

**GFI00157 - Física por Atividades**

**Caderno de Atividades em Classe**

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Cinemática</b>	<b>4</b>
1.1	Velocidade . . . . .	4
1.2	Representações do Movimento . . . . .	7
1.3	Aceleração em uma dimensão . . . . .	11
1.4	Movimento em duas dimensões . . . . .	14
1.5	Movimento Relativo . . . . .	18
<b>2</b>	<b>Dinâmica da Partícula</b>	<b>22</b>
2.1	Forças . . . . .	22
2.2	Segunda e terceira leis de Newton . . . . .	26
2.3	Tensão . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Leis de Conservação</b>	<b>34</b>
3.1	Trabalho e o teorema trabalho-energia . . . . .	34
3.2	Variações da Energia e do Momento Linear . . . . .	37
3.3	Conservação de Momento em uma Dimensão . . . . .	41
3.4	Conservação do momento em duas dimensões . . . . .	44
<b>4</b>	<b>Mecânica de Corpos Rígidos</b>	<b>49</b>
4.1	Movimento de Rotação . . . . .	49
4.2	Dinâmica dos Corpos Rígidos . . . . .	53
4.3	Equilíbrio de Corpos Rígidos . . . . .	56
<b>5</b>	<b>Sistemas de muitas partículas</b>	<b>60</b>
5.1	Pressão em um líquido . . . . .	60
5.2	Empuxo . . . . .	64
5.3	A Lei dos Gases Ideais . . . . .	68
5.4	Primeira lei da Termodinâmica . . . . .	71
5.5	Superposição e reflexão de Pulsos . . . . .	76
5.6	Reflexão e Transmissão . . . . .	80
5.7	Propagação e refração de ondas periódicas . . . . .	84

<i>CONTEÚDO</i>	3
<b>6 Circuitos Elétricos</b>	<b>89</b>
6.1 Um modelo para circuitos (1): Corrente e resistência . . . . .	89
6.2 Um modelo para circuitos (2): Diferença de potencial . . . . .	93

# Parte 1

## Cinemática

### 1.1 Velocidade

#### Movimento com rapidez constante

Cada pessoa do grupo deve utilizar uma régua e receber uma fita com marcações de posições. Todas as fitas foram geradas com o mesmo marcador de tempo. Não escreva nada nas fitas a não ser o que for pedido, nem dobre-as. O instrutor irá explicar como funciona o marcador de tempo que gerou as fitas a serem analisadas.

**A.** Descreva o movimento representado pelas marcas em sua fita. Explique seu raciocínio.

**B.** Compare a sua fita com as de seus colegas de grupo.

Como se compara o tempo necessário para gerar uma das fitas mais curtas com o tempo necessário para gerar uma das fitas mais longas? Explique seu raciocínio.

Descreva como você poderia usar sua última resposta para ordenar as fitas em ordem crescente de rapidez.

**C.** Suponha que o marcador de tempo que gerou as fitas marque um ponto a cada  $1/60$  de segundo.

Que distância o objeto que gerou a sua fita se moveu em:  $1/60$  de segundo?  $2/60$  de segundo?  $3/60$  de segundo? Explique a sua resposta.

Faça uma *previsão* da distância que o objeto se moveria em: 1 segundo,  $1/120$  de segundo. Explique as suposições que você usou para fazer a previsão.

**D.** Descreva, com suas próprias palavras, um procedimento que poderia ser usado para calcular a rapidez de um objeto em movimento.

**E.** Determine a rapidez do objeto que gerou a sua fita. Registre sua resposta no verso da fita.

Dê uma interpretação para a rapidez do objeto, isto é, explique o significado do número que você acabou de calcular. Não use as palavras *velocidade* ou *rapidez* em sua resposta. (Dica: qual das distâncias calculadas no item C é numericamente igual à rapidez?)

Escreva a rapidez do objeto que gerou sua fita no verso da mesma. Exprima sua resposta em termos de centímetros e segundos.

**F.** Um movimento que gera uma sequência de pontos igualmente espaçados numa fita gerada por um marcador de tempo é chamado movimento com *rapidez constante*, ou *uniforme*. Explique o que se está supondo sobre o movimento quando este termo é aplicado.

Discuta com seus colegas de grupo se o objeto que gerou a sua fita se movia ou não com rapidez constante.

**G.** Um trem de brinquedo que se move com velocidade constante anda 60 cm a cada 1,5 s. Responda as perguntas abaixo e discuta seu raciocínio com os outros membros do grupo.

1. A quantidade  $40=60/1.5$  é normalmente chamada por algum nome especial? Qual?

Que informação adicional é necessária, além do número 40, para especificar completamente esta quantidade?

Como você *interpreta* o número 40 neste contexto? (*Note bem*: um nome **não** é uma interpretação. Sua resposta deve ser dada em termos de centímetros e segundos).

Use a sua interpretação (e não álgebra!) para encontrar a distância que o trem se move em 2.5 s.

2. A quantidade  $0.025=1.5/60$  é normalmente chamada por algum nome especial? Qual?

Como você interpretaria o número 0.025?

Use a sua interpretação (e não álgebra!) para encontrar o tempo que demora para o trem percorrer 90 cm.

## Movimento com rapidez variável

**A.** Esboce como seria uma fita gerada por um objeto em movimento com rapidez variável. Escreva uma descrição do movimento.

Que característica(s) do seu esboço nos autoriza(m) a concluir que o movimento tem rapidez variável?

**B.** Compare o seu segmento de fita com os dos outros alunos da turma, de modo a formar uma fila ordenada de acordo com a velocidade de cada segmento de fita. Discuta as questões seguintes com a turma inteira.

Compare o seu segmento de fita com os dos seus vizinhos imediatos. O que você observa?

Compare as fitas que têm a maior e a menor velocidade. O que você observa?

**C.** Responda as questões a seguir baseando-se nas observações que você acabou de fazer sobre o seu segmento de fita e os dos seus colegas.

Cada segmento de fita pequeno é parte de um movimento com rapidez constante ou variável?

Você consegue verificar se o movimento todo que gerou a fita tinha rapidez constante ou variável examinando um único segmento de fita pequeno?

**D.** Reveja a interpretação que você deu à rapidez de um movimento quando examinou o segmento de fita pequeno (na seção 1).

Esta interpretação pode ser aplicada ao movimento inteiro?

Baseado na rapidez expressa em seu pedaço de fita você poderia prever a distância percorrida pelo objeto em:  $1/60$  s?  $2/60$  s? 1 s?

Como você poderia modificar sua interpretação da rapidez de um movimento para que ela se aplique mesmo no caso de movimentos com rapidez variável?

Que nome é dado à velocidade interpretada desta maneira?

**E.** Suponha que você selecionou dois pontos na fita inteira, montada na parte B, que estão bastante separados entre si.

Como você chamaria o número obtido se você dividir a distância entre os pontos pelo tempo que o objeto levou para ir de um ponto ao outro?

Como você interpreta este número?

## 1.2 Representações do Movimento

Nesta atividade você vai simular o uso de um detetor de movimentos para fazer gráficos e investigar como o movimento pode ser descrito em termos da posição, velocidade e aceleração.

### Instruções

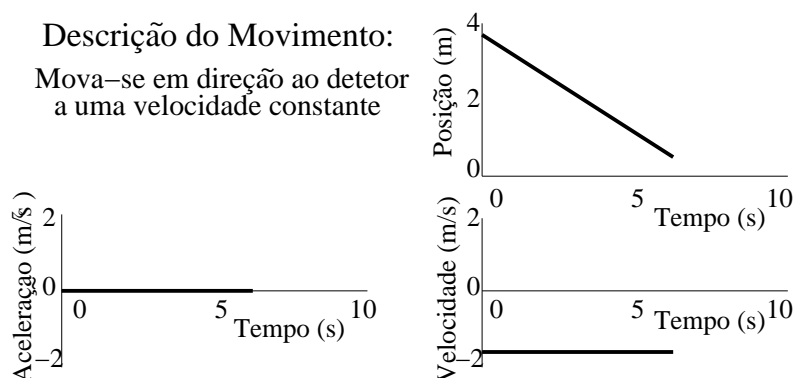
Para cada problema, será dado a você uma das seguintes descrições de um movimento:

- uma descrição por escrito, ou
- um gráfico de  $x \times t$ ,  $v \times t$  ou  $a \times t$ .

Dada uma das descrições do movimento, componha as outras três. Responda a seguir as questões (E, I e M) expostas no fim de cada página.

*Nota:* No desenho de seus gráficos, preocupe-se em enfatizar suas características mais importantes, ao invés de mostrar desenhos "tortuosos".

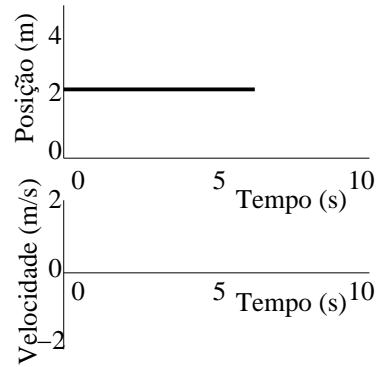
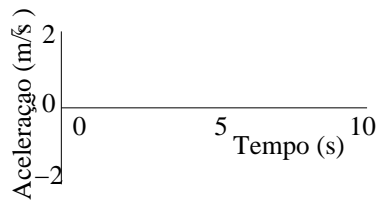
*Exemplo:* O problema abaixo foi feito como exemplo, usando-se um sistema computadorizado acoplado ao detetor de movimentos.



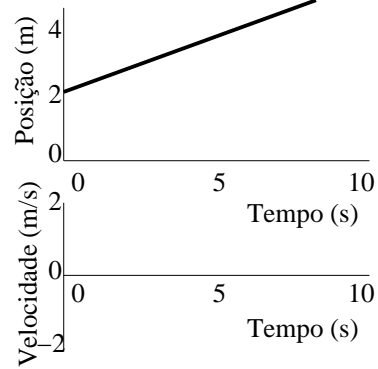
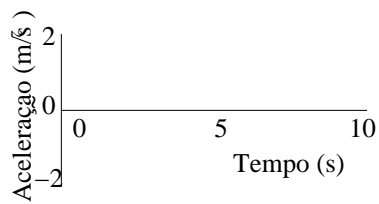
**A.** O programa de computador assume um sistema de coordenadas particular. Descreva este sistema de coordenadas.

**B.**

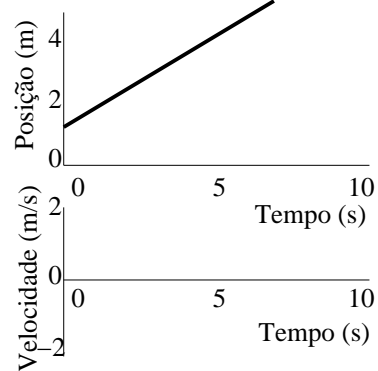
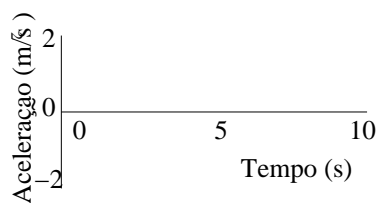
Descrição do Movimento:

**C.**

Descrição do Movimento:

**D.**

Descrição do Movimento:

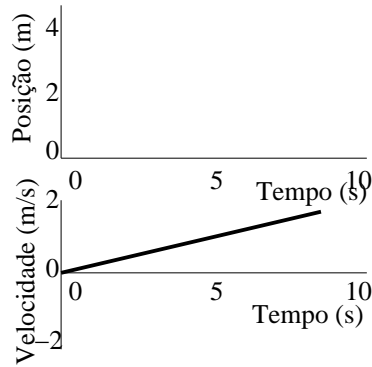
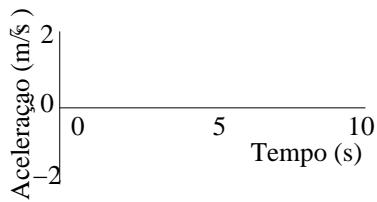


**E.** Quais são as semelhanças entre os movimentos dos itens C e D? Em que diferem? Quais são as semelhanças entre seus gráficos? Quais são as diferenças?

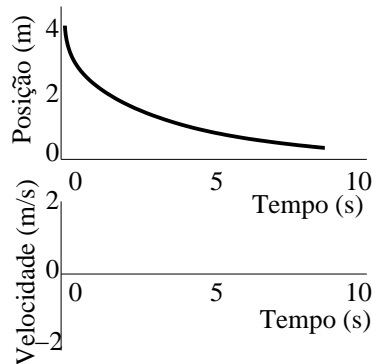
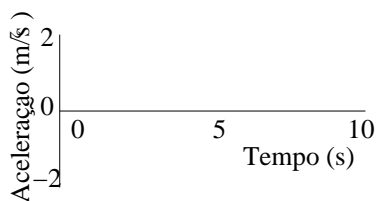


**F.**

Descrição do Movimento:

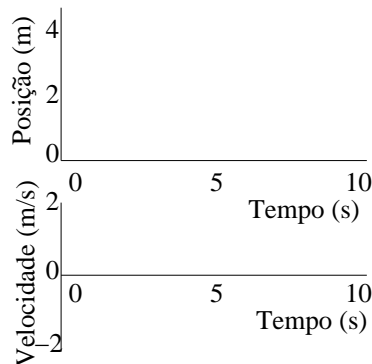
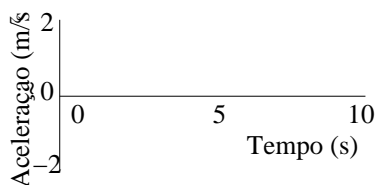
**G.**

Descrição do Movimento:

**H.**

Descrição do Movimento:

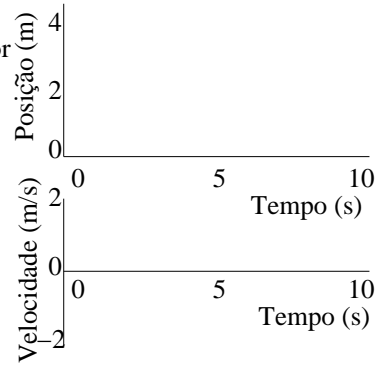
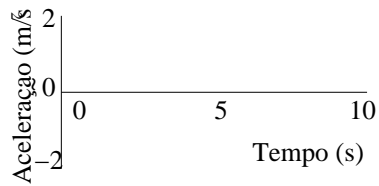
Mova-se em direção ao detector cada vez mais lentamente; depois de chegar ao repouso, mova-se na direção oposta cada vez mais rapidamente.



