

# **Instrumentação para o Ensino de Física IV**

**Vera Lucia Martins de Mello**



**São Cristóvão/SE  
2012**

# **Instrumentação para o Ensino de Física IV**

**Elaboração de Conteúdo**  
Vera Lucia Martins de Mello

---

**Projeto Gráfico**  
Neverton Correia da Silva  
Nycolas Menezes Melo

**Capa**  
Hermeson Alves de Menezes

**Diagramação**  
Neverton Correia da Silva

---

Copyright © 2011, Universidade Federal de Sergipe / CESAD.  
Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização por escrito da UFS.

FICHA CATALOGRÁFICA PRODUZIDA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

**Presidente da República**

Dilma Vana Rousseff

**Ministro da Educação**

Aloizio Mercadarte Oliva

**Secretário de Educação a Distância**

Carlos Eduardo Bielschowsky

**Reitor**

Ângelo Roberto Antonioli

**Vice-Reitor**

André Maurício Conceição de Souza

**Chefe de Gabinete**

Marcionilo de Melo Lopis Neto

**Coordenador Geral da UAB/UFS****Diretor do CESAD**

Antônio Ponciano Bezerra

**Vice-coordenador da UAB/UFS****Vice-diretor do CESAD**

Fábio Alves dos Santos

**Diretoria Pedagógica**

Clotildes Farias de Sousa (Diretora)

**Diretoria Administrativa e Financeira**

Edézio Alves Costa Júnior (Diretor)

Sylvia Helena de Almeida Soares

Valter Siqueira Alves

**Coordenação de Cursos**

Djalma Andrade (Coordenadora)

**Núcleo de Formação Continuada**

Rosemeire Marcedo Costa (Coordenadora)

**Núcleo de Avaliação**

Hérica dos Santos Matos (Coordenadora)

Carlos Alberto Vasconcelos

**Núcleo de Serviços Gráficos e Audiovisuais**

Giselda Barros

**Núcleo de Tecnologia da Informação**

João Eduardo Batista de Deus Anselmo

Marcel da Conceição Souza

Raimundo Araujo de Almeida Júnior

**Assessoria de Comunicação**

Edvar Freire Caetano

Guilherme Borba Gouy

**Coordenadores de Curso**

Denis Menezes (Letras Português)

Eduardo Farias (Administração)

Haroldo Dorea (Química)

Hassan Sherafat (Matemática)

Hélio Mario Araújo (Geografia)

Lourival Santana (História)

Marcelo Macedo (Física)

Silmara Pantaleão (Ciências Biológicas)

**Coordenadores de Tutoria**

Edvan dos Santos Sousa (Física)

Geraldo Ferreira Souza Júnior (Matemática)

Ayslan Jorge Santos de Araujo (Administração)

Priscila Viana Cardozo (História)

Rafael de Jesus Santana (Química)

Gleise Campos Pinto Santana (Geografia)

Trícia C. P. de Sant'ana (Ciências Biológicas)

Laura Camila Braz de Almeida (Letras Português)

Lívia Carvalho Santos (Presencial)

**NÚCLEO DE MATERIAL DIDÁTICO**

Hermeson Menezes (Coordenador)

Marcio Roberto de Oliveira Mendoza

Neverton Correia da Silva

Nycolas Menezes Melo

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos"

Av. Marechal Rondon, s/n - Jardim Rosa Elze

CEP 49100-000 - São Cristóvão - SE

Fone(79) 2105 - 6600 - Fax(79) 2105- 6474



# Sumário

<b>AULA 1</b>	
Movimento harmônico simples - <i>Mhs</i> .....	07
<b>AULA 2</b>	
Pêndulo simples, de torção e físico.....	33
<b>AULA 3</b>	
Óptica geométrica ou óptica de raios.....	49
<b>AULA 4</b>	
Espelhos esféricos .....	83
<b>AULA 5</b>	
Lentes.....	99
<b>AULA 6</b>	
Ondas e suas aplicações.....	113
<b>AULA 7</b>	
Ondas eletromagnéticas.....	135
<b>AULA 8</b>	
Óptica & Luz.....	151
<b>AULA 9</b>	
A percepção das cores .....	179
<b>AULA 10</b>	
Explicando o fenômeno das cores .....	205
<b>AULA 11</b>	
Ondas Sonoras.....	229
<b>AULA 12</b>	
Natureza ondulatória do som .....	253
<b>AULA 13</b>	
Instrumentos ópticos .....	271
<b>AULA 14</b>	
Física Moderna.....	297
<b>AULA 15</b>	
Física das radiações.....	319



# Aula 1

## MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES - MHS

### **META**

Fazer com que o estudante pense no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação;

- Que os alunos percebam, através de uma atividade lúdica, que podemos ensinar física através de experimentos muito simples;
- Que os alunos aprendam a usar os recursos de multimídias;
- Que os alunos percebam as aplicações da física no cotidiano.

### **OBJETIVOS**

Ao final desta aula, o aluno deverá:

Estar ciente das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências em geral;

- Perceber que para se ensinar física não precisamos ficar presos ao livro didático;
- Que ensinar física não é ensinar a resolver problemas e que a física é uma mera aplicação da matemática;
- Que existe muito material na forma de multimídia para ser usado em sala de aula e como complemento da aula.

### **PRÉ-REQUISITOS**

Os alunos deverão ter cursado as disciplinas de Psicologia da Educação, Física A, B e C.

## INTRODUÇÃO

Esta é a primeira aula de uma série de 10 aulas sobre instrumentação para o ensino de física voltada para Oscilações e Física Moderna. Se você fizer uma breve pesquisa sobre o que foi publicado na área, verá que há várias propostas e muitos experimentos de baixo custo para uma aula de ondulatória e de física moderna. Mas, há vários artigos discutindo a problemática de se ensinar física moderna no ensino médio e pouco sobre ondulatória. Como esse é o último curso de instrumentação, esperamos que você esteja mais maduro e independente nos seus estudos. Assim, nessa série de aulas vamos delegar mais atividades extra-aula para você.

Como no presente momento só temos duas ou no máximo três horas aulas dedicadas à disciplina de física nas escolas estaduais, temos que vários tópicos do curso de física não são abordados no ensino médio. A física ondulatória está entre elas, principalmente por esta fazer grande emprego das funções trigonométricas. Apesar disto, este tema é muito rico em aplicações (ondas eletromagnéticas, luz, raios x, som, etc.) e cai recorrentemente no vestibular. Assim, vamos dar mais ênfase aqui à física ondulatória do que a moderna.

Como o objetivo central da disciplina de instrumentação é o de estudar e aplicar técnicas de ensino de um determinado conteúdo de física e não o de introduzi-lo, dividimos o conteúdo de MHS em duas partes. Nesta primeira aula vamos definir o MHS e usaremos como exemplo o MCU e o do corpo preso a uma mola sujeito somente a força elástica. Deixamos o estudo dos pêndulos simples, de torção e o físico para a próxima aula. Assim, poderemos trabalhar melhor este conteúdo.

É bom lembrar que o objetivo da disciplina instrumentação é o de analisar os recursos didáticos e não introduzir conteúdos de física. Assim, na primeira parte da aula usaremos como referência os textos produzidos para os *sites* de ensino brasilescola [1] e física.net [2]. Na segunda parte usaremos o material didático usado para o *site* de ensino e-física [3].

