

## Conceitos

Função explorada: senoidal.

Explore o movimento harmônico simples observando um pêndulo que balança livremente.

## Materiais

- ✓ calculadora
- ✓ CBR
- ✓ cabo de calculadora-para-CBR
- ✓ grampo de montagem
- ✓ cronômetro
- ✓ pêndulo
- ✓ trena
- ✓ TI ViewScreen (opcional)

Sugestões para pêndulos:

- bolas com tamanhos diferentes ( $\geq 2$ " diâmetro)
- latas de refrigerante (vazias e cheias)
- sacos de feijão

## Dicas

Consulte as páginas 6–12 para obter dicas para uma coleta de dados eficaz.

## Conexões físicas

Um objeto que executa um movimento periódico resultante de uma força de restauração proporcional ao seu deslocamento de sua posição de equilíbrio (repouso) é dito que exibe um movimento harmônico simples (MHS). O MHS pode ser descrito por duas quantidades.

- O período  $T$  indica o tempo para um ciclo completo.
- A amplitude  $A$  indica o deslocamento máximo do objeto de sua *posição de equilíbrio* (a posição do pêndulo quando está em repouso).

Para um único pêndulo, o período de  $T$  é determinado por:

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

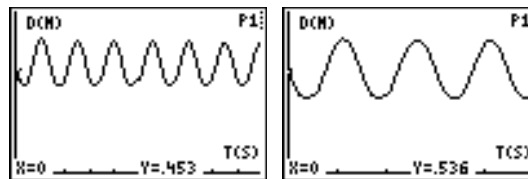
onde  $L$  indica o comprimento da corda e  $g$  indica a aceleração da gravidade.  $T$  não depende da massa do objeto ou da amplitude de seu movimento.

A frequência  $f$  (número de ciclos completos por segundo) pode ser encontrada a partir de:

$f = \frac{1}{T}$ , onde  $f$  está em hertz (Hz) quando  $T$  está em segundos.

As derivadas de uma "plotagem" senoidal também são senoidais. Observe especialmente a relação da fase entre a posição e a velocidade do pêndulo.

## "Plotagens" comuns



## Respostas comuns

1. varia (em metros)
2. varia (em metros)
3. varia (em segundos);  $T$  (um período) = tempo total de 10 períodos/10; calcular uma média sobre uma amostra maior tende a minimizar os erros inerentes de medidas
4. o comprimento total da curva, que deve ser aproximadamente 4 vezes a resposta da pergunta 2; porque uma curva é maior que uma reta
5. senoidal, repetitivo, periódico; distância do eixo  $x$  à posição de equilíbrio
6. cada ciclo é propagado horizontalmente; uma "plotagem" medida em 10 segundos deve conter mais ciclos na mesma quantidade de espaço da tela, portanto os ciclos parecerão estar mais próximos uns dos outros
7. (nº total de ciclos)/(5 segundos) = ciclos/segundo; mais fácil visualizar ciclos completos e erros de medidas menores
8.  $f = 1/T$ , onde  $T$  indica o tempo para 1 período
9. diminui o período, aumenta o período  
(O comprimento do pêndulo é diretamente proporcional ao tempo do período; quanto maior a corda, maior o período. Os alunos podem explorar essa relação usando o editor de listas da calculadora, onde eles podem calcular o período para diversos valores de  $L$ .)
10.  $A$  (amplitude) =  $\frac{1}{4}$  da distância total percorrida pelo pêndulo em 1 período
11. ambas senoidais; as diferenças estão na amplitude e na fase
12. posição de equilíbrio
13. quando posição = valor máximo ou mínimo (quando o pêndulo está na maior distância possível do equilíbrio).
14. Não afeta.  $T$  depende apenas de  $L$  e  $g$ , não da massa.