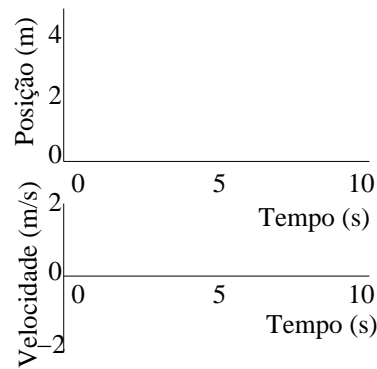
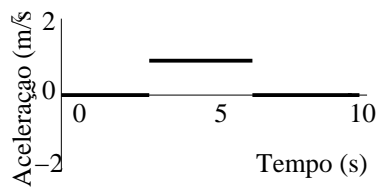
**I.** Como se comparam as acelerações mostradas nos gráficos F, G, e H? É possível ter-se: uma aceleração positiva e estar se movendo cada vez mais lentamente? uma aceleração negativa e estar se movendo cada vez mais rápido? Dê exemplos.

**J.**

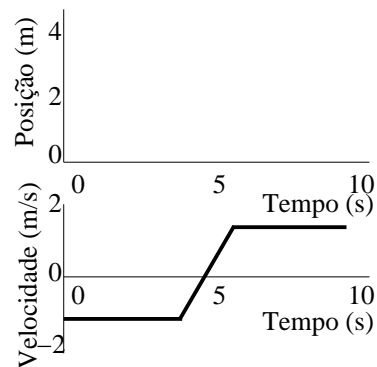
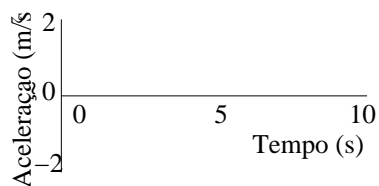
Descrição do Movimento:  
Inicialmente distancia-se do detetor mantendo uma aceleração negativa constante.

**K.**

Descrição do Movimento:

**L.**

Descrição do Movimento:

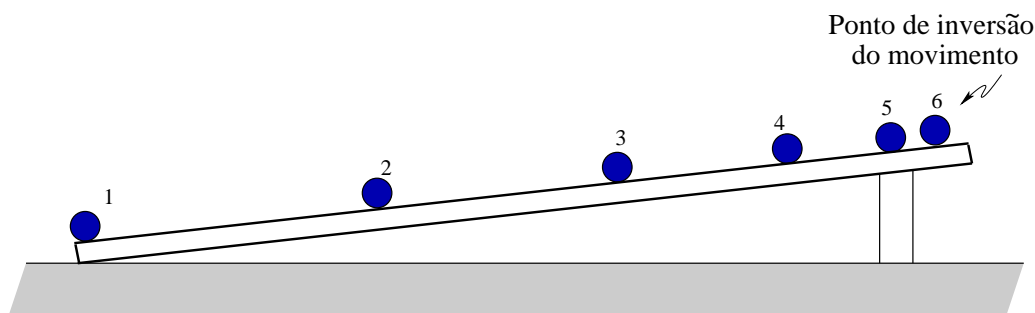


**M.** O termo desaceleração é geralmente usado para indicar que o objeto está se movendo cada vez mais lentamente. Este termo especifica o sinal da aceleração? Explique.

## 1.3 Aceleração em uma dimensão

### Movimento com velocidade decrescente

O diagrama abaixo representa a fotografia estroboscópica (de múltipla exposição) de uma bola que está subindo uma rampa. (Numa fotografia estroboscópica, a posição de um objeto é mostrada em instantes separados por intervalos de tempos iguais.)



**A.** Use o diagrama para desenhar vetores que representem a velocidade instantânea da bola em cada uma das posições indicadas. Se a velocidade for igual a zero em algum ponto, indique isto de forma explícita. Explique por que você desenhou os vetores da maneira que você fez.

Nós chamaremos diagramas iguais aos que você desenhou acima de *diagramas de velocidade*. A menos que especificado diferentemente, um diagrama de velocidade mostra simultaneamente a posição e a velocidade de um objeto em instantes que são separados por intervalos de tempo iguais.

**B.** Compare as velocidade nos pontos 1 e 2 esboçando os vetores que as representam. Desenhe os vetores lado a lado e nomeie-os como  $\vec{v}_1$  e  $\vec{v}_2$ , respectivamente.

Desenhe o vetor que precisa ser *adicionado* à velocidade no instante imediatamente anterior para obter-se a velocidade no instante presente. Chame esse vetor de  $\Delta\vec{v}$ .

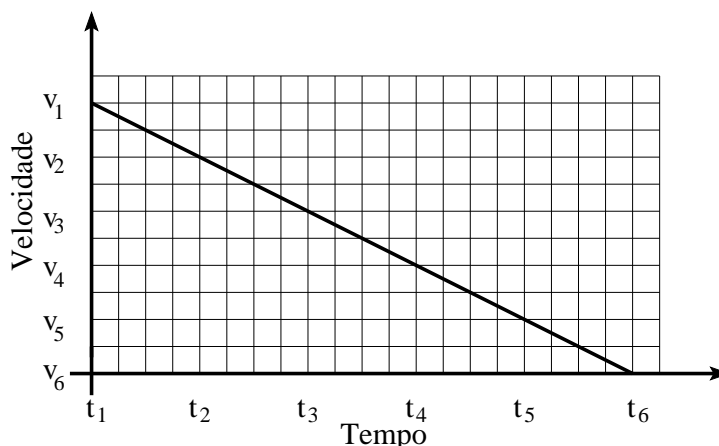
Por que o nome *variação da velocidade* é apropriado para esse vetor?

Como a direção do vetor variação da velocidade se compara com a direção dos vetores velocidade?

Suas respostas mudariam se você tivesse que selecionar dois pontos consecutivos diferentes (pontos 3 e 4, por exemplo) durante a subida da bola? Explique.

Como se compara o módulo do vetor variação da velocidade entre os pontos 1 e 2 com o módulo do vetor variação da velocidade entre dois pontos consecutivos

diferentes (pontos 3 e 4, por exemplo)? Explique. (Pode ser útil se referir ao gráfico  $v \times t$  para este movimento.)



Note que o sentido positivo de movimento escolhido é o da *subida*.

**C.** Considere o vetor variação da velocidade entre dois pontos não consecutivos do diagrama de velocidade, pontos 1 e 4, por exemplo.

A direção e sentido do vetor variação da velocidade são diferentes do que se ele fosse determinado entre dois pontos consecutivos? Explique.

O tamanho do vetor variação da velocidade é, neste caso, diferente do tamanho que teve quando determinado entre pontos consecutivos? Caso afirmativo, quantas vezes maior ou menor ele é em relação ao vetor variação da velocidade para pontos consecutivos? Explique.

**D.** Use a definição de aceleração para desenhar um vetor que represente a aceleração da bola entre os pontos 1 e 2.

Como a direção e sentido do vetor aceleração estão relacionados com a direção e sentido do vetor variação da velocidade? Explique.

**E.** A aceleração muda à medida que a bola sobe a rampa? O vetor aceleração que você obteve seria diferente se você tivesse escolhido (1) dois pontos diferentes e consecutivos no seu diagrama ou (2) dois pontos que não são consecutivos? Explique.

**F.** Generalize seus resultados até aqui para responder as seguintes questões:

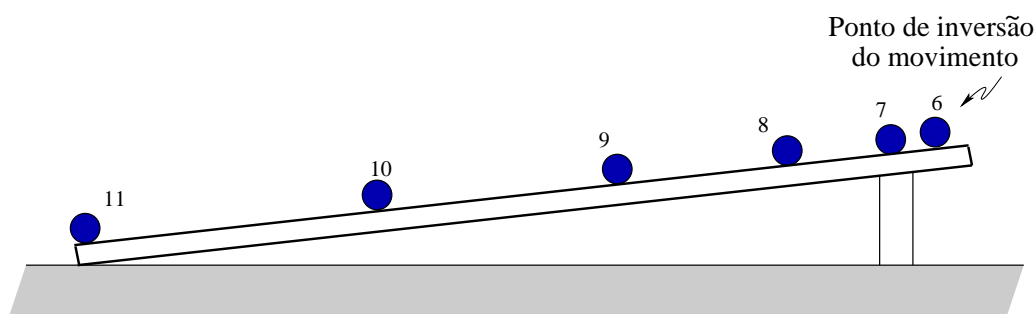
Qual é a relação entre a direção e sentido da aceleração e a direção e sentido da velocidade para um objeto que está se movendo em uma linha reta e andando cada

vez mais devagar? Explique.

Descreva a direção e sentido da aceleração da bola que está subindo uma rampa reta.

### Movimento com velocidade crescente

O diagrama abaixo representa uma fotografia estroboscópica de uma bola que está descendo a rampa.



**A.** Escolha dois pontos sucessivos. Esboce os vetores velocidade correspondentes a estes pontos. Desenhe os vetores lado a lado e nomeie-os  $\vec{v}_i$  e  $\vec{v}_f$ , respectivamente.

Determine o vetor que precisa se adicionado à velocidade num dado instante para obter-se a velocidade no instante imediatamente posterior. O nome *variação da velocidade* é apropriado para esse vetor?

Como a direção e sentido do vetor variação da velocidade se comparam com a direção e sentido dos vetores velocidades nesse caso?

Suas respostas mudariam caso você tivesse escolhido dois pontos diferentes durante o tempo em que a bola estava andando cada vez mais rápido? Explique

**B.** Desenhe um vetor que represente a aceleração da bola entre os pontos escolhidos acima.

Como a a direção e sentido do vetor variação da velocidade estão relacionados com a direção e sentido do vetor aceleração? Explique.

Generalize seus resultados até aqui para responder às seguintes questões:

Qual é a relação entre a direção e sentido da aceleração e a direção e sentido da velocidade para um objeto que está se movendo em uma linha reta e andando cada vez mais rápido? Explique.

Descreva a direção e sentido da aceleração de uma bola que está descendo uma

rampa reta.

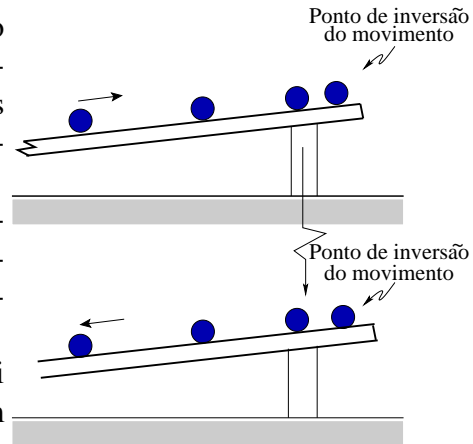
### Movimento que inclui mudança de sentido

Complete o diagrama de velocidade abaixo para a porção do movimento que inclui o ponto onde há inversão do movimento.

A. Escolha um ponto *antes* da inversão e outro ponto *depois* da inversão. Desenhe os vetores velocidade nestes dois pontos e nomeie-os como  $\vec{v}_i$  e  $\vec{v}_f$ , respectivamente.

Desenhe o vetor que precisa ser adicionado à velocidade em um dado instante para obter-se a velocidade no instante imediatamente posterior.

O nome *variação da velocidade* que foi usado nas seções 1.1 e 1.2 é também apropriado para esse vetor?



B. Suponha que você tenha escolhido o ponto de inversão como um dos seus pontos.

Qual é a velocidade no ponto de inversão de movimento?

Esta escolha afeta a direção e sentido do vetor variação de velocidade? Explique porque ou porque não.

C. Desenhe um vetor que represente a aceleração da bola entre o ponto que você escolheu na parte B acima.

Compare a direção e sentido da aceleração da bola no ponto de inversão de movimento e num ponto onde a bola está em movimento: (1) subindo a rampa e (2) descendo a rampa.

## 1.4 Movimento em duas dimensões

### Velocidade

Um objeto move-se ao longo de uma trajetória oval. Esboce a trajetória do objeto numa folha de papel grande (faça um esboço bem grande).

A. Escolha um ponto para servir como origem do seu sistema de coordenadas.

Chame-o de  $O$  (origem). Escolha duas posições do objeto distantes uma da outra de aproximadamente um oitavo da volta completa, e chame-as  $A$  e  $B$ .

1. Desenhe os vetores posição dos pontos  $A$  e  $B$  e desenhe o vetor que representa o deslocamento de  $A$  para  $B$ .

2. Descreva como usar o vetor deslocamento para determinar a direção e sentido da velocidade média do objeto entre  $A$  e  $B$ . Desenhe um vetor que represente a velocidade média.

3. Escolha um ponto na trajetória entre os pontos  $A$  e  $B$ , e chame-o  $B'$ .

Conforme você escolhe o ponto  $B'$  cada vez mais perto do ponto  $A$ , a direção e o sentido da velocidade média no intervalo  $AB'$  mudam? Caso mudem, mudam como?

4. Descreva a direção e sentido da velocidade instantânea do objeto no ponto  $A$ .

Como você caracterizaria a direção e sentido da velocidade instantânea do objeto num ponto qualquer da trajetória?

Sua resposta depende do módulo da velocidade do objeto estar diminuindo, aumentando, ou permanecendo constante? Explique.

**B.** Se você escolhesse outro ponto que não  $O$  para origem do seu sistema de coordenadas, que vetores desenhados na parte **A** mudariam, e quais não mudariam?

### **Aceleração num movimento com módulo da velocidade constante**

Suponha que o objeto da seção anterior move-se ao longo da sua trajetória com módulo da velocidade constante. Desenhe vetores para representar a velocidade em dois pontos da trajetória que estejam relativamente próximos entre si (faça-os grandes). Chame os pontos escolhidos de  $C$  e  $D$ .

**A.** Copie os vetores velocidade  $\vec{v}_C$  e  $\vec{v}_D$  a partir de uma mesma origem na folha de papel. A partir deles, determine a variação do vetor velocidade,  $\Delta\vec{v}$ .

1. O ângulo formado entre a “ponta” de  $\vec{v}_C$  e o “rabo” de  $\Delta\vec{v}$  é maior, menor ou igual a  $90^\circ$ ?

Conforme o ponto  $D$  é escolhido cada vez mais próximo de  $C$ , o ângulo aumenta, diminui, ou continua o mesmo? Explique como você consegue determinar isso.

O ângulo se aproxima de um valor limite? Caso se aproxime, que valor é esse?

2. Descreva como você pode usar a variação de velocidade do objeto entre os pontos  $C$  e  $D$  para determinar a aceleração média do objeto entre estes pontos.

Desenhe um vetor que represente a aceleração média entre os pontos  $C$  e  $D$ .

O que acontece com o tamanho de  $\Delta\vec{v}$  conforme  $D$  é escolhido cada vez mais próximo de  $C$ ? O tamanho da aceleração muda da mesma maneira? Explique.

Considere a direção da aceleração no ponto  $C$ . O ângulo entre o vetor aceleração e o vetor velocidade é maior, menor ou igual a  $90^\circ$ ? (Nota: o ângulo entre dois vetores é definido como aquele formado quando eles são desenhados a partir de uma mesma origem.)