Se olharmos a maioria das matrizes curriculares do 3º grau veremos que o curso de ondulatória inicia com o estudo do MHS. Pois, todos usam o MHS como exemplo concreto para ilustrar porque as funções senoidais são as funções naturais para representar matematicamente o movimento ondulatório. Todos os cursos começam analisando um movimento sujeito a uma força restauradora que resulta em uma equação do 2º grau do tipo

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0$$

cujas soluções são funções senoidais ou cossenoidais. Como não podemos usar uma equação diferencial no ensino médio temos que fazer uma transposição didática como a que segue.

## O MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

Uma das coisas mais simples e que regula a nossa vida é o tempo (no sentido de horas, minutos, etc.). Mas, nem sempre foi assim. Até hoje se faz pesquisa de como se determinar esta grandeza física de forma mais exata e precisa. Um dos movimentos usados é o movimento harmônico simples.

Todo movimento que se repete em intervalos de tempo iguais é chamado de periódico. Mais precisamente, podemos dizer que no movimento periódico o móvel deve ocupar a mesma posição na trajetória, sempre com a mesma velocidade e a mesma aceleração. O intervalo de tempo para que ele se encontre duas vezes nessa posição é sempre o mesmo e é denominado de período do movimento. Símbolo T. Exemplos deste tipo de movimento são:

- o movimento circular uniforme;
- o movimento da Terra em torno do Sol;
- o movimento de um pêndulo;
- o movimento de uma lâmina vibrante;
- o movimento de uma massa presa à extremidade de uma mola, etc.

Quando um corpo oscila periodicamente em torno de uma posição de equilíbrio descrevendo uma trajetória retilínea, pode-se dizer que este corpo efetua um movimento harmônico simples linear. Como veremos, este ocorre em razão da ação de uma força restauradora.

### SISTEMA MASSA-MOLA

No estudo que faremos do MHS utilizaremos como exemplo um sistema massa-mola, que pode ser visualizado na figura a seguir.

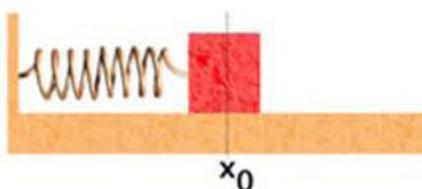


Figura 1 - O bloco em vermelho ligado a uma mola tendo como posição de equilíbrio do sistema a posição  $X_0$ . Disponível em: <http://www.brasilecola.com/fisica/movimento-harmonico-simples.htm>

Nesse sistema desprezaremos as forças dissipativas (atrito e resistência do ar). O bloco, quando colocado em oscilação, se movimentará sob a ação da força restauradora elástica, que pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$F_{el} = -K \cdot x \quad (1)$$

A força elástica é diretamente proporcional à deformação da mola  $[X(m)]$ , sendo  $K(N/m)$  a constante elástica da mola.

### PERÍODO

O período de um corpo em MHS é o intervalo de tempo referente a uma oscilação completa e pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$T=2 \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2)$$

O período  $[T(s)]$  depende da massa do corpo colocado em oscilação  $[m(kg)]$  e da constante elástica da mola  $[k(N/m)]$ .

### FREQUÊNCIA

A frequência de um corpo em MHS corresponde ao número de oscilações que esse corpo executa por unidade de tempo e essa grandeza pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$F = \frac{(\text{n}^\circ \text{ de oscilações})}{t} \quad (3)$$

A unidade associada à grandeza frequência no s.i é dada em hertz (Hz). Frequência é inversamente proporcional ao período e pode ser expressa matematicamente pela seguinte relação:

$$F = \frac{1}{T} \quad (4)$$

## ANÁLISE QUALITATIVA DE UMA OSCILAÇÃO

Façamos, agora, um estudo qualitativo de uma oscilação completa realizada por um móvel, analisando velocidade, aceleração e força atuante, em distintos pontos da trajetória. Para tanto consideremos (fig. 2) um corpo, apoiado em um plano horizontal, preso à extremidade de uma mola; desprezemos qualquer forma de atrito. Precisamos, entretanto, primeiramente caracterizar dois novos termos que utilizaremos daqui por diante no estudo das oscilações, quais sejam alongação e amplitude.

- Alongação de uma oscilação em um dado instante é a distância a que o móvel se encontra da posição de equilíbrio no instante considerado.

- Amplitude de um movimento oscilatório é a máxima alongação, isto é, a maior distância que o móvel alcança da posição de equilíbrio em sua oscilação.

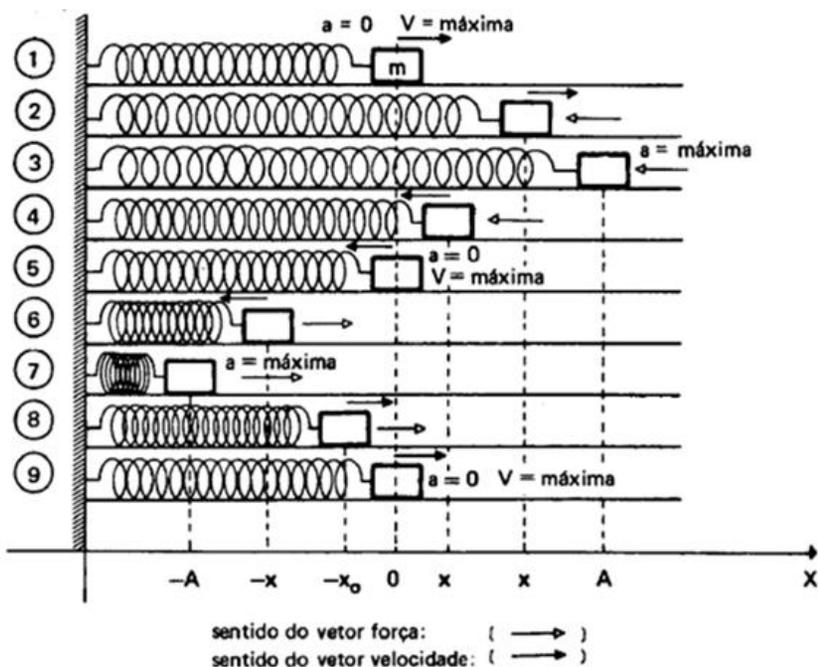


Figura 2 – Disponível em: [http://www.fisica.net/mecanicaclassica/mhs\\_movimento\\_harmonico\\_simples.pdf](http://www.fisica.net/mecanicaclassica/mhs_movimento_harmonico_simples.pdf)

Tomemos um eixo horizontal  $X$  onde  $0$  é origem e representa a posição de equilíbrio. Suponhamos o movimento já em desenvolvimento e comecemos a analisá-lo a partir do momento em que o móvel passa pela posição de equilíbrio. Após esse instante a mola passará a exercer sobre o corpo uma força, a já referida força restauradora (de caráter elástico, no caso), que procura fazê-lo retornar a  $0$ . Na medida em que  $m$  se afasta do equilíbrio, aumentando as elongações, a força restauradora cresce, mas nota-se que tem orientação contrária à do eixo. Portanto, da mesma forma a aceleração cresce a medida que a massa se afasta de  $A$ .

Por outro lado, a velocidade do móvel decresce até atingir valor zero quando o móvel chega à posição  $A$ , onde a força restauradora será máxima. Partindo de  $A$  o móvel começa o retorno com velocidade crescente, porém, conforme diminuem as elongações, a força atuante sobre ele diminui em intensidade bem como a aceleração.