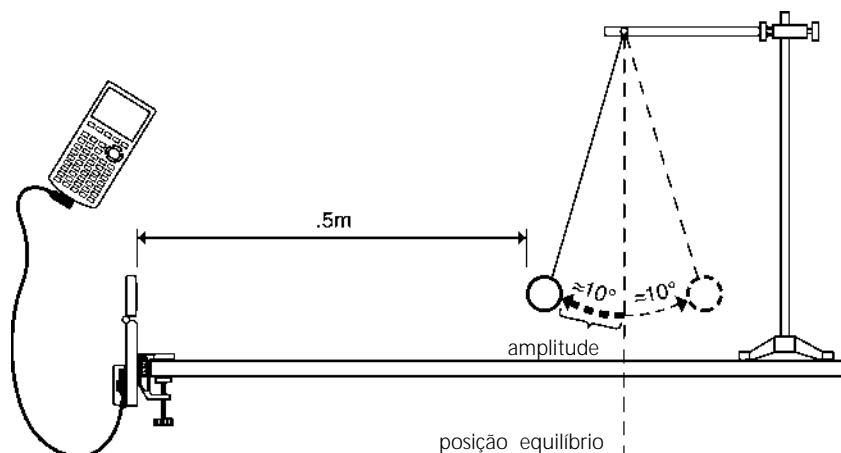
## Explorações avançadas

Coleta de dados: a "plotagem" de L2 versus L3 forma uma elipse.

## Coleta de dados

- 1 Monte o pêndulo. Alinhe o pêndulo para que ele balance em linha reta com o CBR.

**Dicas:** Posicione o CBR a pelo menos 0,5 metro (1,5 pés) da posição mais próxima do pêndulo. Certifique-se de que não haja nada na *área livre* (consulte a página 7).



- 2 Usando uma trena, meça a distância do CBR à posição de equilíbrio. **Responda a pergunta 1 na folha de atividades.**  
Meça a distância entre a posição de abandono do pêndulo e a posição de equilíbrio. **Responda a pergunta 2.**
- 3 Um ciclo de um pêndulo (um período) consiste em um movimento completo de ida e volta. Usando um cronômetro, marque dez períodos completos. **Responda as perguntas 3 e 4.**
- 4 Execute o programa RANGER (consulte a página 5 para obter as seqüências de teclas para cada calculadora). Um método eficiente é uma pessoa balançar o pêndulo enquanto a outra opera a calculadora e o CBR. No MAIN MENU (Menu Principal), selecione SETUP/SAMPLE (Configuração/Amostra).
- 5 Pressione **[ENTER]** para exibir as definições. Para essa atividade, elas devem ser:
  - REALTIME: NO
  - TIME (S): 10 SECONDS
  - DISPLAY: DISTANCE
  - BEGIN ON: [ENTER]
  - SMOOTHING: LIGHT
  - UNITS: METERS
- 6 As instruções para alterar uma definição estão na página 38. Quando elas estiverem corretas, selecione START NOW (Iniciar Agora).
- 7 Pressione **[ENTER]** quando estiver pronto para começar. Você pode ouvir o som de um clique à medida que os dados vão sendo coletados e a mensagem TRANSFERRING... (Transferindo) é exibida na calculadora.
- 8 Quando a coleta de dados estiver concluída, a calculadora exibirá automaticamente a "plotagem" de Distância-Tempo dos pontos de dados coletados. **Responda a pergunta 5.**

**Explorações****Coleta de dados 2**

No MAIN MENU (Menu Principal), selecione SETUP/SAMPLE (Configuração/Amostra). Na tela SETUP, altere o tempo de 10 para 5 segundos. Repita a coleta de dados. Observe a "plotagem". *Responda as perguntas 6 e 7.*

A quantidade determinada (ciclos por segundo) é chamada *freqüência*. Embora tenha calculado a freqüência na pergunta 7 usando a "plotagem", você poderá encontrá-la matematicamente a partir de:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{onde } T \text{ indica o período em segundos e } f \text{ indica a freqüência em hertz (Hz).}$$

