

**FOLHA 10**

Neste material, veremos os assuntos a seguir, onde temos o título presente neste material, o título da lista no SisQ e um checkbox para você ir acompanhando o desenrolar do nosso conteúdo.

Todas as listas a seguir estão na apostila 5.

- Oscilações p. 1
  - Lista: Movimento Harmônico Simples
- Introdução ao estudo das ondas p. 4
  - Lista: Introdução ao estudo das ondas
- Reflexão e refração de ondas p. 6
  - Lista: Reflexão e refração de ondas



**Q. 1 – EXEMPLOS DE SISTEMAS OSCILANTES**

Balço, folhas em uma árvore quando está ventando, um objeto flutuando na água quando perturbado, um pêndulo etc.

**Q. 2 – OSCILAÇÕES PERIÓDICAS**

Quando o sistema oscilatório possui período e frequência bem definidos, dizemos que o sistema é periódico.

Exemplos: pêndulo simples, sistema massa-mola etc.

**SISTEMA MASSA-MOLA**

**Q. 3 – LEI DE HOOKE**

**Q. 4 – SISTEMA MASSA-MOLA**

**Q. 5 – PERÍODO E FREQUÊNCIA**

Período ( $T$ ):

$$T = \frac{\text{tempo para } n \text{ oscilações}}{n}$$

Frequência ( $f$ ):

$$f = \frac{n}{\text{tempo para } n \text{ oscilações}}$$

Note que a frequência é o inverso do período. Portanto:

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

PROFESSOR DANILO

MHS E INTRODUÇÃO AO ESTUDO DAS ONDAS – CORA CORALINA – 01/09/2023

Q. 6 – ENERGIA NO SISTEMA MASSA-MOLA

Lembremos da mecânica que a energia mecânica ( $E_{Mec}$ ) é a soma da energia cinética ( $E_{Cin}$ ) com a energia potencial ( $E_{Pot}$ ).

$$E_{Mec} = E_{Cin} + E_{Pot}$$

Lembremos também que a energia cinética é dada por:

$$E_{Cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

sendo  $m$  a massa e  $v$  a velocidade.

A energia potencial armazenada na forma de energia elástica em uma mola de constante elástica  $k$  e deformada de uma quantidade escalar  $x$ , é dada por:

$$E_{Pot} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Se não houver forças dissipativas, a energia mecânica é constante e um gráfico que representa a sua dependência com a posição é uma reta horizontal e constante.

Como a energia potencial depende do quadrado de  $x$ , o gráfico que representa a relação entre a energia potencial e a posição  $x$  é uma parábola de concavidade para cima e "xis do vértice" igual a zero.

Por fim, como a soma da energia cinética com a potencial deve ser constante, enquanto a potencial cresce, a cinética deve diminuir. Isso quer dizer que a forma do gráfico da energia cinética, como dependente de  $x$ , é uma parábola de concavidade para baixo e "xis do vértice" também nulo.

Isso pode ser visto na Figura 1.

Veja a Figura 1 onde é representada as energias cinética, potencial e mecânica de um sistema em Movimento Harmônico Simples (MHS). Esta figura não é válida apenas para o sistema massa-mola: outro exemplo de sistema em MHS é um pêndulo simples.

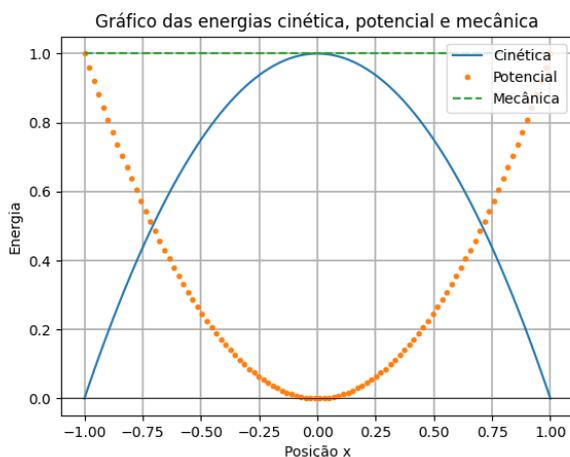


Figura 1: Energia no sistema MHS. Note que foi considerada uma amplitude unitária (1 m) e uma energia mecânica igual também a 1 J.