Observamos que de  $A$  para  $0$ , os vetores força, aceleração e velocidade têm todos a mesma orientação, contrária à do eixo. Ao atingir o ponto  $0$  a velocidade do corpo será máxima e, como aí a força é nula, em função da inércia o corpo passa dessa posição indo em direção à  $-A$ . De  $0$  para  $-A$  a força restauradora cresce, assim como a aceleração, sendo máximas em  $-A$ . A velocidade, nesse trajeto, decresce até atingir valor nulo no extremo da trajetória. De  $-A$  para  $0$  os vetores velocidade, aceleração e força têm o mesmo sentido do eixo.

Porém, enquanto a força e a aceleração decrescem, o valor da velocidade cresce, na medida em que o corpo aproxima-se de 0. Se o móvel oscila em torno de sua posição de equilíbrio por ação de uma força que seja proporcional às elongações, então o movimento oscilatório é dito harmônico simples. Assim, sendo o corpo deslocado “x”, do equilíbrio, por ação de uma força restauradora F, essa será dada por

$$F = -K.x$$

onde o sinal (-1) indica que o sentido da força será contrário ao deslocamento, quando x for positivo, e que terá o mesmo sentido quando x for negativo. Observamos que a força restauradora é tal que é sempre dirigida para a posição de equilíbrio, sendo por isso, algumas vezes, chamada força central.



Q1 – O texto apresentado acima é uma típica aula ministrada em um curso de escola tradicional. Você acha que poderíamos aplicá-lo em uma escola estadual?

Q2 – A figura 2 é um exemplo de como motivar o aparecimento das funções senoidais na ondulatória. Você acha que os alunos teriam paciência para ver você fazendo toda essa demonstração no quadro?

Q3 – Como o seu livro didático expõe esse tema? Compare com o nosso.

Q4 – Abra a simulação “*Oscilações Verticais*” no *link*: [www.fisica.ufs.br/ladmello](http://www.fisica.ufs.br/ladmello) e analise se a simulação ajuda no entendimento da explicação acima.

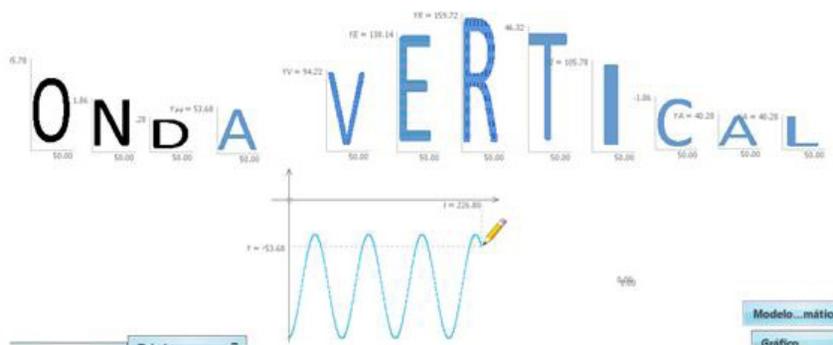


Figura 3 – Animação de uma onda transversal feita usando o Modellus. Disponível em: [www.fisica.ufs.br/ladmello](http://www.fisica.ufs.br/ladmello).

## MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME - M.C.U.

Antes de definirmos as funções horárias da posição, velocidade e aceleração do MHS faremos uma breve revisão do MCU.

Definição de radiano: É a razão entre o comprimento do arco  $L$  e o raio  $R$  da circunferência.

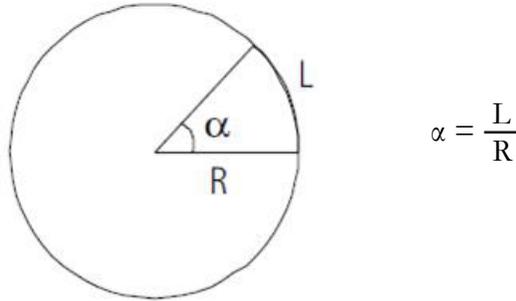


Figura 4

### ESPAÇO ANGULAR ( $\phi$ )

O espaço angular é dado pela função horária:

$$\phi = \phi_0 + \omega \cdot t$$

em que:

$\phi$ : espaço angular

$\phi_0$ : espaço angular inicial

$\omega$ : velocidade angular

Lembre-se que:

$$\phi = \frac{s}{R}, \quad \phi_0 = \frac{s_0}{R} \quad \text{e} \quad \omega = \frac{V}{R}$$

$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (\text{definição})$$

A aceleração centrípeta do M.C.U. pode ser dada por duas relações:

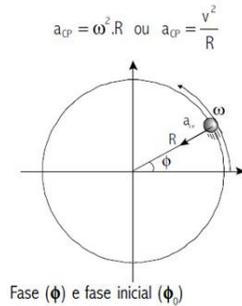


Figura 5

A fase inicial tem por referência a posição inicial de um M.C.U. auxiliar (imaginário). Por exemplo:

$$\phi_0 = 0 \text{ rad}$$

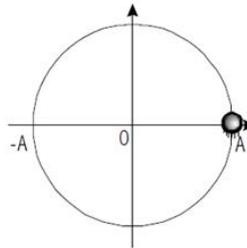


Figura 6

Neste caso imagina-se um M.C.U., cuja posição angular inicial é  $\phi_0 = 0$  radianos. Como a posição do objeto que realiza o M.H.S. é a projeção sobre o eixo x, então tem-se que o móvel encontra-se na posição  $x = A$ , movendo-se no sentido contrário da orientação do eixo x.

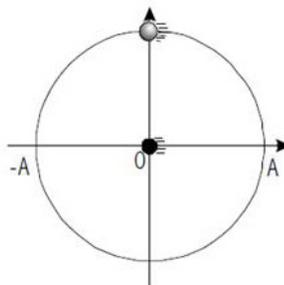


Figura 7

A velocidade linear do M.C.U. se relaciona com a velocidade angular através da relação  $V = \omega \cdot R$ . Assim, a relação passa a ser:

$$V_{MHS} = \omega \cdot R \cdot \text{sen}\phi$$

Mais uma vez, lembrando que a amplitude do MHS é igual ao raio do M.C.U., temos:

$$R = A \text{ e } \phi = \phi_0 + \omega.t$$

$$V_{MHS} = \omega.A \text{ sen}(\phi_0 + \omega.T)$$

Note que não tem sentido mais a denominação velocidade angular para um M.H.S., portanto  $\omega$  será denominado de frequência angular. O sentido do M.C.U. auxiliar é anti-horário. Fazendo a correção necessária devido a orientação do eixo  $x$ , temos:

$$V_{MHS} = \omega.A \text{ sen}(\phi_0 + \omega.t)$$

Questões usando o *software Modellus*:

Q5 – Abra o exemplo “MCU” e faça uma análise do modelo matemático. Verifique o significado das equações do modelo.

Q6 – Faça uma análise comparativa dos gráficos das coordenadas  $x$  e  $y$  em função de  $t$  e de  $v_x$  e  $v_y$  em função de  $t$ .

Q7 – Abra a tabela e verifique os valores de  $x$ ,  $y$ ,  $v_x$ , e  $v_y$ .