**B.** Suponha que você escolhesse um ponto da trajetória onde a curvatura é diferente daquela no ponto  $C$ .

A magnitude (ou módulo) da aceleração neste novo ponto é maior, menor ou igual àquela no ponto  $C$ ? Explique.

Descreva a direção e sentido da aceleração neste novo ponto.

**Verifique seu raciocínio com o instrutor antes de prosseguir.**

### **Aceleração num movimento com módulo da velocidade variável.**

Suponha que o objeto está se movendo cada vez mais rapidamente conforme ele percorre sua trajetória oval. Desenhe vetores para representar a velocidade em dois pontos da trajetória que estejam relativamente próximos entre si (faça-os grandes). Chame os pontos escolhidos de  $E$  e  $F$ .

**A.** Copie os vetores velocidade  $\vec{v}_E$  e  $\vec{v}_F$  a partir de uma mesma origem na folha de papel. A partir deles, determine a variação do vetor velocidade,  $\Delta\vec{v}$ .

1. O ângulo  $\theta$  formado entre a “ponta” de  $\vec{v}_E$  e o “rabo” de  $\Delta\vec{v}$  é maior, menor ou igual a  $90^\circ$ ?

Considere como  $\theta$  muda conforme o ponto  $F$  é escolhido cada vez mais próximo de  $E$ . Que valor ou intervalo de valores esse ângulo pode assumir para um objeto cuja velocidade está aumentando? Explique.

O que acontece com o módulo de  $\Delta\vec{v}$  conforme  $F$  é escolhido cada vez mais perto de  $E$ ?

2. Descreva como você pode determinar a aceleração do objeto no ponto  $E$ .

Considere a direção da aceleração no ponto  $E$ . O ângulo entre os vetores velocidade e aceleração é maior, menor ou igual a  $90^\circ$ ?

**B.** Suponha que o objeto tenha partido do repouso no ponto  $E$  e se movido em direção a  $F$  cada vez mais rapidamente. Como você determinaria a aceleração no

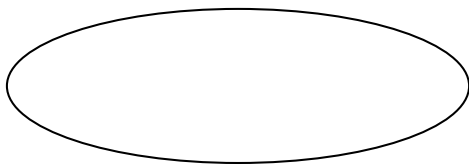


ponto  $E$ ?

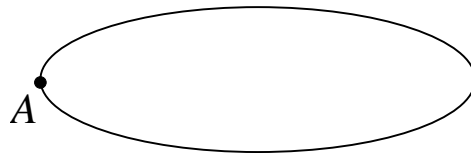
Descreva a direção e sentido da aceleração do objeto no ponto  $E$ .

C. Escolha vários pontos nos diagramas abaixo e desenhe vetores que representem a aceleração do objeto nestes pontos.

Movimento sempre com a mesma rapidez



Parte do repouso em A e se move cada vez mais rapidamente

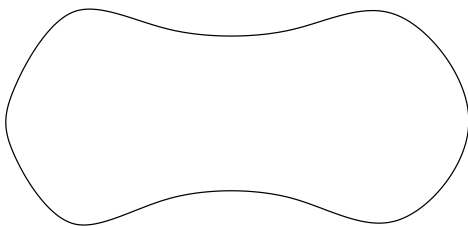


Caracterize a direção e sentido do vetor aceleração em cada ponto para cada caso.

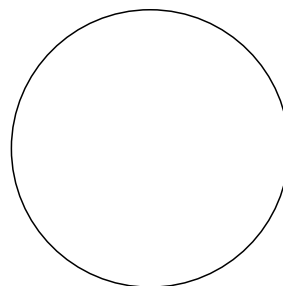
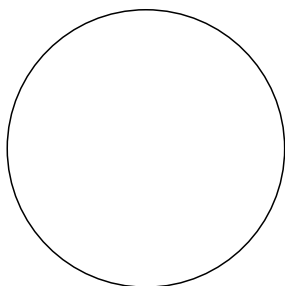
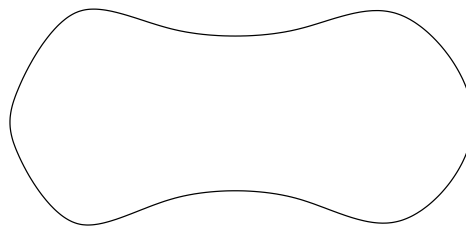
A aceleração está apontando para o “centro” da trajetória oval em algum dos casos?

Desenhe setas para indicar a direção e sentido da aceleração para as seguintes trajetórias:

módulo da velocidade constante



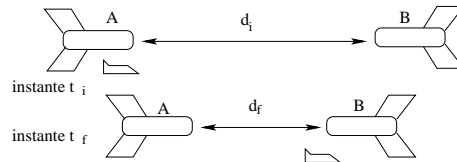
módulo da velocidade crescente



## 1.5 Movimento Relativo

### Posição e deslocamento relativos para diferentes observadores

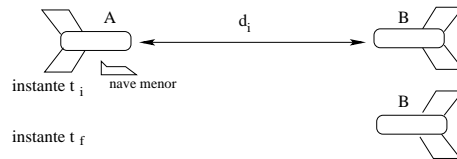
Duas espaçonaves, A e B, movem-se uma em direção a outra como mostra a figura. No instante  $t_i$ , a espaçonave A lança uma pequena nave em direção à espaçonave B. No instante  $t_f$ , a nave menor alcança a espaçonave B.



A. O segundo diagrama a direita mostra a posição das espaçonaves A, B, e da nave menor no instante  $t_i$  no referencial da espaçonave B.

Esboce a espaçonave A e a nave menor em suas posições no instante  $t_f$  como medido no referencial da espaçonave B.

Diagrama para o referencial da espaçonave B



Explique como o diagrama é consistente com o fato de que, em seu próprio referencial, a espaçonave B não está se movendo.

Desenhe e nomeie vetores para as seguintes quantidades:

- $\vec{x}_{S,B}^{(i)}$  (a *posição inicial* da nave menor no referencial da espaçonave B)
- $\vec{x}_{S,B}^{(f)}$  (a *posição final* da nave menor no referencial da espaçonave B)
- $\Delta\vec{x}_{S,B}$  (o *deslocamento*, ou *mudança na (de) posição*, da nave menor no referencial da espaçonave B).

A quantidade  $\Delta\vec{x}_{S,B}$  está associada com:

- *um único instante no tempo* ou *um intervalo de tempo*? Explique.
- *a distância entre dois objetos* ou *a distância percorrida por um simples objeto*? Explique.

Descreva como você poderia usar  $\Delta\vec{x}_{S,B}$  para determinar a velocidade da nave menor no referencial da espaçonave B.

**B.** A figura das espaçonaves e a nave menor da página anterior foi repetida à direita.

O diagrama abaixo da figura mostra a posição das duas espaçonaves e da nave menor no instante  $t_i$ , no referencial da espaçonave A.

Esboce as espaçonaves A, B, e a nave menor em suas posições no instante  $t_f$  como medidas no referencial da espaçonave A.

Desenhe e nomeie vetores para  $\vec{x}_{S,A}^{(i)}$ ,  $\vec{x}_{S,A}^{(f)}$ , e  $\Delta\vec{x}_{S,A}$ .

Descreva como você poderia usar  $\Delta\vec{x}_{S,A}$  para determinar a velocidade da nave menor no referencial da espaçonave A.

O módulo da velocidade da nave menor no referencial da espaçonave A é *maior*, *menor* ou *igual* ao módulo da velocidade da nave menor no referencial da espaçonave B. Explique.

**C.** Enumere em ordem decrescente de módulos  $d_i$ ,  $d_f$ ,  $|\Delta\vec{x}_{S,A}|$ , e  $|\Delta\vec{x}_{S,B}|$ . Certifique-se de que sua enumeração está consistente com os resultados anteriores.

**D.** Uma espaçonave C move-se de forma a permanecer a uma distância fixa atrás da espaçonave B durante todo o tempo.

O diagrama abaixo mostra as posições das três naves espaciais e da nave menor no instante  $t_i$ , no referencial da espaçonave C.

Mostre no diagrama as posições das espaçonaves e da nave menor no instante  $t_f$ , como medido no referencial da espaçonave C.

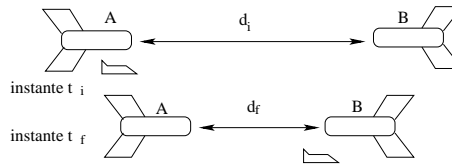


Diagrama para o referencial da espaçonave A

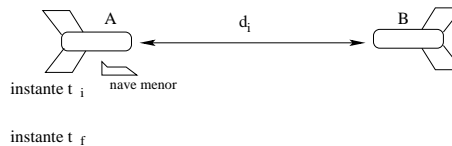
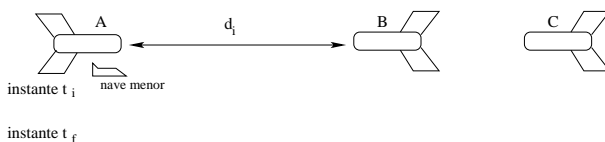


Diagrama para o referencial da espaçonave C



Desenhe e nomeie vetores para  $\vec{x}_{S,C}^{(i)}$ ,  $\vec{x}_{S,C}^{(f)}$ , e  $\Delta\vec{x}_{S,C}$ .

O módulo do deslocamento da nave menor no referencial da espaçonave C é

maior, menor ou igual ao módulo do deslocamento da nave menor no referencial da espaçonave B? Explique.

E. Considere a seguinte afirmação:

“O deslocamento da nave menor é maior em relação a espaçonave C do que em relação a espaçonave B. No instante  $t_f$ , a nave menor está bem próxima a espaçonave B, mas ainda está bem longe da espaçonave C.”

Você concorda ou discorda? Explique.

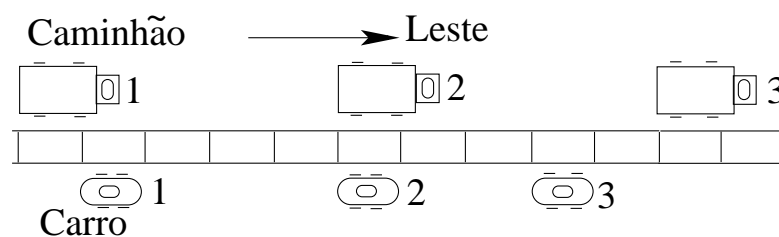
**Se todos os deslocamentos de um objeto (como o da nave menor) medidos têm o mesmo valor para dois observadores diferentes, estes observadores são ditos estar *no mesmo referencial*.**

F. Diga quais das espaçonaves, se alguma, estão em um mesmo referencial. Explique.

Generalize suas respostas para descrever sob que condições dois observadores estarão em um mesmo referencial.

## Velocidade Relativa

Um carro e um caminhão se movem em uma estrada reta. Suas posições são mostradas nos instantes de 1 a 3, separados por intervalos de tempo iguais.



A. Descreva o movimento do carro e do caminhão (*isto é*, a direção do movimento de cada objeto e se está se movendo cada vez mais rápido, cada vez mais devagar, ou mantendo rapidez constante).

B. Complete o diagrama abaixo desenhando o carro e o caminhão em suas posições nos instantes 2 e 3 como *medido no referencial do caminhão*.

Explique como seu diagrama preenchido é consistente com o fato do caminhão estar em repouso em seu próprio referencial.

C. Use seu diagrama preenchido para esboçar os vetores velocidade média para o carro *no referencial do caminhão* para os intervalos indicados.

No referencial do caminhão:

- O carro está se movendo para o *leste*, para o *oeste* ou *está em repouso*? Explique.
- O carro está *se movendo cada vez mais rápido*, *se movendo cada vez mais devagar* ou *mantendo sua rapidez constante*? Explique.

D. Durante um pequeno intervalo de tempo  $\Delta t$  que se estende de um pouco antes a um pouco depois do instante 2, o carro se move para o *leste*, para o *oeste*, ou *se mantém em repouso* no referencial do caminhão? Explique.

Desenhe uma flecha para indicar a direção e sentido do vetor velocidade *instantânea* do carro no referencial do caminhão no instante 2. Se a velocidade for nula, declare isto de forma explícita.

Considere as seguintes afirmações:

Afirmação 1: “No instante 2, o carro e o caminhão estão lado a lado, logo a velocidade do carro no referencial do caminhão é zero neste instante.”

Afirmação 2: “Antes do instante 2, o caminhão está alcançando o carro, logo o caminhão vê o carro se movendo cada vez mais devagar.”

Você concorda ou discorda destas afirmações? Explique.

⇒ **Discuta seus raciocínios com um instrutor.**

Diagrama para o referencial do caminhão

Instante 1				
Instante 2				
Instante 3				

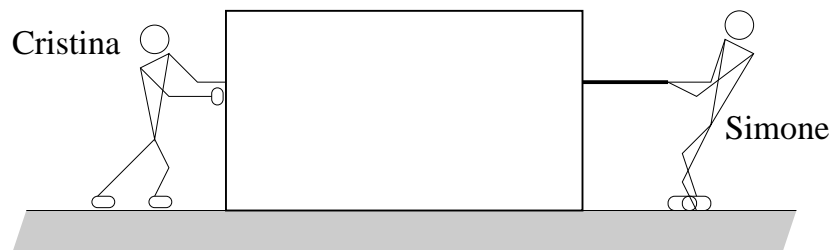
## Parte 2

# Dinâmica da Partícula

## 2.1 Forças

### Identificando forças

Duas pessoas tentam mover uma caixa grande. A caixa, entretanto, não se move. Cristina está empurrando a caixa e Simone está puxando uma corda que está amarrada à caixa.



**A.** Desenhe um ponto grande (bem visível) numa folha de papel em branco, para representar a caixa. Desenhe vetores partindo do ponto para mostrar as forças exercidas *sobre* o bloco. Não se preocupe, no momento, com o tamanho desses vetores. Atribua um rótulo a cada vetor e escreva, perto dele, uma breve descrição da força que ele representa.

**Na física Newtoniana supõe-se que todas as forças têm origem em alguma interação entre dois objetos. Para especificar-se uma força é necessário dizer em que objeto ela age, e qual objeto *exerce* a força. Por exemplo, na situação acima, existe uma força gravitacional sendo exercida *pela* Terra *sobre* o bloco.**

**B.** Descreva as outras forças que você identificou no item A de acordo com o critério acima (*quem exerce e sobre quem atua*).

O diagrama que você desenhou é comumente chamado de *diagrama de forças*. Este diagrama deve conter apenas as forças que agem *sobre* o corpo em questão (no caso acima, as forças sobre a caixa). Verifique se o seu diagrama está condizente com esta definição, e corrija-o se for necessário.