**PÊNDULO SIMPLES**

Q. 7 – DEFINIÇÃO, PERÍODO E FREQUÊNCIA

**REVISÃO DAS EQUAÇÕES DO MCU**

Q. 8 – PERÍODO E FREQUÊNCIA

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

Q. 9 – EQUAÇÃO DA VELOCIDADE LINEAR (CONSTANTE)

$$V = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rf$$

Q. 10 – EQUAÇÃO DA VELOCIDADE ANGULAR (CONSTANTE)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Q. 11 – RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE LINEAR E VELOCIDADE ANGULAR

$$V = \omega R$$

Q. 12 – EQUAÇÃO DA POSIÇÃO ANGULAR NO MCU

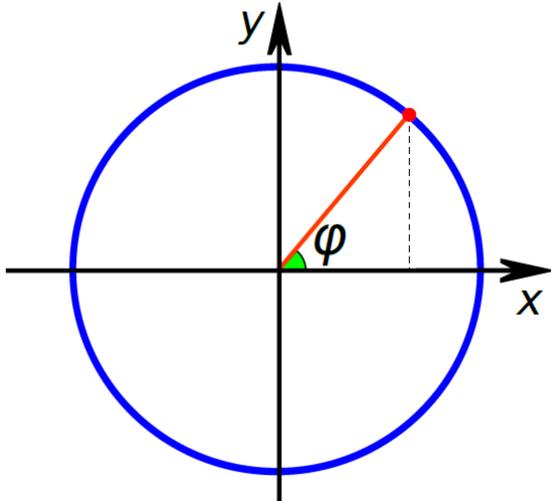
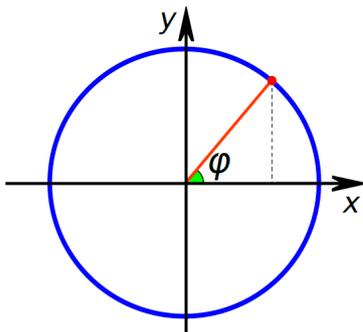


Figura 2: O movimento circular e uniforme (MCU)

**RELAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DO MHS E DO MCU**

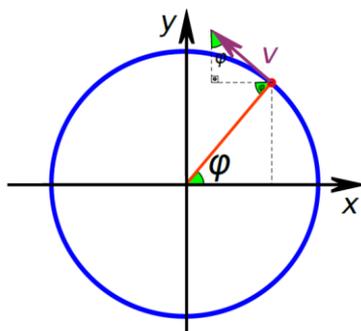
As grandezas vetoriais do movimento circular uniforme (MCU) podem ser decompostas. As componentes destas grandezas nos eixos horizontal e vertical descrevem o movimento de corpos em MHS. Ou seja, podemos usar o movimento circular uniforme para encontrar as equações do movimento harmônico simples (MHS). Vamos decompor no eixo horizontal.

**Q. 13- EQUAÇÃO DA POSIÇÃO  $x(t)$  PARA O MHS**



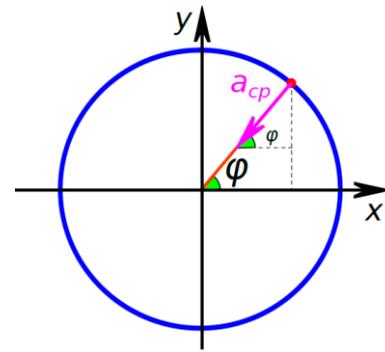
Função horária da posição:  
 $x(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$

**Q. 14- EQUAÇÃO DA VELOCIDADE  $v(t)$  PARA O MHS**



Função horária da velocidade:  
 $v(t) = -A\omega \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \varphi_0)$

**Q. 15 – EQUAÇÃO DA ACELERAÇÃO  $a(t)$  PARA O MHS**



Função horária da aceleração:  
 $a(t) = -A\omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$

Você pode verificar os gráficos das funções vistas nos quando Q. 13, Q. 14 e Q. 15.