Obs: Se você não se lembra mais como usar o *software Modellus* há um tutorial no *site* da física da UFS. URL: <http://www.fisica.ufs.br/ladmello/>

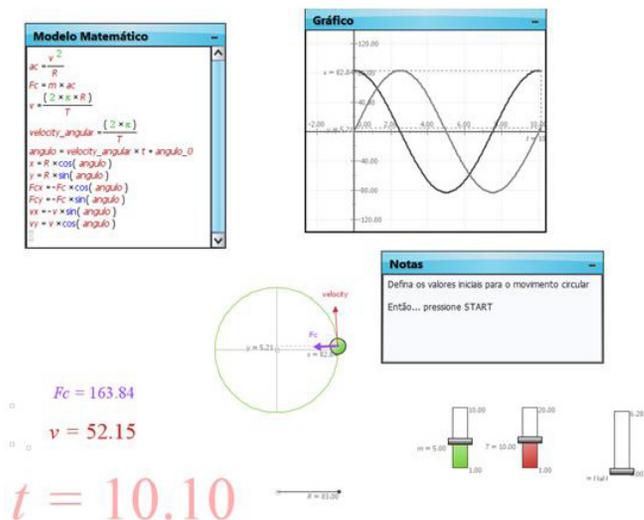


Figura 8

## FUNÇÃO HORÁRIA DA ACELERAÇÃO DO M.H.S.

A aceleração do M.H.S. será a componente no eixo  $x$  da aceleração centrípeta do M.C.U. A relação entre as acelerações será dada pela função co-seno.

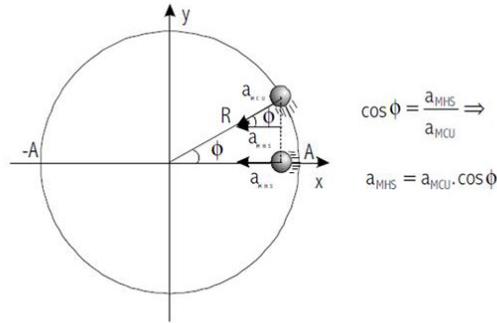


Figura 9

Como a aceleração centrípeta é  $a_{cp} = \omega^2.R$ , temos  $a_{MHS} = \omega^2.R \cos\phi$ .  
 Corrigindo o sinal da aceleração devido a orientação do eixo x e substituindo  $R = A$  e  $\phi = \phi_0 + \omega \cdot t$ , temos a função:

$$a_{MHS} = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\phi_0 + \omega \cdot t)$$

Equação Fundamental do M.H.S.

Como a definição do M.H.S. é de um movimento no qual a aceleração é proporcional a posição, temos:

$$a = k \cdot x$$

comparando a função horária do espaço:

$$x = A \cdot \cos(\phi_0 + \omega \cdot t)$$

com a função horária da aceleração:

$$a_{MHS} = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\phi_0 + \omega \cdot t)$$

chegamos a função fundamental do M.H.S.:

$$a_{MHS} = -\omega^2 \cdot x$$

em que:  $k = -\omega^2$

Assim, pela segunda lei de Newton temos

$$F = ma = m \cdot a_{MHS} = m\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\phi_0 + \omega \cdot t)$$

Posição do Móvel em MHS

A equação que representa a posição de um móvel em MHS será dada a seguir em função do tempo.

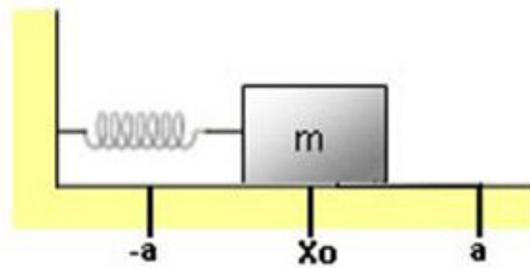


Figura 10 - As posições  $a$  e  $-a$  são deformações máximas que a mola terá quando o bloco de massa  $m$  for colocado em oscilação.

$$X = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad (5)$$

A posição  $X$  é dada em função do tempo.

$a$  = elongação máxima (m)

$\omega$  = frequência angular (rad/s)

$\varphi$  = espaço angular que um ponto projetado pelo bloco sobre uma circunferência realiza (rad).

$t$  = intervalo de tempo

### FORÇAS QUE PRODUZEM O MHS (CEPA)

O movimento harmônico simples ocorre como consequência de um tipo muito especial de forças. Para entendermos as características dessas forças lembramo-nos de que no MHS temos a relação:

$$A = -\omega^2 \cdot x(t)$$

Multiplicando a equação acima por  $m$  obtemos

$$m \cdot a = -(\omega^2 m)x = -k \cdot x.$$

$$\text{onde } k = \omega^2 \cdot m$$

Lembrando agora a segunda Lei de Newton,

$$F = m \cdot a,$$

vemos que o MHS ocorre sempre que atuar sobre uma partícula uma força da forma

$$F = -k x$$

Como sabemos, são as forças elásticas que têm esta característica. A seguir veremos alguns exemplos.

## ENERGIA DO MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (CEPA)

Já vimos no curso de Mecânica que a energia potencial associada a uma força elástica é dada por:

$$E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2 \quad (6)$$

Utilizando a expressão  $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$  vemos que a energia potencial varia com o tempo de acordo com a expressão:

$$E_p = \frac{K \cdot A^2}{2} \cos^2(\omega \cdot t + \varphi_0) \quad (7)$$

A energia cinética, dada por:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (8)$$

Também, varia com o tempo. Utilizando  $v(t) = -A \omega \sin(\omega t + \varphi_0)$  vemos que a dependência da energia cinética com o tempo é dada por

$$E_c = \frac{m \cdot A^2 \cdot \omega^2}{2} \sin^2(\omega \cdot t + \varphi_0) = \frac{k \cdot A^2}{2} \sin^2(\omega \cdot t + \varphi_0) \quad (9)$$

onde, na expressão acima utilizamos a relação  $\omega^2 = k/m$ .

A soma da energia cinética com a energia potencial nos dá a energia mecânica ( $E$ ). Nesse caso escrevemos

$$E = E_c + E_p = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + \frac{1}{2} k \cdot x^2 \quad (10)$$

Sabemos que a energia mecânica se conserva no movimento. Podemos verificar isso explicitamente somando as expressões (7) e (9) obtemos:

$$E_c + E_p = \frac{k \cdot A^2}{2} [\sin^2(\omega \cdot t + \varphi_0) + \cos^2(\omega \cdot t + \varphi_0)]$$

Sabemos que  $\sin^2\varphi + \cos^2\varphi = 1$ . Portanto, segue de

$$E = E_c + E_p = \frac{K \cdot A^2}{2}$$

A figura 11 ilustra o que acontece com as várias formas de energia, à medida que o tempo passa.

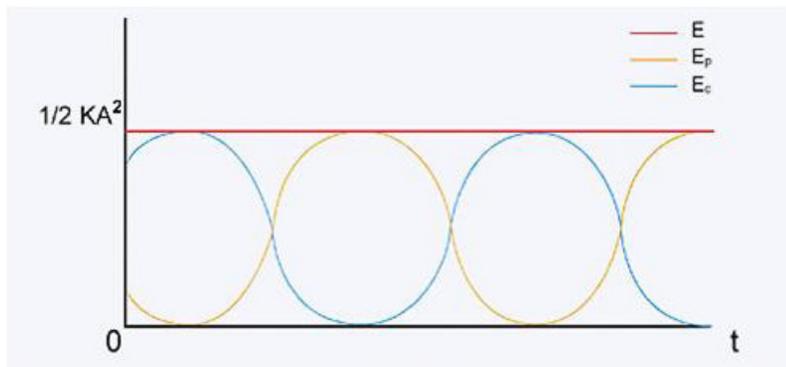


Figura 11

Questões usando o *software Modellus*

8 – Abra o exemplo “Energia MCU” e faça uma análise do modelo matemático. Verifique o significado das equações do modelo.

9 – Faça uma análise comparativa dos gráficos das coordenadas x e y em função de t e de Ec e Ep em função de t.

10 – Abra a tabela e verifique os valores de x, y, Ec e Ep.