**Um diagrama de forças bem feito não deve ter *nada* além da representação do objeto e as forças (devidamente identificadas) que atuam *sobre* o objeto. Um diagrama de forças nunca deve conter 1) forças exercidas *pelos* objetos em questão sobre outros objetos ou 2) esboços de outros objetos que fazem força sobre o objeto em questão.**

C. Todas as forças têm origem em interações entre diferentes objetos, mas as interações têm formas variadas.

Quais das forças exercidas sobre a caixa exigem *contato direto* entre a caixa e o objeto que faz a força?

Quais das forças exercidas sobre o bloco *não provêm* de contato direto entre a caixa e os objetos que as exercem?

**Chamaremos as forças que dependem de contato de *forças de contato*, e as outras de *forças de ação à distância*.**

D. Existem vários tipos diferentes de forças (embora todas elas sejam, de alguma forma, resultado da combinação das quatro forças fundamentais). Exemplos são as forças de atrito ( $\vec{F}_{at}$ ), forças de tensão ou tração ( $\vec{T}$ ), forças magnéticas ( $\vec{F}_{mag}$ ), forças normais ( $\vec{N}$ ) e a força gravitacional, popularmente conhecida como força peso ( $\vec{P}$ ). Classifique as forças listadas identificando quais são forças de contato e quais são forças de ação à distância.

E. Considere a seguinte discussão entre dois estudantes:

- Estudante 1: “*Eu acho que o diagrama de forças para a caixa deveria conter uma força feita por Cristina, uma força feita pela corda, e uma força feita por Simone*”
- Estudante 2: “*Eu não acho que o diagrama deveria ter uma força feita por Simone. As pessoas não conseguem exercer forças sobre caixas sem tocar nas caixas.*”

Você concorda com algum dos dois estudantes? Qual? Explique seu raciocínio.

Em geral é conveniente identificar as forças com rótulos que deixem claro 1) o tipo de força, 2) o objeto sobre o qual a força é exercida e 3) o objeto que exerce a

força. Por exemplo, a força gravitacional exercida *sobre* a caixa *pela* Terra poderia ser denotada  $\vec{P}_{CT}$ .

**F.** Identifique cada uma das forças no seu diagrama de forças (feito na parte A) da maneira descrita acima.

Esperamos até que o instrutor verifique o seu diagrama de forças para seguir adiante

### Desenhando diagramas de forças

**A.** Esboce o diagrama de forças para um livro em repouso sobre uma mesa plana. (*Lembre-se:* Um diagrama de forças bem feito não deve conter nada além do objeto em questão e das forças que agem sobre ele.)

Certifique-se de que o rótulo escolhido para cada força indica claramente:

- o tipo de força (gravitacional, atrito, normal, *etc.*).
  - o objeto sobre o qual a força age e
  - o objeto que exerce a força.
- i. Que evidências você tem da existência de cada uma das forças no seu diagrama?
  - ii. Que fatos você pode utilizar para determinar as intensidades relativas das forças que agem sobre o livro?

Como você representou as intensidades relativas de cada força no diagrama?

**B.** Um segundo livro, de massa maior que o primeiro, é colocado sobre aquele.

Esboce um diagrama de forças para cada um dos livros, rotulando as forças como na parte A.

Especifique as forças de contato e as de ação à distância.

1. Examine as forças nos dois diagramas que você desenhou. Explique porque as forças que aparecem em um deles não aparecem no outro.
2. Que tipo de força o livro de cima exerce sobre o de baixo? Por quê seria incorreto dizer que o peso do livro de cima atua sobre o livro de baixo?
3. Que fatos você poderia utilizar para determinar as intensidades relativas das forças que atuam sobre o livro de cima?



4. Existem forças agindo sobre o livro de baixo que têm a mesma intensidade de alguma força que age sobre o livro de cima? Explique seu raciocínio.

**C.** Compare o diagrama de forças do livro de baixo com o diagrama para o mesmo livro desenhado na parte A (ou seja, antes de colocarmos o segundo livro sobre o primeiro).

Quais forças mudaram com a adição do segundo livro, e quais permaneceram iguais?

Como discutimos anteriormente, costumamos pensar em cada força que age sobre um objeto como sendo exercida por um outro objeto. O primeiro objeto exerce uma força sobre o segundo que é igual em intensidade e tem sentido oposto ao da força que o segundo exerce sobre o primeiro. O conjunto destas duas forças costuma ser chamado de *par ação-reação*.

**D.** Quais das forças mostradas nos seus dois diagramas formam um par ação-reação? Sobre que objeto cada uma das forças do par age?

Identifique os pares ação-reação fazendo uma ou mais pequenas marcas em forma de “x” em cada membro do par. Por exemplo, se você identificou dois pares, marque os membros do primeiro par com um “x” e os do segundo com dois “x”:

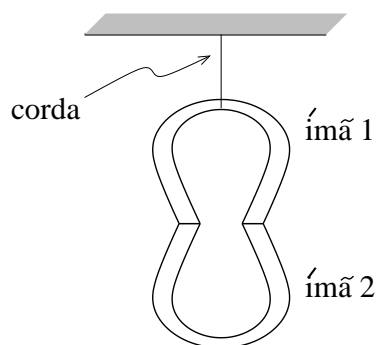


## Forças de contato e forças de ação à distância

**A.** Um ímã está pendurado por outro ímã, como mostra a figura.

1. Desenhe o diagrama de forças do ímã 2. Como antes, o rótulo de cada força deve indicar:

- o tipo de força (gravitacional, normal, etc.),
- o objeto sobre o qual a força atua e
- o objeto que exerce a força.



2. Suponha que os ímãs sejam substituídos por ímãs mais fortes de mesma massa. Se isso modificar o diagrama de força do ímã 2, esboce o novo diagrama e descreva as mudanças. Se o diagrama de forças do ímã 2 não muda, explique o motivo.

3. Um ímã pode exercer uma força de ação à distância sobre outro objeto?

Um ímã pode exercer uma força de contato sobre outro objeto?

Descreva como você pode usar um ímã para exercer *simultaneamente* força de contato e força de ação à distância sobre outro ímã.

4. Para garantir que você levou em conta todas as forças que agem sobre o ímã 2 nos itens 1 e 2 acima:

Faça uma lista com todas as forças de ação à distância que agem sobre o ímã 2.

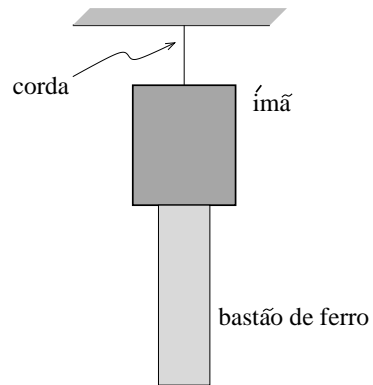
Faça uma lista com todas as forças de contato que agem sobre o ímã 2. (*Dica: Que objetos estão em contato com o ímã 2?*)

**B.** Um bastão de ferro é sustentado por um ímã, como mostra a figura. O ímã está pendurado por uma corda.

1. Esboce os diagramas de força do bastão de ferro e do ímã (separadamente).

2. Para cada uma das forças exibidas no diagrama para o bastão de ferro identifique a força correspondente que completa o par ação-reação.

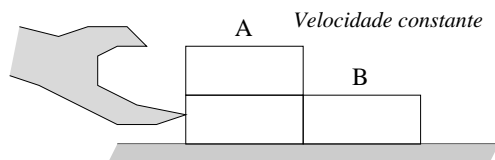
3. Como mudaria o diagrama de forças para o bastão de ferro se o ímã fosse substituído por um ímã mais forte? Quais forças mudariam (de tipo ou intensidade)? Que forças permaneceriam iguais?



## 2.2 Segunda e terceira leis de Newton

### Aplicando as leis de Newton a objetos que interagem: velocidade constante

Três blocos idênticos são empurrados sobre uma mesa com *velocidade constante*, conforme mostrado na figura. A mão empurra horizontalmente. (*Nota: existe atrito entre os blocos e a mesa.*)



Chamemos os dois blocos empilhados de sistema A e o bloco sozinho de sistema B.

**A.** Compare a *força resultante* (intensidade, direção e sentido) sobre o sistema A

com aquela sobre o sistema B. Explique o seu raciocínio.

**B.** Desenhe diagramas de forças para os sistemas A e B. Rotule cada força no diagrama identificando claramente o tipo de força, o objeto sobre o qual a força age e o objeto que faz a força.

**C.** A intensidade (ou módulo) da força feita sobre o sistema A pelo sistema B é *maior que, menor que* ou *igual à* intensidade da força que o sistema A faz sobre o sistema B? Explique.

Sua resposta mudaria se a mão estivesse empurrando o bloco B para a esquerda ao invés de empurrar o bloco A para a direita? Em caso afirmativo, como ficaria a nova resposta? se não, porque não?

**D.** Identifique todos os pares ação-reação nos seus diagramas (desenhando, por exemplo, cruzes sobre os vetores, uma para o primeiro par, duas para o segundo e assim por diante).

Que critérios você usou para identificar os pares?

A sua resposta ao item C é consistente com os pares ação-reação que você identificou? Se é explique como. Se não, resolva a inconsistência.

**E.** Ordene as forças horizontais dos seus diagramas por intensidade (*Dica:* lembre-se de que os blocos estão se movendo com velocidade constante.)

Você usou a segunda lei de Newton para comparar as intensidades das forças horizontais? Se usou, como?

Você usou a terceira lei de Newton para comparar as intensidades das forças horizontais? Se usou, como?

Que informação além das leis de Newton você usou para comparar as intensidades das forças horizontais?

**F.** Suponha que a massa de cada tijolo seja 2,5 kg, o coeficiente de atrito cinético entre os tijolos e a mesa seja 0,2 e os tijolos estejam se movendo com velocidade constante igual a 0,50 m/s.

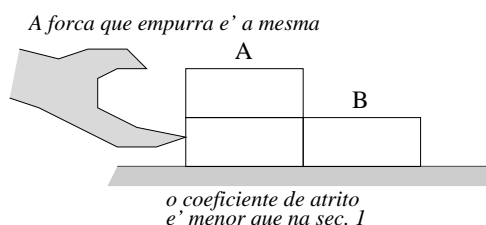
Determine a intensidade de cada força que você identificou nos diagramas de força do item B. (use o valor aproximado de  $10 \text{ m/s}^2$  para a aceleração da gravidade.)

Seus resultados mudariam se os tijolos estivessem se movendo com a metade da velocidade acima? Se mudariam, como? Se não, porque?

**Discuta suas respostas com o professor antes de continuar.**

### Aplicando as leis de Newton a objetos interagentes: velocidade variável.

Suponha que os tijolos estejam sendo empurrados com a mesma força que na seção anterior, mas que o coeficiente de atrito cinético entre a mesa e os tijolos seja *menor* que na seção anterior.



**A.** Descreva os movimentos dos sistemas A e B. Compare-os com os da seção anterior.

**B.** Compare a *força resultante* (intensidade, direção e sentido) sobre o sistema A com aquela sobre o sistema B. Explique.

**C.** Desenhe diagramas de força para os sistemas A e B e rotule apropriadamente as forças.

**D.** Considere a seguinte discussão entre dois estudantes:

- Estudante 1: *Os sistemas A e B estão sendo empurrados pela mesma força que antes, portanto seus movimentos devem ser iguais aqueles descritos na seção anterior.*
- Estudante 2: *Eu não concordo. Eu acho que o sistema está sendo acelerado, já que a força de atrito é menor do que antes. Por isso, a força com a qual o sistema A está empurrando o sistema B é maior do que a força que o sistema B faz sobre o sistema A.*

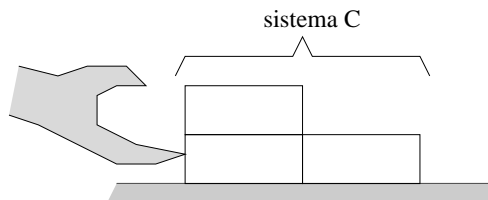
Você concorda com algum dos dois estudantes? Explique seu raciocínio.

**E.** Liste as forças horizontais que aparecem nos seus diagramas em ordem crescente de intensidade. Explique seu raciocínio. (Descreva explicitamente como você usou a segunda e a terceira leis de Newton para comparar as intensidades das forças.)

É possível ordenar *completamente* as forças horizontais neste caso?

## Aplicando as leis de Newton a objetos interagentes

Vamos chamar o sistema formado pelos três tijolos de sistema C. A situação é a mesma da seção 2.



**A.** Compare a intensidade da força resultante sobre o sistema C com as intensidades das forças resultantes sobre os subsistemas A e B. Explique.

**B.** Desenhe um diagrama de forças para o sistema C, rotulando as forças adequadamente.

Compare as forças que aparecem no diagrama do sistema C com as que aparecem nos diagramas dos sistemas A e B na seção anterior.

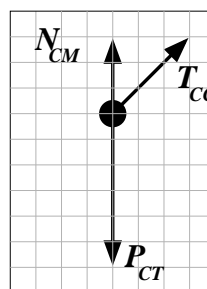
Para cada força no diagrama do sistema C, identifique a(s) força(s) correspondentes nos diagramas dos sistemas A e B.

Existem forças nos diagramas dos sistemas A e B que não aparecem no diagrama do sistema C? Se existem, que características em comum estas forças possuem que não são compartilhadas pelas outras forças?

Note que estas forças são geralmente chamadas de *forças internas*, para distingui-las das *forças externas*.

## Interpretando diagramas de forças

A figura mostra o diagrama das forças que atuam sobre um carrinho apoiado numa mesa de laboratório, puxado por uma corda. Todas as forças foram desenhadas na mesma escala. Esboce o sistema (carrinho, corda, etc.) como se você o estivesse vendo no laboratório.

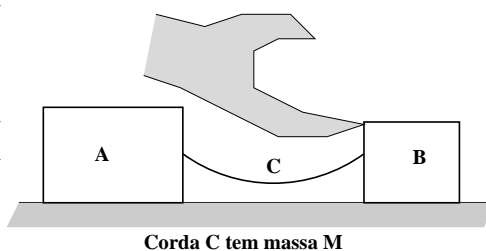


O que você pode afirmar sobre o movimento do carrinho baseado no diagrama de forças? Por exemplo, o carrinho poderia estar se movendo para a esquerda? para a direita? poderia estar parado? Diga se cada caso destes é possível, e explique suas afirmações. Descreva o movimento do carrinho em cada um dos casos possíveis.

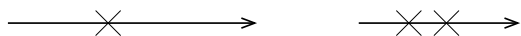
## 2.3 Tensão

### Blocos ligados por uma corda

Dois blocos, A e B, estão ligados a uma corda de massa  $M$ . O bloco B está sendo empurrado por uma força horizontal constante como mostra a figura. Suponha que não haja atrito entre os blocos e a mesa sobre a qual estão apoiados e que os blocos já estejam se movendo no instante mostrado.



