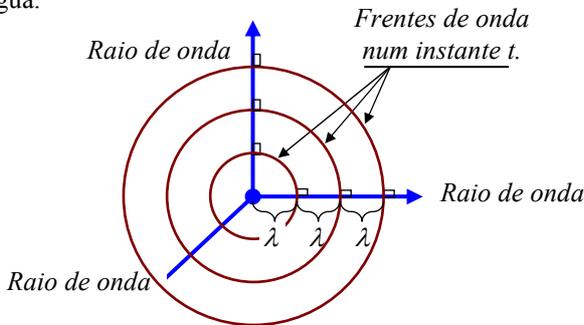


- Qual o comprimento de onda das ondas produzidas pela fonte?
- Qual a amplitude das ondas?
- Sabendo que o ponto A da corda foi atingido 9 s após o início das oscilações da fonte, determine o período e a velocidade de propagação das ondas ao longo da corda.

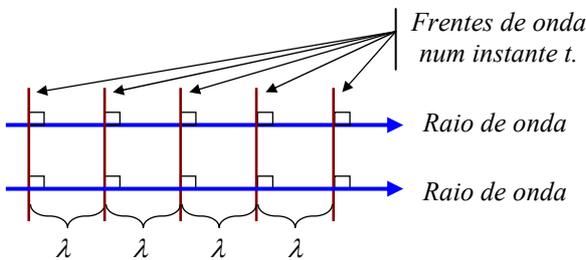
**Frente de onda e raio de onda**

Quando produzimos uma perturbação num meio, ela se propaga a outros pontos desse meio. Aos pontos que sofreram essa perturbação em certo instante, chamamos de **frente de onda**. A trajetória dos pontos da frente de onda é denominada **raio de onda**.

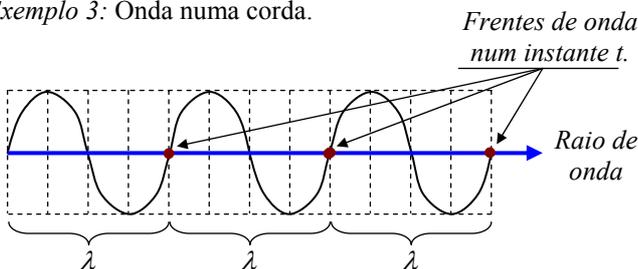
Obs: os raios e as frentes de onda são sempre perpendiculares.  
Exemplo 1: Onda criada por um gotejamento numa poça d'água.



Exemplo 2: Onda produzida pelo batimento de uma régua na superfície de um aquário.



Exemplo 3: Onda numa corda.



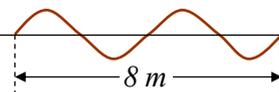
**TESTES DE SALA:**

**T05.** As ondas mecânicas são movimentos oscilatórios que se propagam em um meio elástico. Considere uma onda de frequência 20 Hz, propagando-se com velocidade de 300 m/s. Qual o comprimento dessa onda em metros?

**T06.** Um fio de massa 0,4 kg e de comprimento 8 metros vibra com frequência de 20 Hz, conforme a figura a seguir:

Determine:

- O comprimento de onda da onda na corda;
- A velocidade de propagação dessa onda;



c) A intensidade da força tensora no fio.

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

**P05.** Qual a velocidade de propagação de um movimento ondulatório, sabendo-se que o comprimento de onda é de 40 cm e a frequência é de 200 Hz?

**P06.** Na superfície de um líquido em um recipiente são geradas dez ondas por segundo. Sabendo que a distância entre duas cristas consecutivas é de 5,0 cm, determine a velocidade e o período das ondas.

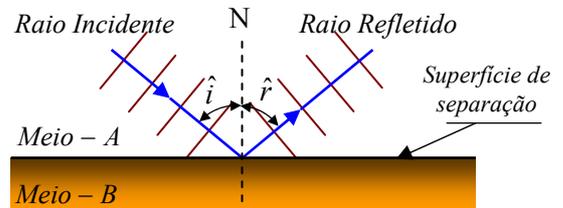
**Fenômenos ondulatórios**

**Reflexão**

Quando uma onda se propaga num dado meio e encontra uma superfície que separa desse meio de outro, essa onda pode, parcialmente ou totalmente, retornar ao meio que estava se propagando. Esse fenômeno é chamado de **reflexão**.

**Leis da Reflexão**

- 1ª. O raio incidente "RI", o raio refletido "RR" e a normal "N" pertencem ao mesmo plano.
- 2ª. O ângulo de reflexão "r" é igual ao ângulo de incidência "i":  $i = r$



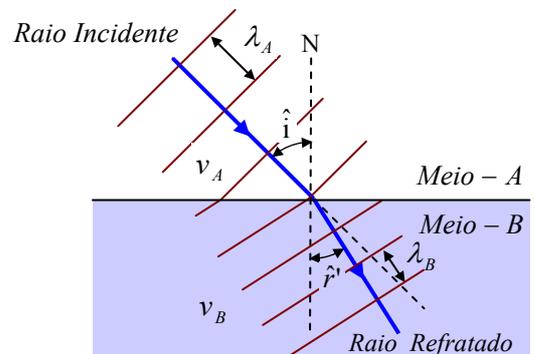
Na reflexão, a frequência, a velocidade de propagação e o comprimento de onda não variam.

**Refração**

Quando uma onda passa de um meio para outro, chamamos a esse fenômeno de **refração**.

**Leis da Refração**

- 1ª. Lei: O raio incidente RI, o raio refratado RR e a normal N pertencem ao mesmo plano.
- 2ª. Lei:  $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r'} = \frac{v_A}{v_B}$



Uma onda ao passar de um meio para outro sofre alteração na sua velocidade v e no seu comprimento de onda λ. No entanto, a sua frequência f não se altera.

### **Interferência**

Num ponto pode ocorrer superposição de duas ou mais ondas, o efeito resultante é a soma dos efeitos que cada onda produziria sozinha nesse ponto.

### **Difração**

As ondas não se propagam obrigatoriamente em linha reta a partir de uma fonte emissora. Elas apresentam a capacidade de contornar obstáculos, desde que estes tenham dimensões comparáveis ao comprimento de onda.

### **Ressonância**

Quando um sistema vibrante é submetido a uma série periódica de impulsos cuja frequência coincide com a frequência natural do sistema, a amplitude de suas oscilações cresce gradativamente, pois a energia recebida vai sendo armazenada.

### **Polarização**

Polarizar uma onda significa orientá-la em uma única direção ou plano.

#### **TESTES DE SALA:**

**T07.** Conta-se que um famoso tenor italiano, ao soltar a voz num agudo, conseguia romper um copo de cristal. Como é possível explicar fisicamente essa ocorrência?

**T08.** As ondas luminosas também podem sofrer difração, como as ondas sonoras. Explique por que é mais fácil perceber a difração sonora do que a difração luminosa.

**T09.** Conta-se que na Primeira Guerra Mundial uma ponte de concreto desabou quando soldados, em marcha cadenciada, passaram sobre ela. Como é possível explicar essa ocorrência?

*Elaborado e editado pelo professor:*

*Adriano Lucciola do Valle*

[adrianodovalle@yahoo.com.br](mailto:adrianodovalle@yahoo.com.br)