11 – Abra o exemplo “Oscillator and Energy” na pasta “Modellus.files” e discuta se essa animação é um bom exemplo de sistema que conserva a energia.

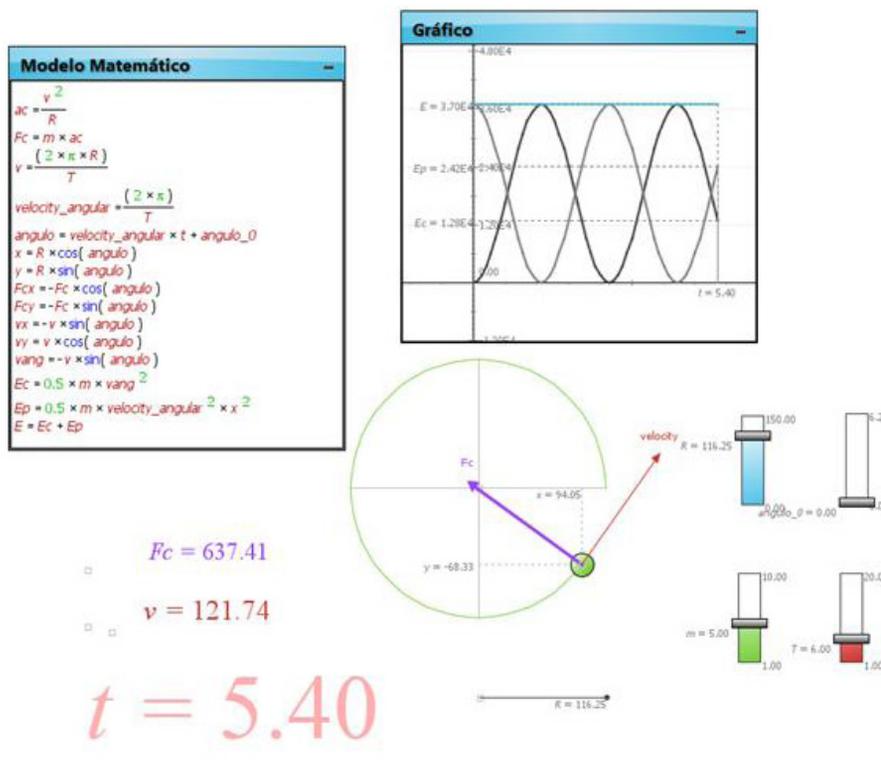


Figura 12 - Exemplo de Animação da Energia no MCU

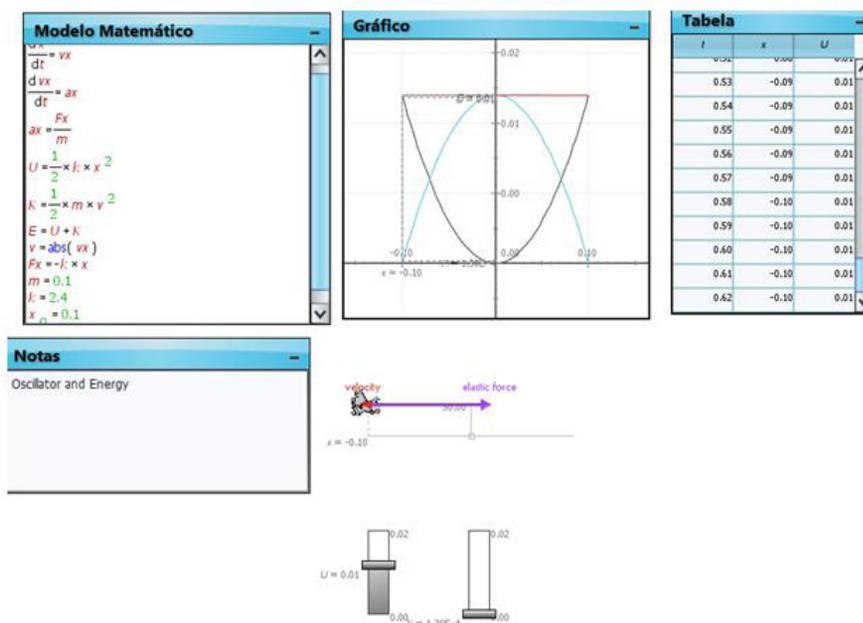


Figura 13 – Exemplo de Animação da Energia no MHS

## ATIVIDADES LUDOTECAS

1 - Apresentamos a seguir duas formas de se fazer o experimento do pêndulo de mola. A primeira, muito simples, feito por alunos do curso de Licenciatura em Física – IFUSP. O outro, um pouco mais elaborado, feito por alunos da licenciatura em física da UFS e do projeto PIBID.

### 1.1 - Produção de Material Didático

#### Frequência e Período do Movimento Harmônico Simples

## INTRODUÇÃO

Determinar o tempo de forma precisa é de fundamental importância para a humanidade, pois há diversos fenômenos naturais periódicos no dia-a-dia, por exemplo, as estações do ano, a duração do dia, o período da Lua e a passagem de um cometa. Historicamente, Robert Hooke estudou o sistema de molas e constatou que tal sistema oscilava de maneira uniforme e era possível utilizá-lo para se medir o tempo de forma precisa. Então, propomos essa atividade para alunos do segundo ano do Ensino Médio para que possam verificar a utilização da mola para medição do tempo.

Materiais: Uma mola espiral de um caderno de 200 folhas; Cronômetro;

Um massor (bolinha que tenha diâmetro maior que o da mola, ou seja, mais ou menos 3 cm de diâmetro); Fita adesiva.

Montagem: Fixar uma extremidade da mola com fita adesiva de modo que a outra extremidade possa se movimentar livremente na direção vertical. Feito isto, colocar o massor na extremidade livre.

Procedimento: Pendurar a mola em algum suporte, de modo que a mesma possa oscilar livremente, caso não seja possível, segurar firmemente a mola com mão, tomando o máximo de cuidado para que a mão não oscile junto, pois se acontecer haverá erros nos dados. Colocar o massor na extremidade livre e esperar o sistema atingir o equilíbrio; Esticar a mola verticalmente o suficiente para uma pequena oscilação;



Figura 14

Com um cronômetro, um aluno mede o tempo “ $t$ ” de dez oscilações completas. Fazer pelo menos cinco vezes e tirar a média para melhor precisão; Calcular a frequência da seguinte forma:  $f$  (Hz) =  $10 / t$ . Calcular o período da seguinte forma:  $T$  (s) =  $1 / f$ . Realizar o mesmo procedimento alterando a massa suspensa e verificar o que altera.

Roteiro: 1. A frequência e o período dependem da massa colocada e da mola utilizada? 2. Por que a mola estica ao colocar a bola? 3. Na posição de equilíbrio pode-se dizer que a força exercida pela mola nesse instante é igual ao peso da massa pendurada? 4. Esse sistema massa-mola teria alguma utilidade prática? 5. Se cortarmos a mola ao meio o que acontecerá com o período e com a frequência?

Conclusões: O estudo do Movimento Harmônico Simples (MHS) é importante, pois, possibilita mostrar aos alunos as grandezas físicas envolvidas, a manipulação e fazer analogias com outros movimentos periódicos, pêndulo

com pequeno ângulo de abertura e a marcha de um atleta. Ao manipularem as grandezas envolvidas, os alunos irão notar as relações de dependências entre tais, o que é muito importante na ciência de maneira geral, além de desenvolverem a observação, análise, senso crítico e treinamento.