- A.** Descreva os movimentos dos blocos A e B e da corda.
- B.** Numa folha de papel a parte desenhe um diagrama de corpo livre para cada um dos blocos e para a corda. Rotule cada força de forma clara.
- C.** Identifique todos os pares ligados pela terceira lei de Newton (pares ação-reação) em seus diagramas fazendo uma ou mais pequenas marcas em forma de “x” em cada membro do par. Por exemplo, se você identificou dois pares, marque os membros do primeiro par com um “x” e os do segundo com dois “x”, como mostrado abaixo:

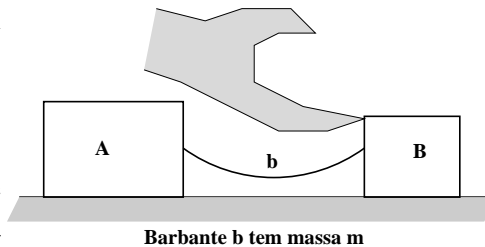


- D.** Relacione em ordem decrescente de magnitude as *componentes horizontais* de todas as forças em seus diagramas. Explique seu raciocínio.
- E.** Considere as componentes horizontais das forças exercidas pelos blocos A e B *sobre a corda*. Sua resposta ao item D é consistente com sua expectativa a respeito da força resultante sobre a corda?

**Discuta suas respostas com um instrutor antes de prosseguir.**

### Blocos ligados por um barbante muito leve

Os blocos da seção 1.1 estão agora ligados por um barbante muito leve, flexível e inextensível de massa  $m$  ( $m < M$ ).



**A.** Se o movimento dos blocos for o mesmo que na seção 1.1, como se compara a força resultante sobre o barbante com a força resultante sobre a corda da seção anterior?

1. Determine se a força resultante sobre cada um dos objetos abaixo é *maior que*, *menor que* ou *igual* à força resultante sobre este mesmo objeto na seção 1.1. Explique sua conclusão.

- bloco A
- bloco B
- sistema formado pelos 2 blocos e pela corda ou barbante que os liga

2. Compare os módulos das componentes horizontais dos seguintes pares de forças:

- a força que o bloco A faz sobre o barbante com a força que o mesmo bloco A faz sobre a corda da seção anterior. Explique seu raciocínio.
- a força que o bloco B faz sobre o barbante com a força que o mesmo bloco B faz sobre a corda na seção anterior. Explique seu raciocínio.

**B.** Suponha uma sequência de situações em que o barbante que liga os blocos A e B seja, a cada nova situação, trocado por outro de massa cada vez menor, mas que o movimento dos blocos continue sempre igual ao que era na seção 1.1. O que acontece, a cada nova situação, com:

- o módulo da força resultante sobre o barbante que liga os 2 blocos?
- os módulos das forças exercidas pelos blocos A e B sobre o barbante que liga os 2 blocos?

**C.** Um barbante exerce uma força sobre cada um dos 2 objetos aos quais está ligado. Se o barbante tem massa desprezível, o módulo de cada uma destas forças é usualmente chamado de "tensão no barbante". Justifique o uso desta terminologia, em que se supõe que *um único valor* possa ser atribuído ao módulo das 2 forças.

**D.** Se a única informação que você tem sobre um barbante de massa desprezível é que a força resultante sobre ele tem módulo nulo, é possível inferir que movimento ele terá? Se sua resposta for positiva, diga o que se pode inferir; se for negativa, justifique-a com exemplos.

Como aplicação de seu raciocínio no item D, responda:

- é possível aplicar-se a um barbante de massa desprezível uma força de módulo não nulo?

- é possível que a força resultante sobre um barbante de massa desprezível tenha módulo não nulo? Explique.

**Discuta suas respostas com um instrutor antes de prosseguir.**

### A máquina de Atwood

A máquina de Atwood mostrada na figura consiste de dois objetos idênticos ligados por um barbante de massa desprezível que corre sobre uma polia ideal fixada por seu centro. O objeto B é inicialmente seguro acima do objeto A, de forma que ambos estejam parados.

**A.** Faça uma previsão sobre qual será o movimento dos objetos A e B depois que forem soltos. Explique os fundamentos de seu raciocínio. *Não faça nenhuma conta!*

**B.** Desenhe um diagrama de corpo livre para cada um dos objetos A e B. Seus diagramas são consistentes com a previsão que você fez no item A? Explique.

Substitua o objeto B por um objeto C de massa maior que o primeiro. O objeto C é inicialmente seguro acima do objeto A de maneira a impedir que eles se movam.

**C.** Faça uma previsão sobre:

- o que acontecerá com o objeto C quando ele for solto

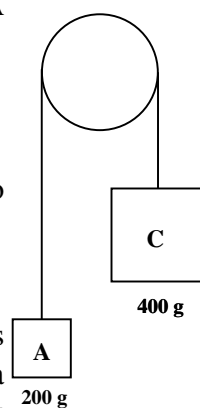
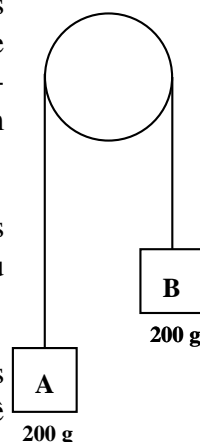
- como o movimento do objeto C se compara com o movimento do objeto A quando forem soltos.

Explique as bases de seu raciocínio. *Não faça nenhuma conta!*

**D.** Desenhe diagramas de corpo livre separados para os objetos A e C *depois* de terem sido soltos; rotule com clareza cada uma das forças desses diagramas. Indique os módulos das forças pelos tamanhos dos vetores que as representam.

As previsões que você fez no item C são consistentes com seus diagramas de corpo livre para os objetos A e C? Se sua resposta for positiva, explique porque são consistentes. Se não, resolva as inconsistências.

**E.** O peso de um objeto de massa 200g tem módulo  $(0,2kg)(9,8m/s^2) \approx 2N$ .





Analogamente, o peso de um objeto de massa  $400g$  tem módulo aproximadamente igual a  $4N$ .

1. Como se compara a força exercida pelo barbante sobre o objeto A com estes 2 pesos?

2. Como a força exercida pelo barbante sobre o objeto C se compara com estes 2 pesos?

Explique suas respostas.

3. Como a força resultante sobre o objeto A se compara com a força resultantes sobre o objeto C? Explique.

**F.** Considere a afirmativa a seguir, feita por um estudante sobre a máquina de Atwood: *Tudo que um barbante pode fazer é transmitir forças feitas por outros objetos. Isto significa que o barbante da máquina de Atwood apenas transmite o peso de um bloco para o outro.*

Você concorda com este estudante? Explique seu raciocínio.

## Parte 3

# Leis de Conservação

### 3.1 Trabalho e o teorema trabalho-energia

#### Relação entre trabalho e variação da energia cinética

**A.** Um bloco move-se para a esquerda, sem atrito, sobre uma mesa horizontal. Uma mão exerce uma força horizontal constante sobre o bloco.

1. Suponha que o trabalho feito pela mão sobre o bloco seja positivo. Desenhe setas para indicar a direção do deslocamento do bloco e a direção da força feita pela mão.

Explique como você escolheu a direção da força que a mão faz sobre o bloco.

O bloco se movimenta cada vez *mais rapidamente*, cada vez *mais lentamente*, ou *sempre com a mesma rapidez*? Explique.

2. Suponha novamente que o bloco move-se para a esquerda, mas agora o trabalho feito pela mão sobre o bloco é negativo. Desenhe setas para indicar a direção do deslocamento do bloco e a direção da força feita pela mão.

Explique como você escolheu a direção da força que a mão faz sobre o bloco.

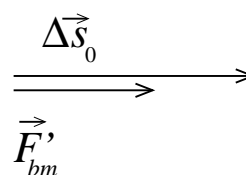
O bloco se movimenta cada vez *mais rapidamente*, cada vez *mais lentamente*, ou *sempre com a mesma rapidez*? Explique.

**B.** Num outro experimento duas mãos empurram o bloco horizontalmente. A mão 1 faz trabalho positivo e a mão 2 faz trabalho negativo ( $W_{m_1} > 0$ ,  $W_{m_2} < 0$ ).

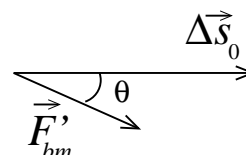
Para cada um dos casos a seguir desenhe um diagrama de forças para o bloco que mostre todas as forças verticais e horizontais exercidas sobre ele. Diga se a soma  $W_{m_1} + W_{m_2}$  é positiva, negativa, ou zero.

- O bloco se move para a direita com rapidez crescente
- O bloco se move para a esquerda com rapidez crescente
- O bloco se move para a direita cada vez mais lentamente
- O bloco se move para a esquerda sempre com a mesma rapidez

C. Na figura ao lado está representada a vista lateral do deslocamento  $\Delta\vec{s}_0$  de um bloco sobre uma mesa horizontal, quando empurrado por uma mão. A força horizontal que a mão faz sobre o bloco,  $\vec{F}'_{bm}$ , também está representada.



1. Suponha que a mão faça agora uma força com a mesma intensidade que  $\vec{F}'_{bm}$ , mas fazendo um ângulo  $\theta$  com o deslocamento, conforme a figura ao lado. O trabalho feito pela nova força é maior, menor ou igual àquele feito pela força horizontal?



Explique como você usou a definição de trabalho para chegar à sua conclusão.

2. Suponha agora que a mão empurre o bloco, que sofre o mesmo deslocamento, com uma força de mesma intensidade que antes, mas que agora o trabalho feito por esta força seja nulo. Desenhe uma seta representando a direção da força exercida pela mão neste caso.

D. Reveja o movimento do bloco no item B. Diga se cada força que você identificou fez trabalho positivo, negativo ou nulo. Explique.

A soma dos trabalhos feitos por todas as forças que atuam sobre um objeto é chamada *trabalho resultante* ou *total*,  $W_T$ . O trabalho total feito sobre o bloco em cada situação no item B é positivo, negativo, ou nulo? Sua resposta deve basear-se no diagrama de forças e no que você sabe sobre o movimento do bloco.

O trabalho total feito sobre o bloco é maior, menor ou igual ao trabalho feito pela força resultante sobre o bloco? Explique seu raciocínio.

E. Baseando-se nas respostas aos itens A–D, descreva como, em geral, a velocidade de um objeto muda se o trabalho total feito sobre o objeto é (1) positivo, (2) negativo, ou (3) nulo.

Discuta a consistência de seus resultados com o teorema do trabalho-energia ( $W_T = \Delta K = K_{final} - K_{inicial}$ ).

- **Confira suas respostas com o professor antes de prosseguir.**

### Aplicando o teorema trabalho-energia

Suas respostas às questões a seguir devem basear-se no teorema trabalho-energia e nas respostas às questões da seção 1.

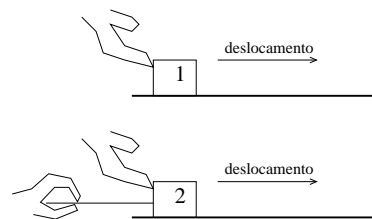
**A.** Um bloco é puxado por uma corda sobre uma mesa horizontal, sem atrito. A corda exerce uma força horizontal constante.

1. Como se compara o trabalho total feito sobre o bloco quando seu deslocamento é  $2d$  com o trabalho total feito num deslocamento  $d$ ?

Suponha que o bloco parte do repouso. Encontre a razão entre sua velocidade depois de um deslocamento  $2d$  e sua velocidade depois de um deslocamento  $d$ . Explique sua resposta.

2. Um segundo bloco, B, é puxado por uma corda sobre a mesma mesa, sem atrito. A corda faz a mesma força sofrida pelo bloco A, mas a massa do bloco B é maior que a do A ( $m_B > m_A$ ). Ambos os blocos partem do repouso. Depois de ambos os blocos terem sofrido um deslocamento  $d$ , a energia cinética do bloco A é maior, menor, ou igual à energia cinética do bloco B? Explique.

**B.** Os diagramas à direita mostram dois blocos idênticos que se movem para a direita *sem atrito*. Os dois blocos são empurrados por forças horizontais idênticas, mas o bloco 2 sofre uma força adicional, menor, feita por uma corda sem massa, segurada como na figura.

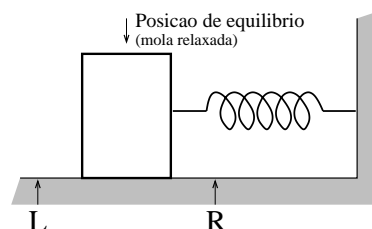


Suponha que os blocos sofrem o mesmo deslocamento.

O trabalho feito sobre o bloco 1 pela mão é maior, menor, ou igual ao feito pela mão sobre o bloco 2? Explique.

A variação da energia cinética do bloco 1 é maior, menor, ou igual à variação de energia cinética do bloco 2? Sua resposta deve basear-se no seu conhecimento sobre o trabalho total feito sobre cada um dos objetos.

**C.** Um bloco encontra-se sobre uma mesa sem atrito, conectada a uma mola, como mostra a figura. A mola está, inicialmente, relaxada. O bloco é deslocado até ficar à direita do ponto  $R$ , e então libertado.



1. Quando o bloco passa pelo ponto  $R$ , a mola está comprimida ou esticada?

A resposta depende da direção em que o bloco se move? Explique.

2. Desenhe um diagrama de forças para o bloco no instante em que ele passa pelo

ponto  $R$ , movendo-se para a esquerda. Desenhe também setas que representem, neste instante, as direções da velocidade, da aceleração e da força resultante sobre o bloco. Se qualquer destas quantidades for nula, indique isso explicitamente.

O trabalho total feito sobre o bloco desde o ponto onde ele é libertado até o ponto  $R$  é positivo, negativo, ou nulo? Explique.

3. Em algum instante o bloco passará pelo ponto  $L$  movendo-se para a esquerda. Desenhe um diagrama de forças para o bloco naquele instante. Desenhe também setas que representem, neste instante, as direções da velocidade, da aceleração e da força resultante sobre o bloco. Se qualquer destas quantidades for nula, indique isso explicitamente.