Gráfico de posição, velocidade e aceleração em função do tempo

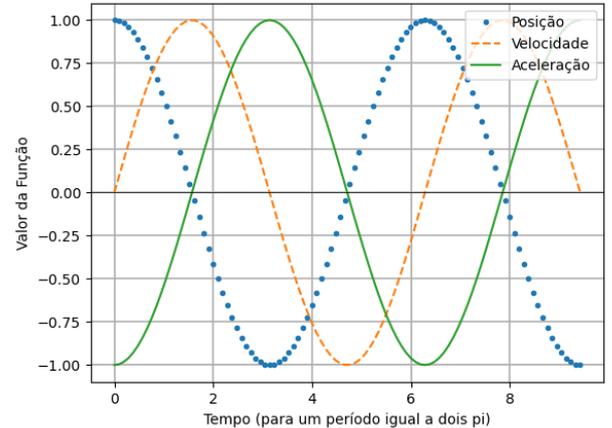


Figura 3: Gráficos das funções que descrevem o Movimento Harmônico Simples (MHS)

Nos gráficos da Figura 3 foi considerado que  $A=1\text{ m}$ ,  $\omega=1\text{ rad/s}$  (o mesmo que  $T=1\text{ s}$  ou  $f=1\text{ Hz}$ ) e  $\varphi_0=0\text{ rad}$ .

Por fim, vejamos um formulário do que foi visto até aqui:

Lei de Hooke:

$$F_e = -k \cdot x$$

Energia mecânica:

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot}$$

Energia cinética:

$$E_{cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Energia potencial:

$$E_{pot} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Período e frequência:

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

PROFESSOR DANILO

MHS E INTRODUÇÃO AO ESTUDO DAS ONDAS – CORA CORALINA – 01/09/2023

Relação entre velocidade linear  $V$  e a velocidade linear no movimento circular:

$$V = \omega \cdot R$$

Velocidade angular no movimento circular ou velocidade de fase no Movimento Harmônico Simples (MHS):

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Função horária da posição angular:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega \cdot t$$

Função horária da posição:

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Função horária da velocidade:

$$v(t) = -A\omega \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Função horária da aceleração:

$$a(t) = -A\omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$



### TIPOS DE ONDAS

#### Q. 16 – O QUE É UMA ONDA

Ondas são perturbações que se movem no espaço e transportam **apenas** energia, sem transportar matéria.

Podemos classificar as ondas, principalmente, em **ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas**. Também podemos falar de ondas de matéria e onda gravitacional.

Como a matéria pode se comportar como onda, é natural se perguntar qual é a equação que descreve esta onda. O mais incrível é que tal função de onda deve ser expressa utilizando-se de números complexos e o módulo desta função é interpretado como a probabilidade de encontrar a partícula, expressa por esta onda, por unidade de volume.

Ondas gravitacionais foram verificadas experimentalmente em 2016 e se trata da propagação de uma perturbação no tecido do espaço-tempo.

#### Q. 17 – CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS

Podemos classificar as ondas quanto à:

**Natureza**

**Direção de Oscilação**

Vamos considerar apenas as ondas eletromagnéticas e mecânicas no material abaixo.

### CLASSIFICAÇÃO QUANTO À NATUREZA

#### Q. 18 – ONDAS MECÂNICAS

Necessitam de um meio para existir/propagar.

As partículas oscilam, transferindo energia cinética e potencial, sem transferência de matéria.

Exemplos:

- Ondas sonoras
- Ondas na superfície da água
- Ondas sísmicas
- Ondas em cordas (instrumentos musicais)



Figura 4: Acesse a simulação de uma onda mecânica em uma corda observando-se ponto a ponto (Desmos®).

#### Q. 19 – ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Não necessitam de um meio para se propagar. A oscilação de cargas elétricas gera uma perturbação de campo elétrico e magnético no espaço: uma onda eletromagnética é a propagação desta perturbação (Figura 4).

Exemplos:

- Ondas de rádio (telecomunicação em geral)
- Micro-ondas
- Infravermelho
- Luz visível
- Ultravioleta
- Raios X
- Raios  $\gamma$

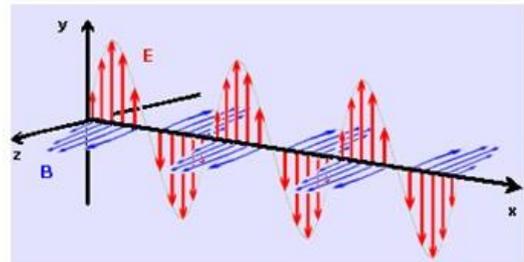


Figura 5: Representação instantânea dos vetores campos elétricos (verticais) e magnéticos (horizontais) de uma onda eletromagnética.



Figura 6: Animação em python/javascript de uma onda eletromagnética.

### CLASSIFICAÇÃO QUANTO À DIREÇÃO DE OSCILAÇÃO

#### Q. 20 – ONDAS LONGITUDINAIS

A direção de oscilação é na mesma direção que a propagação, como ocorre com ondas sonoras, como é apresentado na Figura 7, ou ondas se propagando em uma mola, como mostrado na Figura 8.