### 1.2 - Oscilações Simples - Sistema Massa-Mola

#### I – INTRODUÇÃO

Nesta experiência, estudaremos um tipo de movimento oscilatório bastante simples: o sistema massa-mola. Quando um corpo de massa  $m$  é suspenso por uma mola de constante elástica  $k$  como mostrado na figura 1, as forças que atuam sobre o corpo serão a força peso  $P$  e a força de restituição elástica da mola  $F$ , dadas por:

$$F = -kx \quad e \quad P = mg$$

Se deslocarmos a massa  $m$  da sua posição de equilíbrio e soltarmos, o corpo passará a oscilar com certa frequência característica, em cada instante do movimento sempre poderemos escrever que a força resultante  $R$  é dada por (desprezando o efeito do atrito):

$$\vec{R} = \vec{P} + \vec{F} = (mg - kx)\vec{i}$$

Aplicando a 2ª Lei de Newton, temos:

$$\vec{R} = m\vec{a} = m\ddot{x}\vec{i} = (mg - kx)\vec{i}$$

O movimento resultante é uma oscilação:

$$x(t) = A\cos(\omega_0 t + \phi) + \frac{mg}{k}$$

onde,  $A$  é a amplitude do movimento oscilatório e  $\omega_0$  é a frequência angular do movimento que é dada por:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Como o período o movimento  $T_0$  pode ser associado à frequência angular  $\omega_0$  o por :

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \Rightarrow T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

## II - OBJETIVOS:

Determinar a dependência do período de oscilação de um sistema massa- mola com a massa e com a constante elástica da mola.

## III - MATERIAL UTILIZADO:

Molas diversas, porta pesos e pesos aferidos, haste, grampo de sustentação, régua e cronômetro.

## IV - PROCEDIMENTO:

1ª parte: Dependência de  $T$  com a massa  $m$

Escolha uma das molas. Pendure-a ao suporte e pendure um porta massa a ela;

Calcule o valor da constante elástica da mola segundo o procedimento

1. Anote o valor de  $k$  da mola escolhida;

Pendure uma determinada quantidade de massa a esta mola e ponha o sistema para oscilar distendendo a mola de certa distância e depois abandonando o corpo. Verifique o que ocorre com a frequência quando você distende a mola por diferentes comprimentos;

Com o auxílio do cronômetro meça, ao menos três vezes, o tempo  $t$  para o corpo completar 10 oscilações completas. Monte uma tabela anotando também a massa do corpo;

Repita a operação do item três para outros quatro valores de massa.

2ª parte: Dependência de  $T$  com  $k$

Na parte anterior, você estudou a dependência do período  $T$  com a massa  $m$ , mantendo  $k$  fixo. Nesta parte,  $m$  deverá ser fixo para que se possa estudar a dependência de  $T$  com  $K$ . Escolha, então, um certo valor de  $m$  e anote-o;

Pendure esta massa  $m$  a uma das molas e meça, ao menos três vezes, o tempo  $t$  para que o sistema complete 10 oscilações. Monte uma nova tabela. Não se esqueça das incertezas;

Repita o procedimento do item 6 para outra duas molas completando a tabela. Lembre que o primeiro valor pode ser aproveitado da tabela anterior.

## V - DISCUSSÃO:

1ª parte: Dependência de  $T$  com  $m$

Com base na 1ª tabela, calcule o valor médio do tempo de dez oscilações  $t_e$ , a partir deste, obtenha o período  $T$  para cada valor de massa escolhido;

Faça, em papel di-log, um gráfico de  $T$  x  $m$ . Qual deve ser o formato da curva? Por quê? Calcule, a partir do seu gráfico, estes dois coeficientes, com

suas respectivas incertezas, e compare com os valores esperados. Discuta a exatidão dos resultados.

2ª parte: Dependência de  $T$  com  $k$

Com base na 2ª tabela, calcule o valor médio do tempo de dez oscilações  $t_e$ , a partir deste, obtenha o período  $T$  para cada valor de  $k$  escolhido;

Faça, em papel di-log, um gráfico de  $T$  x  $k$ . Qual deve ser o formato da curva? Por quê?

Quais são os valores esperados para o coeficiente angular e coeficiente linear para a curva do item anterior? Por quê?

Calcule a partir do seu gráfico estes dois coeficientes, com suas respectivas incertezas, e compare com os valores esperados.

Discuta a exatidão dos resultados.

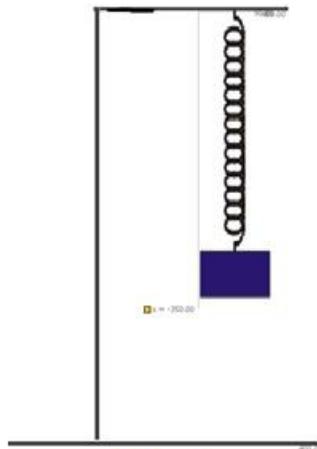


Figura 15

### 1.3 – Sistemas Carro x Duas Molas

- Abra o modelo “MHS-Carro” e verifique se a animação gráfica corresponde ao experimento;
- Você saberia resolver este sistema de forma diferencial?
- Como você colocaria o amortecimento?

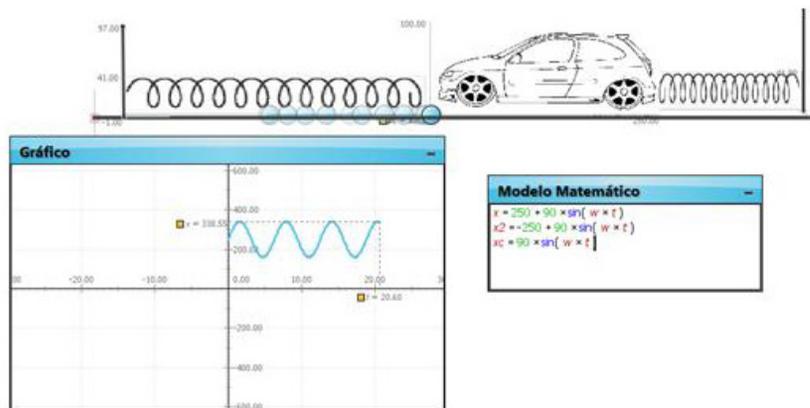


Figura 16

d) Ver definição e animações na página da Wikipédia.

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Movimento\\_harm%C3%B4nico\\_simples](http://pt.wikipedia.org/wiki/Movimento_harm%C3%B4nico_simples)

e) Ver texto de Estudo Dirigido de Física *On-Line* sobre Movimento Harmônico Simples (M.H.S.)

<http://www.fisica.ufpb.br/~mkyotoku/texto/texto.htm>

f) Ver texto do *site* Feira de ciências.

[http://www.feiradeciencias.com.br/sala04/04\\_RE\\_09.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala04/04_RE_09.asp)

g) Física\_Net.

[http://www.fisica.net/mecanicaclassica/mhs\\_movimento\\_harmonico\\_simples.pdf](http://www.fisica.net/mecanicaclassica/mhs_movimento_harmonico_simples.pdf)

h) CEPA

[http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/universitario/cap13/cap13\\_03.php](http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/universitario/cap13/cap13_03.php)

i) Cienciamão

<http://www.cienciamao.if.usp.br/tudo/busca.php?key=pendulo%20de%20mola>

## APPLETS DE ENSINO

1 – CREF (Centro de Referência para o Ensino de Física). Adaptado do site do professor Walter-Fendt sob o título: *Carrossel* – (Resultante Centrípeta das Forças). <http://www.if.ufrgs.br/cref/maikida/appletforcacentripeta.htm>.



Figura 17 – Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/maikida/appletforcacentripeta.htm>.