Durante um pequeno deslocamento do bloco de um ponto à direita de  $L$  para um ponto à esquerda de  $L$ :

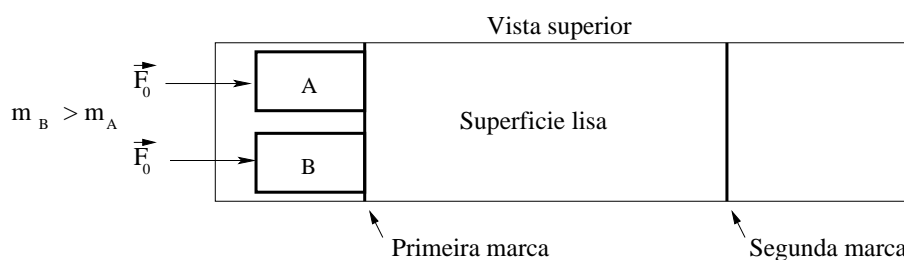
- O trabalho total feito sobre o bloco é positivo, negativo, ou nulo? Explique.
- O módulo da velocidade do bloco aumenta, diminui, ou permanece o mesmo?

Explique como sua resposta é consistente com o teorema trabalho-energia.

## 3.2 Variações da Energia e do Momento Linear

### Relação entre forças e variações da energia cinética e do momento linear

Dois karts,  $A$  e  $B$ , estão inicialmente em repouso em uma superfície lisa como mostra o diagrama abaixo. Uma força constante de módulo  $F_0$  é exercida em cada kart durante um percurso delimitado por duas marcas. O kart  $B$  tem uma massa maior do que o kart  $A$ .



**A.** Três estudantes discutem o momento final e a energia cinética em cada kart.

Estudante 1: “Desde que a mesma força é aplicada em ambos os karts, o kart com a massa menor se moverá rapidamente, enquanto o kart de maior massa se moverá lentamente. O momento de cada kart é igual a sua massa multiplicada

por sua velocidade.”

Estudante 2: “Isso significa que a maior velocidade compensa a menor massa e que os dois karts tem o mesmo valor de momento final.”

Estudante 3: “Estava pensando sobre as energias cinéticas. Uma vez que a velocidade é elevada ao quadrado para obter a energia cinética mas a massa não é, o carro com a maior velocidade deve ter a maior energia cinética.”

Diga se você concorda ou discorda com as afirmações feitas por cada estudante.

**B.** Qual kart demora mais para percorrer a distância entre as duas marcas? Justifique seu raciocínio.

**C.** Use a Segunda Lei de Newton e a definição de aceleração para obter uma equação para cada kart relacionando a força resultante sobre o kart com a sua variação de velocidade ( $\Delta\vec{v}_A$  ou  $\Delta\vec{v}_B$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t_A$  ou  $\Delta t_B$ ) que os karts gastam entre as duas marcas.

1. A quantidade  $m_A|\Delta\vec{v}_A|$  é maior, menor ou igual a  $m_B|\Delta\vec{v}_B|$ ? Explique como você pode afirmar isso.

Para uma força resultante sobre o sistema constante, a quantidade  $\vec{F}_{res}\Delta t$  é chamada de impulso transmitido ao objeto.

2. O módulo do impulso transmitido ao kart A é maior, menor ou igual ao módulo do impulso transmitido ao kart B? Explique seu raciocínio.

3. Escreva uma equação que mostre como o impulso transmitido ao kart A está relacionado com a *variação do seu vetor momentolinar* ( $\Delta\vec{p}_A$ ), onde o momento linear, denotado por  $\vec{p}$ , é o produto da massa pela velocidade do objeto.

Esta relação é conhecida como o *Teorema do Impulso-Momento*.

4. O módulo do momento final do kart A ( $p_{a_f}$ ) é maior, menor, ou igual ao módulo do momento final do kart B ( $p_{b_f}$ )? Explique.

**D.** Como o trabalho realizado sobre o kart A ( $W_{net,A}$ ) se compara ao trabalho realizado sobre o kart B ( $W_{net,B}$ )? Explique.

A energia cinética do kart A é maior, menor ou igual a energia cinética do kart B após terem alcançado a segunda marca?

**E.** Referimo-nos novamente à discussão entre os três estudantes mostrada na parte A. Você concorda com sua resposta original?

Se você discorda de algum dos estudantes, identifique o que está incorreto em sua

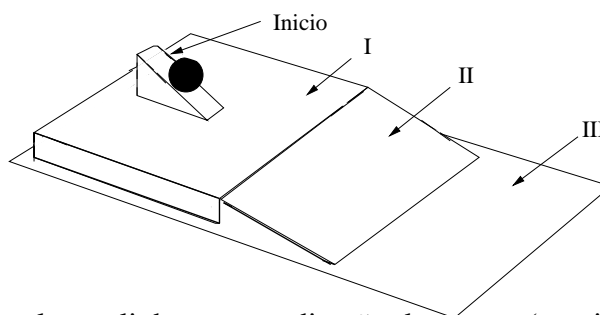
afirmação.

⇒ Discuta suas respostas da parte C e D com o professor antes de continuar.

### Aplicando os Teoremas Trabalho-Energia e Impulso-Momento

Obtenha uma cunha triangular, uma bola, uma rampa de papelão, e uma ampliação dos dois diagramas abaixo (ou esboce os diagramas em uma folha grande de papel).

(Nota: É importante que, a cada vez que a bola seja abandonada do repouso, ela atinja a mesma velocidade no nível I. Ponha uma marca no meio da cunha e solte a bola dessa marca a cada vez). Ignore o atrito e a rotação da bola.

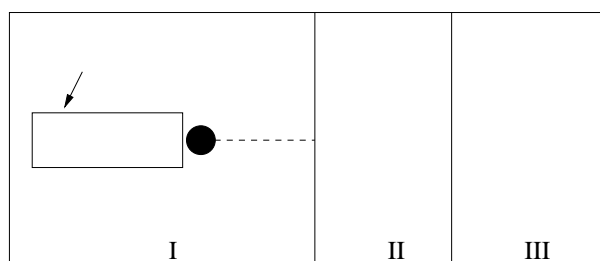


**A.** Solte a bola de modo que ela role em linha reta na direção da rampa (movimento 1).

Observe o movimento da bola.

Esboce a trajetória da bola na vista de cima do movimento 1.

Na ampliação, desenhe setas para indicar a direção (1) da aceleração da bola e (2) a força resultante sobre a bola enquanto ela está na rampa (i.e, na região II).



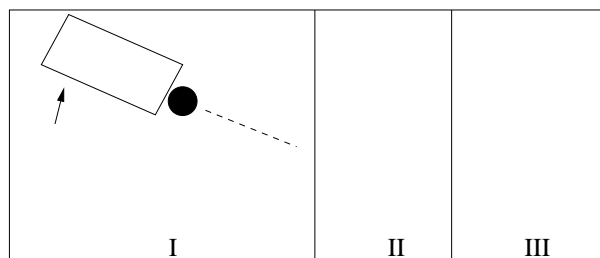
Vista superior, movimento I

**B.** Solte a bola em um ângulo na rampa conforme mostra a figura (movimento 2).

Observe o movimento da bola.

Esboce a trajetória da bola na vista de cima do movimento 2.

Na ampliação, desenhe setas para indicar a direção (1) da



Vista superior, movimento 2

aceleração da bola e (2) a força resultante sobre a bola enquanto ela está na rampa (i.e., na região II).

**C.** Como a direção da força resultante sobre a bola no movimento 2 se compara com a direção da força resultante sobre a bola no movimento 1? Explique.

A direção da aceleração da bola no movimento 2 é consistente com o fato de que a bola aumenta a velocidade e sua trajetória faz uma curva? Explique.

**D.** Como a variação da energia cinética da bola no movimento 1 se compara à variação da energia cinética da bola no movimento 2?

1. Suas respostas são consistentes com o trabalho realizado pela resultante sobre a bola nos movimentos 1 e 2? Explique.

2. Como a velocidade final da bola no movimento 1 se compara com a velocidade final no movimento 2? Explique.

**E.** Para o movimento 1, desenhe vetores na região II da ampliação que representem o momento da bola no topo da rampa e no final da rampa (i.e., no topo e no final da região II). Use estes vetores para obter a variação do vetor momento ( $\Delta\vec{p}$ ).

Como a direção de ( $\Delta\vec{p}$ ) está relacionada com a direção da força resultante sobre a bola conforme ela desce a rampa? Sua resposta é consistente com o teorema do Impulso-Momento?

**F.** Para o movimento 2, desenhe vetores na região II da ampliação que representem o momento inicial e final da bola. Desenhe estes vetores usando a mesma escala que você usou para o movimento 1 (i.e., os comprimentos relativos devem representar os módulos relativos). Use estes vetores para obter a variação do vetor momento ( $\Delta\vec{p}$ ) para o movimento 2.

Como a direção de ( $\Delta\vec{p}$ ) se compara com a direção da força resultante sobre a bola conforme ela desce a rampa? Sua resposta é consistente com o teorema do Impulso-Momento?

**G.** Considere a variação nos vetores momento que você construiu para os movimentos 1 e 2.

1. Como eles se comparam em direção? Como eles se comparam em magnitude?

2. Baseado nas suas respostas acima, compare o tempo que a bola gasta na rampa no movimento 1 com o tempo que ela gasta na rampa no movimento 2. Explique (Dica: Você pode usar o Teorema do Impulso-Movimento para comparar os intervalos?)



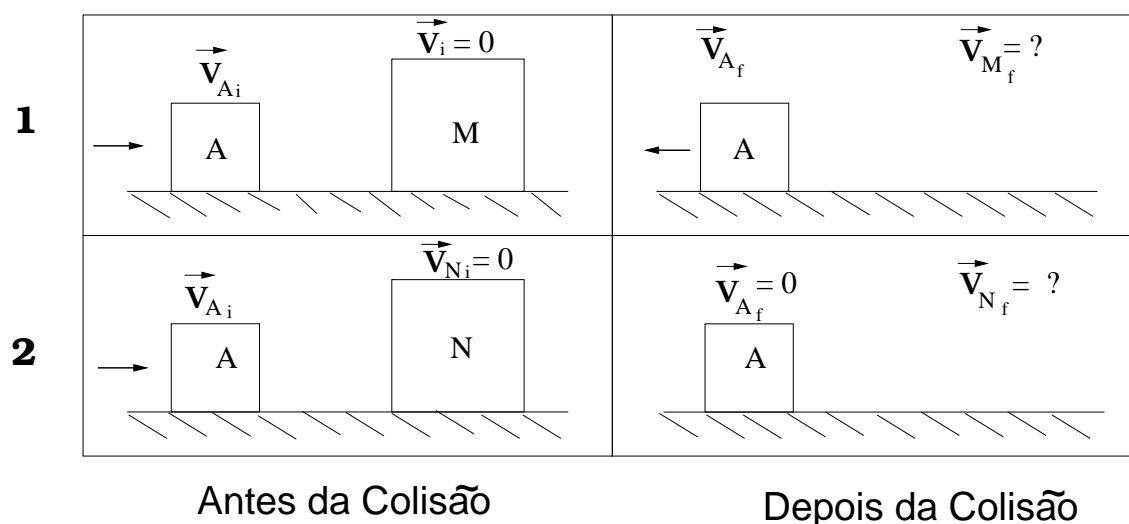
Sua resposta é consistente com a trajetória em cada movimento? Explique.

### 3.3 Conservação de Momento em uma Dimensão

#### Analizando colisões

São realizados dois experimentos com objetos que deslizam sobre um trilho horizontal sem atrito. No primeiro, o corpo  $A$  é jogado na direção do corpo  $M$ , que está em repouso. Após a colisão, o corpo  $A$  tem a direção do seu movimento invertida.

No segundo experimento, o corpo  $M$  é trocado pelo corpo  $N$ , que tem massa igual à de  $M$ . O corpo  $A$  tem a mesma velocidade inicial do experimento 1. Após a colisão, o corpo  $A$  fica em repouso. A massa de  $A$  é um quinto da massa de  $M$  e  $N$ , isto é,  $m_M = 5m_A$  e  $m_M = m_N$ .



**A.** Que diferenças entre os corpos  $M$  e  $N$  poderiam explicar as diferenças nos seus comportamentos durante a colisão?

**B.** Para o experimento 1, desenhe separadamente os diagramas de corpo livre para os corpos  $A$  e  $M$ , no instante da colisão (*i.e.*, enquanto os corpos estão em contato) e nomeie as forças em cada um.

- No momento em que os corpos estão em contato, como a força resultante sobre o corpo  $A$  se compara com a força resultante sobre o corpo  $M$ ? Discuta o módulo, direção e sentido.

Como essa comparação se diferenciaria se você tivesse escolhido um instante diferente (enquanto os corpos ainda estivessem em contato)? Explique.

2. Considere o pequeno intervalo de tempo ( $\Delta t_0$ ) durante o qual os corpos estão em contato. Para os dois corpos, como o produto  $\vec{F}_{R,A} \Delta t_0$ , se compara com o produto  $\vec{F}_{R,M} \Delta t_0$ ? Discuta o módulo e a direção. Explique.

Aplique a Segunda lei de Newton ( $\vec{F}_R = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ ) para cada um dos corpos que colidiram no experimento 1 para comparar a variação do momento ( $\Delta \vec{p} = m \Delta \vec{v}$ ) dos corpos  $A$  e  $M$  durante a colisão. Discuta o módulo e a direção. Explique.

**C.** Desenhe e nomeie vetores representando o *momento inicial*, o *momento final* e a *variação do momento* para o corpo  $A$  em cada experimento.

1. O módulo da *variação do momento* do corpo  $A$  no experimento 1 é *maior*, *menor*, ou *igual* ao módulo da *variação do momento* do corpo  $A$  no experimento 2? Explique.
2. O módulo da *variação do momento* do corpo  $M$  no experimento 1 é *maior*, *menor*, ou *igual* ao módulo da *variação do momento* do corpo  $N$  no experimento 2? Explique.

Após as colisões, a velocidade do corpo  $M$  é *maior*, *menor*, ou *igual* a velocidade do corpo  $N$ ? Explique.

**D.** Um estudante compara as velocidades finais dos corpos  $M$  e  $N$ .

*“No experimento 2, o corpo  $A$  transfere todo seu momento para o corpo  $N$ , ao passo que no experimento 1 o corpo  $A$  ainda tem algum momento restante depois da colisão; logo, o corpo  $M$  não recebe tanto momento transferido quanto o corpo  $N$ . Portanto, o corpo  $N$  tem uma velocidade final maior que o corpo  $M$ .”*

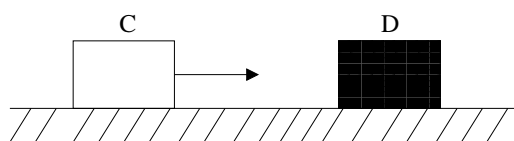
Você concorda ou discorda desta afirmação? Explique.

⇒ **Discuta suas respostas com o professor antes de prosseguir.**

### **Aplicando a conservação de momento a sistemas de múltiplos objetos**

Num experimento realizado sobre um trilho de ar sem atrito, o corpo  $C$  é lançado em direção a um segundo corpo,  $D$ .