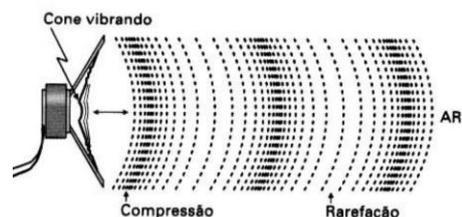


Figura 7: Onda sonora se propagando no ar: um exemplo de onda longitudinal.

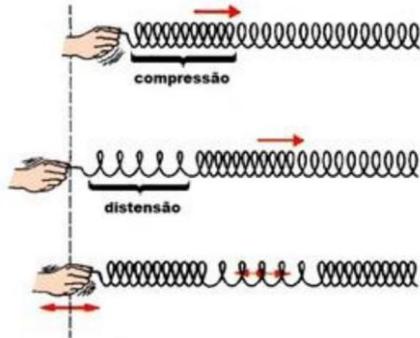


Figura 8: Onda longitudinal produzida em uma mola.



Figura 9: Animação no Desmos® de uma onda sonora.

**Q. 21 – ONDAS TRANSVERSAIS**

A direção de oscilação é perpendicular à direção de propagação, como ocorre com ondas eletromagnéticas (Figura 8) e em ondas se propagando em cordas esticadas (Figura 10).

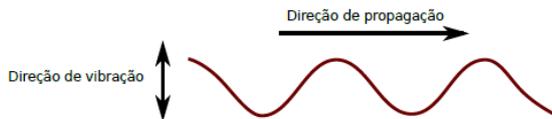


Figura 10: Onda Transversal em uma corda. O QR-code da Figura 4 aponta para um exemplo de uma onda transversal.

**Q. 22 – ONDAS MISTAS**

As partes oscilantes oscilam tanto na direção da propagação quanto numa direção perpendicular à direção de propagação. Exemplos: ondas na superfície da água de um lago raso e calmo.

**Ondas Mistas**

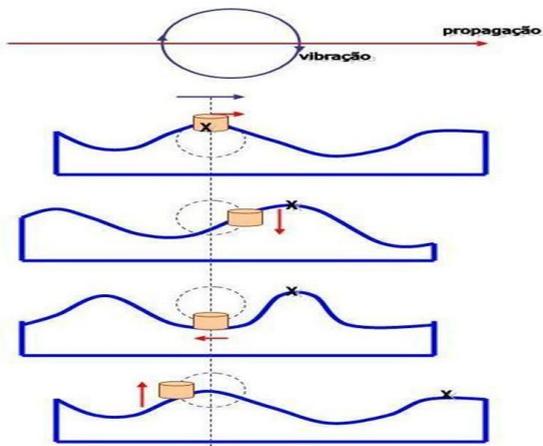


Figura 11: Exemplo de uma onda mista: uma onda se propagando na superfície de um lago calmo.

**ELEMENTOS DAS ONDAS**

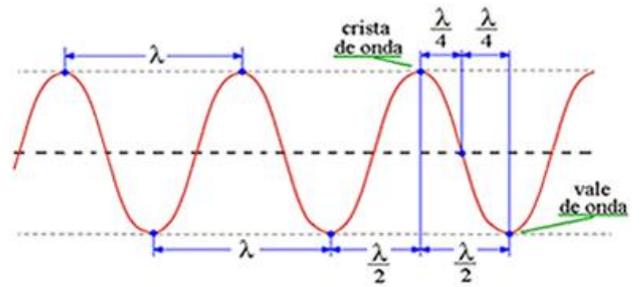


Figura 12: Elementos das ondas.

**Q. 23 – PERÍODO DE UMA ONDA**

**Q. 24 – FREQUÊNCIA DE UMA ONDA**

**Q. 25 – EQUAÇÃO FUNDAMENTAL DA ONDULATÓRIA**

Nota importante: quando uma onda muda de meio o que permanece constante é sua frequência. Sua velocidade e comprimento de onda podem ou não mudar, entretanto se uma mudar (velocidade ou comprimento de onda) necessariamente o outro termo muda (comprimento de onda ou velocidade).