2 - MHS – Energia no MHS. <http://www.myphysicslab.com/spring1.html>

Esse *applet* simula o movimento de um oscilador amortecido. Mas você pode mudar e até zerar o coeficiente de atrito (damping). Opcional.

Texto: Esta simulação mostra uma massa única de uma mola, que está ligada a uma parede. Este é um exemplo de um oscilador linear simples.

Você pode alterar os parâmetros na simulação, tais como massa, rigidez da mola e do atrito (amortecimento). Você pode arrastar a massa com o mouse para mudar a posição de partida.

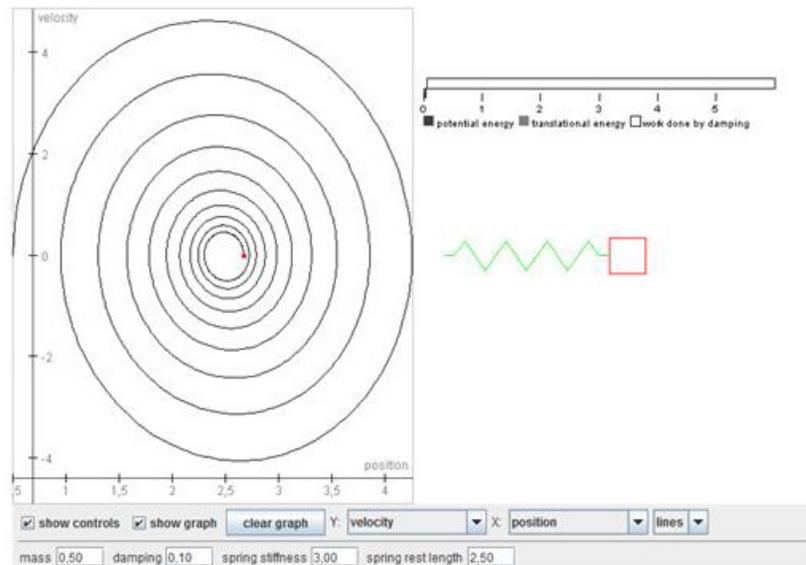


Figura 18 - MHS – Energia no MHS. Disponível em: <http://www.myphysicslab.com/spring1.html>

3 - Site do Professor Wu Kwang.

[http://www.walter-fendt.de/ph14pt/circmotion\\_pt.htm](http://www.walter-fendt.de/ph14pt/circmotion_pt.htm).

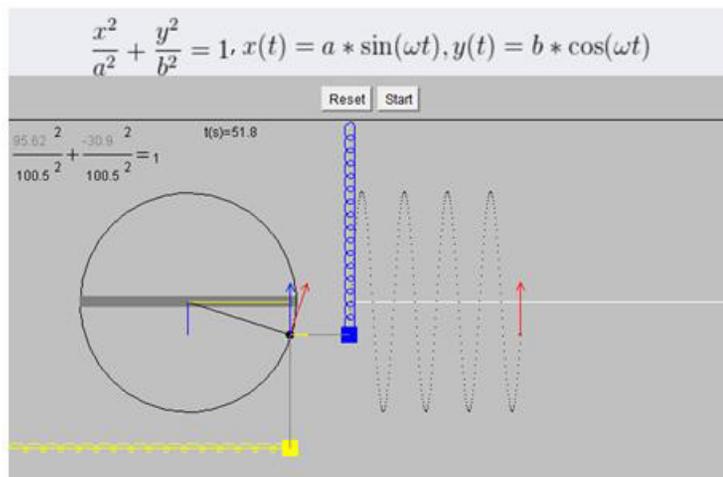


Figura 19 - Site do Professor Wu Kwang. Disponível em: [www.phy.ntnu.edu.tw/java/shm/shm.html](http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/shm/shm.html)

4 – Walter-Fendt. [http://www.walter-fendt.de/ph14pt/circmotion\\_pt.htm](http://www.walter-fendt.de/ph14pt/circmotion_pt.htm)

Nesta aplicação simula-se um movimento circular uniforme, podendo o utilizador, observar num sistema de eixos a evolução com o tempo de Força, Aceleração, Velocidade e Posição. O raio da trajetória, a massa do objeto e o período do movimento são ainda passíveis de definição pelo utilizador dentro de certos limites, nas respectivas caixas de texto (não se esquecer de validar cada dado).

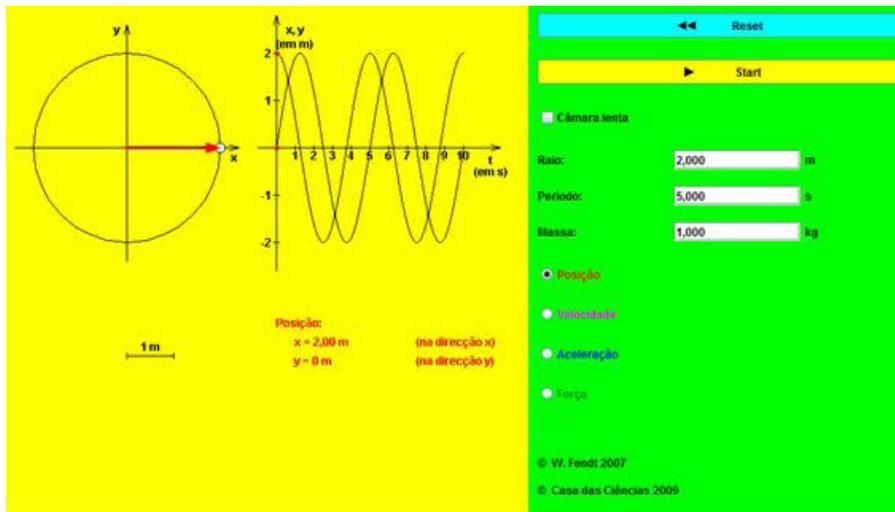


Figura 20 - Physclips. Disponível em: <http://www.animations.physics.unsw.edu.au/mechanics/>

5 – Ciência a Mão. Movimento Harmônico simples. Ludoteca.if.usp.br.

[http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=tex&cod=\\_movimentoharmonicossimples](http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=tex&cod=_movimentoharmonicossimples)

Neste programa, mostraremos um ponto que realiza um movimento harmônico simples e os gráficos correspondentes à esse movimento: sua posição, velocidade e aceleração em relação ao tempo.

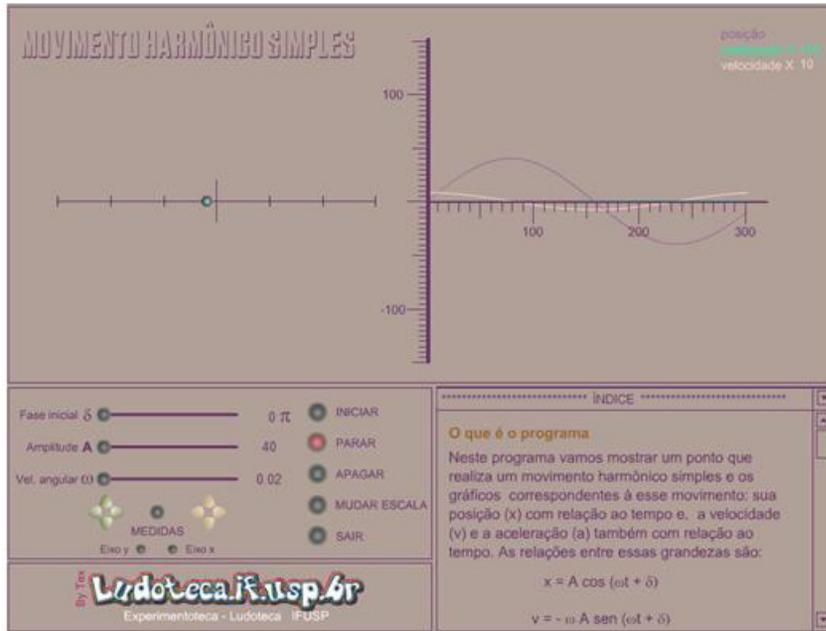


Figura 21 - Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=tex&cod=movimentoharmonicossimples>.