A. Suponha que o corpo  $D$  pode se mover livremente e que o corpo  $C$  tenha o sentido do seu movimento invertido após a colisão.



1. Desenhe o diagrama de forças para cada corpo e para o sistema composto pelos dois corpos, sistema  $S$ , num instante durante a colisão.

Quais forças de seus diagramas de forças para os corpos  $C$  e  $D$  não possuem forças correspondentes no diagrama de forças para o sistema  $S$ ?

2. O momento de um sistema que contém múltiplos objetos pode ser definido pela soma do momento dos objetos que o constituem.

Use esta definição para escrever uma expressão para a variação do momento do sistema  $S$  em termos da variação do momento do corpo  $C$  e do corpo  $D$ .

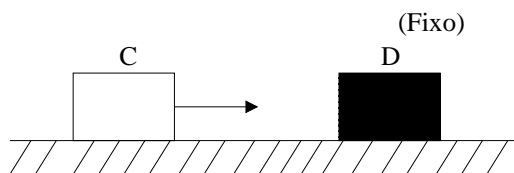
3. O momento de cada um dos sistemas abaixo muda durante a colisão? Justifique suas respostas.

- corpo  $C$
- corpo  $D$
- sistema  $S$

Suas respostas são consistentes com seus diagramas de força e com a direção da força resultante em cada caso? Caso não sejam, resolva as inconsistências.

4. Como sua resposta sobre a variação do momento do sistema  $S$  seria diferente, caso haja diferença, se o corpo  $D$  fosse substituído por um corpo de massa muito maior? Explique.

B. Um segundo experimento é realizado no qual o corpo  $D$  está fixo em um ponto do trilho de ar. O corpo  $C$  é lançado em direção ao corpo  $D$  com a mesma velocidade do primeiro experimento, e, depois da colisão, retorna sem que o módulo de sua velocidade se altere.



1. Desenhe o diagrama de forças para cada corpo e para o sistema composto pelos dois corpos, sistema  $S$ , num instante durante a colisão.

Explique como o fato do corpo  $D$  ser fixo em um ponto está refletido no seu diagrama de forças.

2. O momento de cada um dos sistemas abaixo muda durante a colisão? Explique.

- corpo  $C$
- corpo  $D$
- sistema  $S$

C. Considere os dois experimentos descritos acima. Quando o momento de um objeto ou do sistema  $S$  não varia:

- As forças exercidas no objeto ou no sistema eram *forças externas*?
- Havia uma força *resultante* no objeto ou no sistema?

D. Quando o momento de um objeto ou de um sistema não varia com o tempo, o momento do objeto ou do sistema é dito ser conservado.

Baseado nos seus resultados acima, descreva as circunstâncias nas quais o momento de um objeto ou sistema é conservado.

E. Dois estudantes discutem o segundo experimento, no qual o corpo  $D$  está fixo em um ponto.

- Estudante 1: “Quando um objeto colide com outro, o momento do sistema é sempre conservado.”
- Estudante 2: “Certo, o momento do corpo  $C$  é o mesmo antes e depois da colisão.”

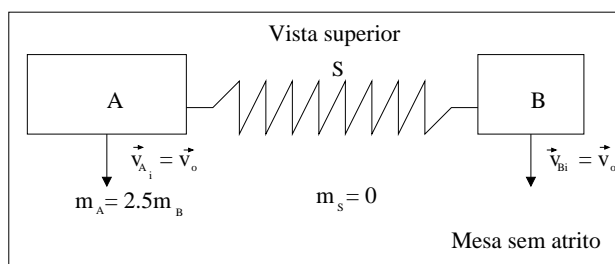
Descreva o erro em cada afirmação dos estudantes.

### 3.4 Conservação do momento em duas dimensões

#### Variações no momento de objetos interagentes

Dois blocos ligados por uma mola de massa desprezível estão apoiados sobre uma superfície sem atrito.

Os blocos são puxados levemente de maneira que a mola é esticada, e, enquanto os blocos estão sendo seguros, a eles são dadas velocidades iniciais iguais em direção perpendicular à mola. Os blocos são soltos ao mesmo tempo.



A massa do bloco A é duas vezes e meia maior do que a massa do bloco B.

**A.** Desenhe o diagrama de forças para cada bloco e para a mola imediatamente após serem soltos. Indique tanto as forças verticais (perpendiculares à superfície) quanto as forças horizontais (paralelas à superfície). Nomeie as forças de maneira clara.

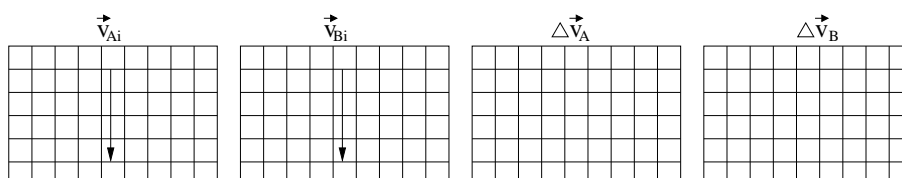
Identifique todas os pares de forças relacionadas pela *terceira Lei de Newton (ação e reação)* marcando um ou mais “X” em cada membro do par. (i.e. marque cada membro do primeiro par da forma  $-x \rightarrow$ , e cada membro do segundo par da forma  $-\cancel{xx} \rightarrow$ , etc.).

**B.** Ordene os módulos de todas as *forças horizontais* no seu diagrama. Explique como a segunda Lei de Newton e a terceira Lei de Newton foram usadas para obter essa classificação.

Como a força resultante sobre o bloco A se compara com a força resultante sobre o bloco B? Discuta módulos, direções e sentidos.

A comparação entre as forças resultantes permanece verdadeira para todos os instantes após os blocos serem soltos? Explique seu raciocínio.

**C.** Os vetores velocidade dos blocos A e B são mostrados para o instante exato em que são soltos. Desenhe a variação do vetor velocidade de cada bloco ao fim de um pequeno intervalo de tempo  $\Delta t$  após serem liberados.



Explique como a segunda Lei de Newton e a definição de aceleração podem ser

usados para determinar a direção da variação do vetor velocidade.

Quantas vezes o módulo de  $\Delta\vec{v}_B$  é maior que o módulo de  $\Delta\vec{v}_A$ ? Explique.

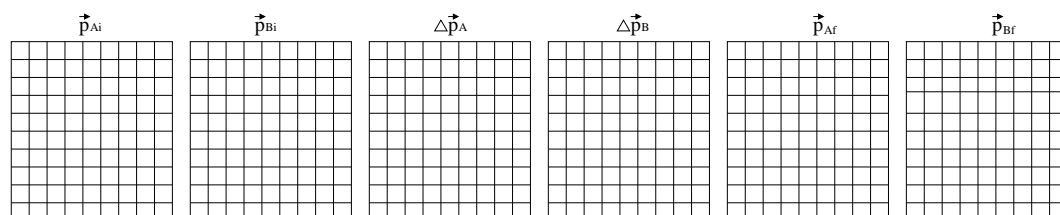
Como  $m_B\Delta\vec{v}_B$  se compara com  $m_A\Delta\vec{v}_A$  após um intervalo de tempo pequeno?

Essa comparação mudaria se considerássemos:

1. Um outro intervalo de tempo, igualmente pequeno, ocorrendo mais tarde?
2. Um intervalo de tempo bem maior?

Explique suas respostas.

**D.** Use seu conhecimento das velocidades e de suas variações para construir *vetores momento* e *vetores variação do momento* dos blocos. Desenhe também um vetor momento final para cada bloco correspondente ao mesmo intervalo de tempo curto, como na questão C. Desenhe os vetores com seus módulos relativos corretos.



Explique com você determinou estes vetores.

Como  $\Delta\vec{p}_A$  se compararia a  $\Delta\vec{p}_B$  se nós considerássemos um intervalo maior de tempo? Explique.

### Variações no momento de sistemas de objetos interagentes.

Seja o sistema C composto pelos blocos *A* e *B* e pela mola *S*.

**A.** Desenhe o diagrama de forças para o sistema C num instante posterior ao momento em que os blocos foram liberados e nomeie-as adequadamente. Indique separadamente as *forças verticais* (perpendiculares a superfície da mesa) e as *forças horizontais* (paralelas a superfície da mesa). Mostre separadamente a força resultante sobre o sistema C.

Quais forças em seu diagrama de forças da seção 1 são *forças internas* ao sistema C?

**B.** Escreva uma equação para o momento do sistema C em termos dos momentos de cada um dos objetos que o constituem.

Compare o momento do sistema *C* imediatamente após os blocos serem liberados com o momento do sistema nos instantes seguintes:

- Um curto intervalo de tempo após, quando os blocos já sofreram a variação do momento indicado na seção 1, e
- Muito tempo após a liberação.

Explique como você deduziu as suas respostas.

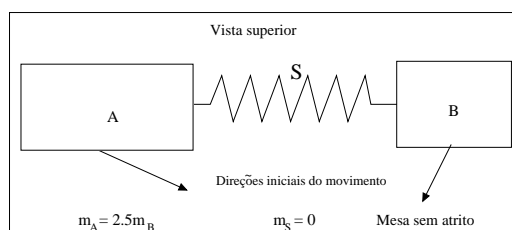
**C.** Generalize seus resultados para responder à seguinte questão: *Sob quais condições o momento de um sistema será conservado?*

**D.** Imagine um único objeto cuja massa seja igual a massa do sistema *C* e cujo momento seja igual a  $\vec{p}_C$  durante todo o tempo. Desenhe uma seta que represente a direção da velocidade do objeto. Se a velocidade for zero, diga isso explicitamente.

A velocidade que você encontrou é chamada de velocidade do *centro de massa*,  $\vec{v}_{cm}$ , do sistema *C*.

### Aplicação da conservação do momento a colisões em duas dimensões

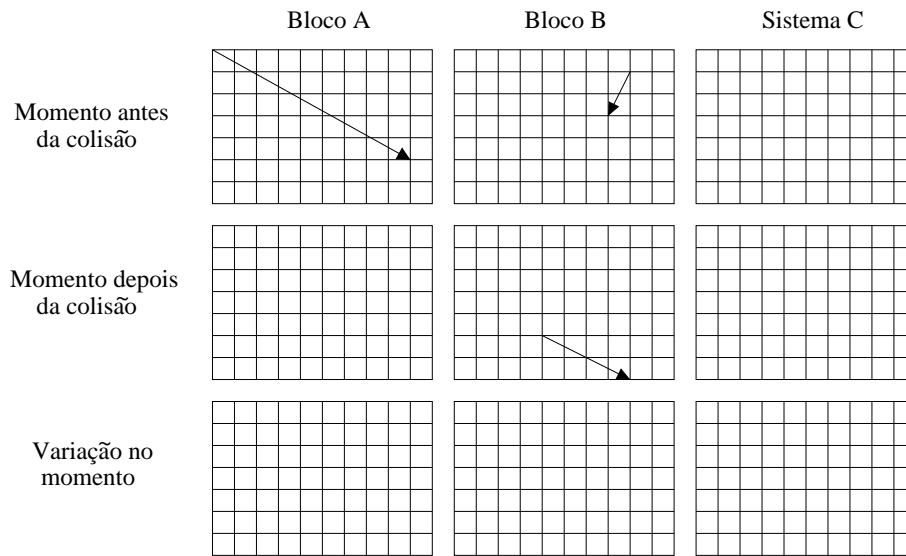
A mola anteriormente ligada aos blocos *A* e *B* é desconectada do bloco *B*. Os blocos possuem velocidades iniciais nas direções indicadas, de modo que colidirão com a mola entre eles. Como na seção 2, o sistema *C* se refere à combinação de ambos os blocos e a mola.



**A.** Quais são as *forças externas* exercidas sobre o sistema *C* durante a colisão?

Qual é a *força resultante* sobre o sistema *C*?

**B.** Os vetores momento de cada bloco antes da colisão e o vetor momento do bloco *B* após a colisão são mostrados na figura. Complete a figura e mostre os vetores momento do sistema *C* antes e depois da colisão e o vetor momento do bloco *A* após a colisão.



Como as velocidades finais dos blocos se comparam? Explique.

C. Desenhe vetores que representem a direção da velocidade do centro de massa do sistema C *antes* e *depois* da colisão.

Como resultado da colisão, a velocidade do centro de massa do sistema C *aumenta*, *diminui* ou *permanece a mesma*? Explique.



## Parte 4

# Mecânica de Corpos Rígidos

### 4.1 Movimento de Rotação

#### Movimento com velocidade angular constante

Uma roda gira em torno de um eixo fixo no sentido anti-horário com uma rotação constante. O diagrama à direita representa uma fotografia da roda em um certo instante.

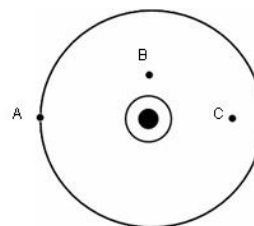
**A.** Desenhe setas no diagrama para representar a direção do vetor velocidade de cada um dos pontos A, B e C no instante mostrado. Explique seu raciocínio.

Os tempos que os pontos B e C levam para dar uma volta completa são maiores, menores ou iguais ao tempo levado pelo ponto A?

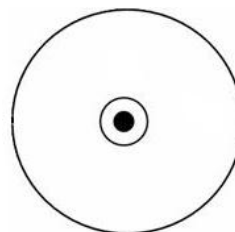
Com base na resposta anterior, compare as velocidades dos pontos A, B e C. Justifique.

**B.** Marque a posição de cada um dos pontos identificados no item anterior após a roda ter completado metade de uma volta. Esboce o vetor velocidade para cada ponto.

Para cada um destes pontos, compare sua velocidade atual com a velocidade no item A. Sua resposta deve envolver tanto o módulo quanto a direção.



Vista superior.  
Roda girando no sentido anti-horário.



Vista superior.  
Roda girando no sentido anti-horário.

Existe um único vetor velocidade linear que se aplique a todos os pontos da roda ao mesmo tempo? Justifique.

**C.** Suponha que a roda complete uma volta em 2 segundos.

1. Para cada um dos pontos a seguir, encontre a mudança na direção ( $\Delta\theta$ ) do vetor posição após um segundo. (isto é, encontre o ângulo entre o vetor inicial e o vetor final.)