Como luz é uma onda eletromagnética, tudo o que foi visto até o momento em óptica pode, até certa medida, ser relacionado com ondulatória. Faremos isso revendo os conceitos de:

- reflexão;
- refração (Lei de Snell);

**EXERCÍCIOS**

**01.** (UEL) Os morcegos, mesmo no escuro, podem voar sem colidir com os objetos a sua frente. Isto por que esses animais têm a capacidade de emitir ondas sonoras com frequências elevadas, da ordem de 120.000 Hz, usando o eco para se guiar e caçar. Por exemplo, a onda sonora emitida por um morcego, após ser refletida por um inseto, volta para ele, possibilitando-lhe a localização do mesmo.

- Sobre a propagação de ondas sonoras, pode-se afirmar que
- a) o som é uma onda mecânica do tipo transversal que necessita de um meio para se propagar.
  - b) o som também pode se propagar no vácuo, da mesma forma que as ondas eletromagnéticas.
  - c) a velocidade de propagação do som nos materiais sólidos em geral é menor do que a velocidade de propagação do som nos gases.
  - d) a velocidade de propagação do som nos gases independe da temperatura destes.
  - e) o som é uma onda mecânica do tipo longitudinal que necessita de um meio material para se propagar.

PROFESSOR DANILO

MHS E INTRODUÇÃO AO ESTUDO DAS ONDAS – CORA CORALINA – 01/09/2023

02. (FUVEST) Uma roda, contendo em sua borda 20 dentes regularmente espaçados, gira uniformemente dando 5 voltas por segundo. Seus dentes se chocam com uma palheta produzindo sons que se propagam a 340 m/s.

- a) Qual a frequência do som produzido?  
b) Qual o comprimento de onda do som produzido?

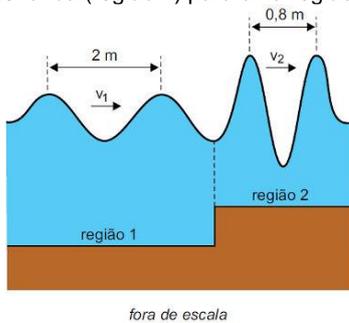
03. (FUVEST) Um alto-falante fixo emite um som cuja frequência  $F_1$ , expressa em Hz, varia em função do tempo  $t$  na forma  $F(t) = 1000 + 200t$ . Num determinado momento, o alto-falante está emitindo um som com uma frequência  $F_1 = 1080$  Hz. Nesse mesmo instante, uma pessoa P, parada a uma distância  $D = 34$  m do alto-falante, está ouvindo um som com uma frequência  $F_2$ , aproximadamente, igual a



Velocidade do som no ar = 340 m/s

- a) 1020 Hz      b) 1040 Hz      c) 1060 Hz  
d) 1080 Hz      e) 1100 Hz

04. (FAMEMA-SP) Com o objetivo de simular as ondas no mar, foram geradas, em uma cuba de ondas de um laboratório, as ondas bidimensionais representadas na figura, que se propagam de uma região mais funda (região 1) para uma região mais rasa (região 2).



fora de escala

Sabendo que, quando as ondas passam de uma região para outra, sua frequência de oscilação não se altera e considerando as medidas indicadas na figura, é correto afirmar que a razão entre as velocidades de propagação das ondas nas regiões 1 e 2 é igual a:

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



**REFLEXÃO**

Q. 26 – REFLEXÃO DE UMA ONDA TRANSVERSAL EM UMA CORDA – EXTREMIDADE FIXA

Q. 27 – REFLEXÃO DE UMA ONDA TRANSVERSAL EM UMA CORDA – EXTREMIDADE LIVRE

**REFRAÇÃO**

Quando uma onda muda de meio (mudando necessariamente a sua velocidade), então seu comprimento de onda também muda. Conforme Q. 25, o comprimento de onda é proporcional à velocidade.

É importante saber que a frequência **não muda quando uma onda muda de meio** assim como a **fase não se altera**, isto é, se uma crista muda de meio ela permanece sendo uma crista e se um vale muda de meio ele permanece sendo um vale.

Q. 28 – REFRAÇÃO DE ONDA NUMA CORDA: INDO DA CORDA MAIS GROSSA PARA A MAIS FINA

Q. 29 – REFRAÇÃO DE ONDA NUMA CORDA: INDO DA CORDA MAIS FINA PARA A MAIS GROSSA

Q. 30 – LEI DE SNELL

**EXERCÍCIOS**

01. E  
02. a) 100 Hz b)  $\lambda = 3; 4$  m  
03. C      04. D