6 – Site de ensino dedicado à física Moderna. Se você acessar pelo *Internet Explorer* existe a possibilidade de traduzir para o português.

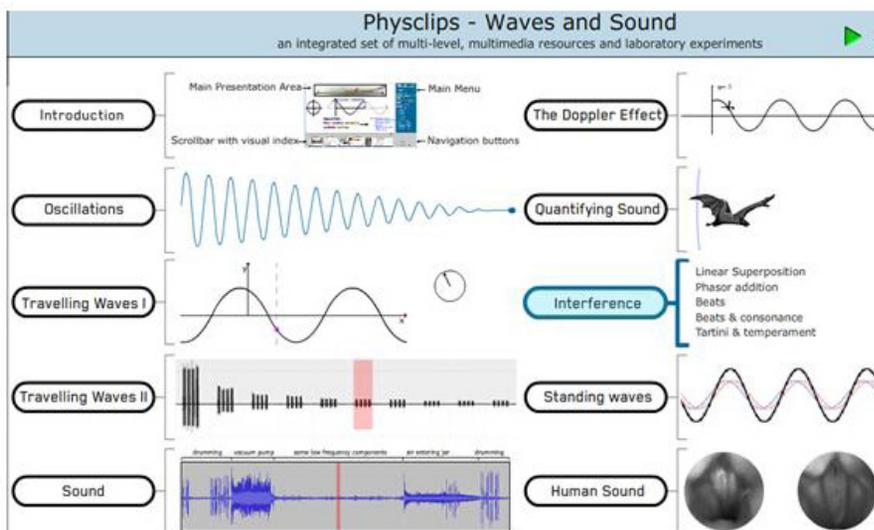


Figura 22 - Disponível em: <http://www.phys.unsw.edu.au/jw/chladni.html#name>

## VÍDEO AULAS

1 – Vídeo Aula Física – *Movimento Circular* – Parte 1 até 5:

<http://www.youtube.com/watch?v=HQ4Wp-VLbIs>;

<http://www.youtube.com/watch?v=PwukAfbQCPs>;

<http://www.youtube.com/watch?v=2Mhe2zR5qFQ>;

<http://www.youtube.com/watch?v=BF4oitlaci8>;

<http://www.youtube.com/watch?v=YDgiNQDVWwA>

2 - Movimento Circular - Física - *Vestibulando Digital*:

<http://www.youtube.com/watch?v=8lMO5dn1mCc&feature=related>

## CONCLUSÃO

Apesar da teoria do Movimento Harmônico Simples ser pouco explorada no ensino fundamental, ela possui muitos experimentos, aplicações do dia a dia e *applets* de ensino que fazem que seu ensino possa se tornar mais interessante. Este tópico é muito explorado em *sites* e projetos de ensino de física, o que reforça a conclusão acima.



## RESUMO

Primeiramente, apresentamos um resumo da teoria sobre o tema movimento harmônico simples adaptado de alguns textos produzidos para *sites* de ensino [1, 2, 3]. Nestes exploramos a dificuldade de se ensinar conceitos de física que envolvam o tópico trigonometria e como estes afetam o ensino do MHS. Mostramos alguns *applets* de ensino que ilustram e facilitam o entendimento deste conceito.

Em seguida apresentamos um resumo da teoria do movimento uniforme que faz uso dos conceitos anteriores e mostramos novamente alguns *applets* de ensino que ilustram e facilitam o entendimento deste conceito. Devido à facilidade de uso do *software Modellus*, estendemos a teoria até o conceito de conservação da energia no MHS, que ilustramos através de modelagens usando o *software* acima.

Terminamos esta aula mostrando alguns experimentos de baixo custo muito ilustrativos e de fácil execução, alguns *applets* de ensino e algumas vídeos aulas.

## RESPOSTA DAS ATIVIDADES

- Q1. Espero que a maioria das respostas sejam negativas.  
Q2. Espero que a maioria das respostas sejam negativas.  
Q3. Muitos não devem fazer nem esta demonstração. Resposta pessoal.  
Q4. Espero que a maioria das respostas sejam positivas.  
Q5. As equações são as mesmas que as colocadas nos livros textos.  
Q6. Os gráficos são de funções senoidais com amplitudes e fase diferentes.  
Q7. Deve observar que os módulos de  $V_x$  e  $V_y$  são menores que os de  $X$  e  $Y$  ( $V = X/r$ ).  
Q8. Ele deve verificar que as equações descrevem a conservação da energia.  
Q9. Ele deve verificar que o gráfico das energias cinéticas e potenciais são senoidais, mas sempre positivas.  
Q10. Deve verificar os valores numéricos se conferem com as equações.  
Q11. Espero que eles gostem, pois é muito bom. Mas, este modelo não pode ser usado em sala de aula, pois ele envolve equações diferenciais.

## COMENTÁRIOS SOBRE AS ATIVIDADES

A proposta da disciplina de Instrumentação é a de abordar tópicos da física que possam ser ilustrados com experimentos de baixo custo e que tenham vários recursos de multimídias. Assim, optamos começar abordando o MHS como nos livros universitários.

Devido às dificuldades dos alunos do ensino médio com a trigonometria, enriquecemos esta aula com muitos *applets* e modelos matemáticos que exploram e exemplificam esta disciplina.

Os *applets* sugeridos são muito fáceis de fazer e o mais importante, são ilustrativos. Muitos deles utilizamos no ensino médio através do projeto PIBID.

As vídeo aulas e *applets* de ensino são muito fáceis de entender e usar, e reforçam o aprendizado.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Frederico Borges de. **Equipe Brasil Escola**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/movimento-harmonico-simples.htm>>. Acesso em: 23/08/2012.

PRÄSS, Alberto Ricardo. Adaptado de “Física” de Carlos Alberto Gianotti e Maria Emília Baltar. **Física.net**. Disponível em: <[http://www.fisica.net/mecanicaclassica/mhs\\_movimento\\_harmonico\\_simples.pdf](http://www.fisica.net/mecanicaclassica/mhs_movimento_harmonico_simples.pdf)>. Acesso em: 23/08/2012.

MARQUES, Gil da Costa. **Ensino de Física On-line - e-Física**. Disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/>; <http://cepa.if.usp.br/gmarques/>>. Acesso em: 23/08/2012.

MAGALHÃES, Ivan de Abreu; MARCOLONGO, Willians Nascimento; OLIVARES, Viviane da S.; SCHWARZ, Bruna; SILVA, Wilian Faias da. Alunos da disciplina Produção de Material Didático (FEP 458). Licenciatura em Física - IFUSP -- Turma: Noturno/2005. **Atividades e Experimentos** – Produção de Material Didático. Frequência e Período do Movimento Harmônico. Disponível em: <[http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=\\_pmd2005\\_0302](http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=_pmd2005_0302)>. Acesso em: 23/08/2012.

MELLO, L. A. de; SANTOS, D. B. **Projeto PIBID**. Disponível em: <<http://www.fisica.ufs.br/ladmello>>. Acesso em: 23/08/2012.