*Responda a pergunta 8.*

**Coleta de dados 3 e 4**

Repita a coleta de dados de 5 segundos mais duas vezes. Primeiro, reduza a corda. Depois, aumente-a. Após observar essas "plotagens", *responda a pergunta 9.*

Outra importante medida de distância que afeta o movimento do pêndulo é a *amplitude*. A resposta da pergunta 2 era a amplitude do movimento do pêndulo. *Responda a pergunta 10.*

**Explorações avançadas****Coleta de dados 5**

No PLOT MENU (Menu "Plotagem"), selecione VELOCITY-TIME (Velocidade-Tempo). *Responda as perguntas 11, 12 e 13.*

**Coleta de dados 6**

Repita a coleta de dados com um pêndulo significativamente mais leve ou mais pesado e, em seguida, *responda a pergunta 14.*

Modele o comportamento distância-tempo do pêndulo usando a fórmula de uma função senoidal,  $S = A \sin(\omega t + \delta)$ , onde  $S$  indica a posição instantânea,  $A$  indica a amplitude,  $\omega$  indica a freqüência,  $\delta$  indica o ângulo da fase e  $t$  indica o tempo. A freqüência,  $\omega$ , está relacionada ao período,  $T$ , por  $\omega = 2\pi/T$ .

Digite essa equação no editor Y= usando os valores calculados de  $A$  e  $\omega$ . Simultaneamente, trace o gráfico da curva dessa função e a "plotagem" estatística de L1 (tempo) versus L2 (distância). Ajuste os valores de  $A$ ,  $\omega$  e  $\delta$  até que seja obtido um bom ajuste. Na TI-83 ou TI-86, use a regressão do seno para determinar os valores.

Explore a relação entre a posição e a velocidade, plotando L2 (distância) versus L3 (velocidade). Como você prevê o aspecto da "plotagem" resultante? Compare o resultado real com sua previsão.

# Atividade 3—Pêndulo

Nome \_\_\_\_\_

## Coleta de dados

1. Qual é a distância do CBR à posição de equilíbrio? \_\_\_\_\_
2. A que distância você afastará o pêndulo da posição de equilíbrio? \_\_\_\_\_
3. Qual foi o tempo para dez períodos? \_\_\_\_\_  
Calcule o tempo gasto (em segundos) para completar um período. \_\_\_\_\_  
Qual a vantagem de se calcular dez períodos completos em vez de apenas um? \_\_\_\_\_
4. Use a resposta da pergunta 2 e dê a distância total aproximada percorrida em um ciclo. \_\_\_\_\_  
Por que esse valor é menor que a distância real percorrida em um ciclo? \_\_\_\_\_
5. O que você observou na forma da "plotagem"? \_\_\_\_\_  
Como é o valor da pergunta 1 representado na "plotagem"? \_\_\_\_\_

## Explorações

6. Como é alterado o aspecto da "plotagem"? Por quê? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
7. Usando dados coletados de sua "plotagem", calcule o número de ciclos completos por segundo.  
\_\_\_\_\_  
Por que é mais fácil determiná-lo usando a segunda "plotagem" (ao final de 5 segundos) em vez da primeira (ao final de 10 segundos)? \_\_\_\_\_
8. Calcule a frequência para um período usando a equação. \_\_\_\_\_
9. Como a redução do comprimento da corda afeta o período do pêndulo? \_\_\_\_\_  
Como o aumento da corda afeta o período do pêndulo? \_\_\_\_\_
10. Qual a relação entre a amplitude do movimento do pêndulo e a distância total que o pêndulo percorre em um período? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Explorações avançadas

11. Compare a "plotagem" de Distância-Tempo com a "plotagem" de Velocidade-Tempo. Relacione as semelhanças e diferenças. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
12. Em qual posição está a velocidade máxima do pêndulo? \_\_\_\_\_
13. Em que posição está a velocidade mínima do pêndulo? \_\_\_\_\_
14. Como a alteração do peso afeta a "plotagem"? Por quê? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_