Ponto A:

Ponto B:

Ponto C:

2. Encontre a taxa de variação do ângulo para cada ponto na roda.

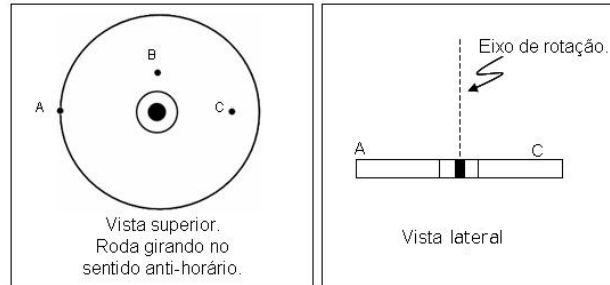
A taxa de variação que você calculou acima é chamada de velocidade angular da roda. A velocidade angular é definida como um vetor que aponta ao longo do eixo de rotação e é convencionalmente denotado pelo símbolo  $\vec{\omega}$  (a letra grega omega). Para determinar a direção do vetor velocidade angular, imagine um observador no eixo de rotação e que está olhando em direção ao objeto. Se o observador vê o objeto rodando no sentido anti-horário, o vetor velocidade angular aponta em direção ao observador; se o observador o vê rodando no sentido horário, o vetor velocidade angular aponta na direção oposta ao observador. Uma regrinha similar a esta e que é muito usada é a *regra da mão direita*: abrace o objeto que gira com os dedos da sua mão direita, acompanhando o sentido da rotação; seu polegar apontará na direção do vetor velocidade angular.

**D.** Dois observadores em lados opostos de um objeto em rotação obteriam a mesma direção para o vetor velocidade angular? Justifique.

Dois observadores que usassem pontos diferentes de um mesmo objeto para determinar sua velocidade angular obteriam o mesmo módulo para o vetor velocidade angular? Justifique.

**E.** O diagrama à direita mostra a visão superior e a lateral da roda do item A.

Em cada diagrama, desenhe um vetor para representar a velocidade da roda. (Use a convenção de que  $\odot$  indica que o vetor está apontando para fora da página e que  $\otimes$  indica que o vetor está apontando para dentro da página)



**F.** Esboce os vetores posição do ponto C no início e no final de um pequeno intervalo de tempo  $\Delta t$ .

1. Indique a mudança no ângulo ( $\Delta\theta$ ) e a distância entre o centro da roda e o ponto C ( $r_C$ ). Esboce o trajeto feito pelo ponto C durante esse intervalo de tempo.

Qual é a distância que o ponto C percorre durante  $\Delta t$ ? Expresse a sua resposta em termos de  $r_C$  e  $\Delta\theta$ .

2. Use as respostas acima e a definição de velocidade linear para montar uma expressão algébrica para a velocidade do ponto em termos da velocidade angular  $\omega$  da roda.

O que a sua equação implica para a relação entre as velocidades lineares em pontos cada vez mais longes do centro da roda? Isto é coerente com a sua resposta ao item A?

### Movimento com mudança na velocidade angular.

**A.** Chame de  $\vec{\omega}_0$  a velocidade angular inicial da roda. Em cada caso descrito abaixo, determine o módulo da mudança na velocidade angular  $|\Delta\vec{\omega}|$  em termos de  $|\vec{\omega}_0|$ .

1. A roda é colocada para girar, fazendo com que um ponto fixo na roda dê duas vezes mais voltas a cada segundo do que anteriormente (o eixo de rotação fica fixo).

2. A roda é colocada para girar com a mesma rotação mas na direção oposta.

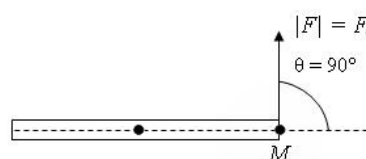
**B.** Suponha que a roda gire cada vez mais devagar, de modo que  $|\vec{\omega}|$  diminua de  $8\pi$  rad/s a cada 4s (a roda continua rodando na mesma direção e tem sempre a mesma orientação). Especifique a aceleração angular  $\vec{\alpha}$  da roda dando seu módulo e sua direção relativas à  $\vec{\omega}$ .

Na cinemática linear nós encontramos o vetor aceleração primeiro construindo o vetor variação do vetor velocidade  $\Delta\vec{v}$  e depois dividindo-o por  $\Delta t$ . Descreva os passos análogos que você usou acima para descobrir a aceleração angular  $\vec{\alpha}$ .

## Torque e aceleração angular

A barra rígida mostrada à direita está livre para rodar em torno de um eixo fixo

que passa pelo seu centro. O eixo de rotação da barra é perpendicular ao plano da folha.



**A.** Uma força de módulo  $F_0$  é aplicada no ponto M como mostrado. A força faz sempre um ângulo reto com a barra.

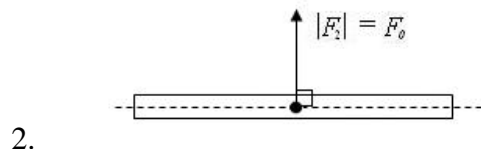
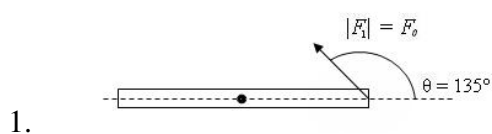
Para cada um dos casos a seguir, determine quando a aceleração angular será no sentido horário e quando será no sentido anti-horário.

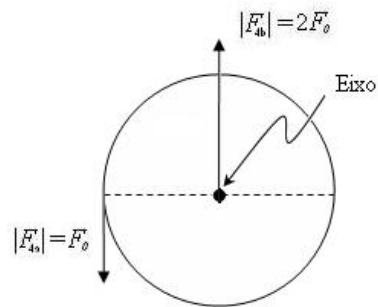
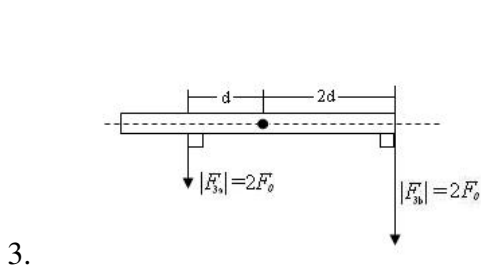
- A barra está inicialmente em repouso. (Sugestão: analise  $\Delta\vec{\omega}$ .)
- A barra estava com velocidade angular constante antes da força ser aplicada.

Sua resposta para a aceleração angular depende se a barra estava originalmente girando no sentido horário ou anti-horário? Justifique.

O ponto de aplicação e a direção da força podem afetar o movimento rotacional do objeto sobre o qual a força é aplicada. A tendência que uma força tem de causar uma aceleração angular num objeto é quantificada pelo torque produzido pela força. O torque  $\tau$  é definido como o produto vetorial  $\vec{r} \times \vec{F}$ , quando  $\vec{r}$  é o vetor que vai do eixo de rotação até o ponto onde a força é aplicada. O módulo do torque é simplesmente  $|\tau| = |\vec{r}| |\vec{F}| \sin\theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo entre  $\vec{r}$  e  $\vec{F}$ .

**B.** Compare o módulo do torque resultante em relação ao eixo na situação descrita no item A com cada um dos casos abaixo.



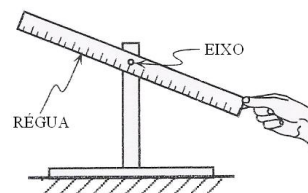


## 4.2 Dinâmica dos Corpos Rígidos

### Desenhando diagramas de corpo livre para objetos extensos

**A.** Uma régua é colocada em um eixo e presa em um ângulo como mostrado à direita. O eixo passa pelo centro da régua.

Preveja o movimento da régua após ser abandonada a partir do repouso. Justifique a sua resposta.



1. A aceleração angular da régua será no sentido horário, anti-horário ou será nula? Explique como você chegou a sua conclusão.

O que a sua resposta implica a respeito do torque resultante sobre a régua, calculado em relação ao eixo? Explique.

2. Qual será a direção da aceleração do centro de massa da régua? Se você acha que a aceleração do centro de massa será nula, diga isso explicitamente.

O que a sua resposta implica a respeito da força resultante agindo sobre a régua? Explique.

Confira o resultado observando a demonstração.

**B.** Desenhe um diagrama de corpo livre para a régua (após ser abandonada a partir do repouso). Desenhe cada força como um vetor com origem no local onde ela é exercida.

Rotule cada força identificando:

- \* o tipo da força,
- \* o objeto no qual a força é exercida, e
- \* o objeto que exerce a força.

O diagrama que você desenhou é chamado de diagrama de corpo livre para objeto extenso. O local onde você colocou a força gravitacional no seu diagrama

é consistente com o seu conhecimento a respeito do torque resultante sobre o eixo? Explique.

C. Como mudaria o seu diagrama de corpo livre se a régua tivesse o dobro do comprimento da original porém tivesse a mesma massa? Explique.

### **Distinguindo os efeitos do torque resultante e da força resultante**

Dois carretéis idênticos são presos na mesma altura acima do chão. A linha do carretel A é presa a um suporte, enquanto que a do carretel B não é preso a nenhum suporte. Um "x" está marcado no chão diretamente embaixo de cada carretel.

Os dois carretéis são liberados do repouso ao mesmo tempo. (Considere desprezível a massa da linha).

Desenhe um diagrama de corpo livre para objeto extenso para cada carretel num instante posterior ao instante em que são abandonados a partir do repouso mas antes de chegar ao chão.

Para cada carretel, indique a direção do torque resultante em relação ao centro do carretel. Se o torque resultante for nulo, diga isso explicitamente. Justifique sua resposta.

**A. Responda:**

\* Qual carretel chegará primeiro ao chão? Explique como a sua resposta condiz com o seu diagrama de corpo livre para objeto extenso.

\* O carretel A irá atingir o chão à esquerda do "x", à direita do "x" ou cairá diretamente sobre a marca? Explique como a sua resposta condiz com o seu diagrama de corpo livre para objeto extenso.

Descreva como a força resultante é obtida a partir das forças individuais no diagrama de corpo livre para objeto extenso quando as forças são exercidas em pontos diferentes do mesmo objeto.

**B. Obtenha dois carretéis e um suporte. Use os equipamentos para verificar suas previsões. (Tenha certeza de que a linha do carretel A esteja na vertical antes dos carretéis serem liberados.)**

1. Compare o módulo da aceleração do centro de massa ( $\vec{a}_{cm}$ ) do carretel A com o da aceleração do centro de massa do carretel B. Sua resposta é consistente com o seu diagrama de corpo livre? Explique.

2. Compare a direção da aceleração do centro de massa ( $\vec{a}_{cm}$ ) do carretel A com a da aceleração do centro de massa do carretel B. Sua resposta é consistente com o

seu diagrama de corpo livre? Explique.

C. Considere a seguinte conversa entre três estudantes:

Estudante 1: *"O fio exerce uma força que é tangente à borda do carretel A. Essa força não tem componentes que apontam para o centro de massa do carretel, e por isso essa força não afeta a aceleração do centro de massa."*

Estudante 2: *"Eu discordo. A aceleração do centro de massa do carretel é afetada pelo fio. Qualquer força que não é usada para produzir aceleração rotacional será transmitida para a aceleração translacional. É por isso que a aceleração do centro de massa do carretel A é menor do que g."*

Estudante 3: *"A força resultante no carretel A é a força gravitacional menos a tensão. Pela segunda lei de Newton, a aceleração do centro de massa é a força resultante dividida pela massa. Uma força terá o mesmo efeito no movimento do centro de massa, independente dela causar aceleração rotacional ou não."*

Algum estudante está certo? Qual? Porque?

Se necessário releia a descrição na parte A sobre como a força resultante é relacionada com forças exercidas em diferentes pontos de um objeto.

**Discuta suas respostas com o instrutor antes de prosseguir.**

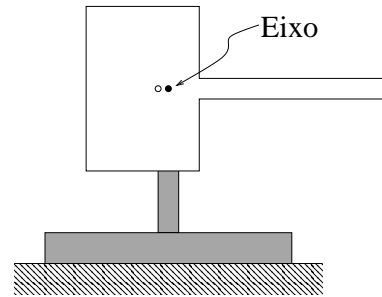
D. Escreva abaixo a segunda lei de Newton para cada carretel. Expresse a sua resposta em termos da massa de cada carretel ( $m$ ), da aceleração do seu centro de massa ( $\vec{a}_{cm}$ ), e das forças individuais atuando em cada carretel.

Escreva abaixo o análogo rotacional da segunda lei de Newton para cada carretel. Expresse a sua resposta em termos das quantidades rotacionais relevantes, isto é, em termos da aceleração angular ( $\vec{\alpha}$ ), da inércia rotacional ( $I$ ), e do torque ( $\vec{\tau}$ ). Expresse o torque em termos das forças individuais e das distâncias apropriadas.

### 4.3 Equilíbrio de Corpos Rígidos

#### Interpretação do conceito de centro de massa

**A.** Uma placa de madeira com densidade de massa uniforme e em forma de T tem 2 pequenos orifícios como mostrado na figura. Inicialmente o eixo do suporte é colocado no orifício da direita, que corresponde ao *centro de massa* da placa. A placa é sustentada em repouso.



1. *Preveja* o movimento da placa após ser abandonada a partir do repouso. Justifique a sua resposta.

2. Verifique o acerto de sua previsão observando a demonstração feita pelo instrutor.

(i) Descreva a aceleração angular da placa. Explique como você chegou a sua conclusão.

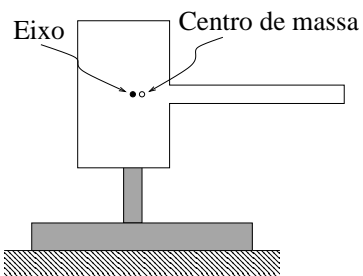
Que implicação tem sua resposta a respeito do *torque resultante* calculado em relação ao eixo do suporte? Explique.

(ii) Descreva a aceleração do centro de massa da placa. Explique como você chegou a sua conclusão.

Que implicação tem sua resposta a respeito da *força resultante* agindo sobre a placa? Explique.

3. Explique como suas respostas a respeito do torque e da força resultantes na questão 2 mudariam se houvesse *atrito significativo* entre a placa e o eixo e a placa continuasse em repouso.

**B.** Imagine que a placa é agora sustentada pelo eixo através do furo que está a esquerda do centro de massa.



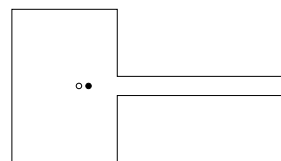
1. *Preveja* o movimento da placa após ser abandonada a partir do repouso. Explique seu raciocínio.

2. Copie o diagrama abaixo e use-o para fazer um *diagrama de corpo extenso* para a placa imediatamente após ser abandonada, rotulando convenientemente as



forças que atuam sobre ela e indicando explicitamente o ponto de aplicação da força sobre a placa que modele corretamente todos os seus efeitos.

Explique como este diagrama pode ser usado para apoiar suas previsões sobre o movimento da placa.



3. Peça ao instrutor para realizar a demonstração experimental e verifique se suas previsões se confirmam. Resolva qualquer inconsistência eventual entre sua previsão e o fenômeno real observado.

4. Peça ao instrutor para repetir a demonstração partindo de uma situação inicial onde o centro de massa esteja *diretamente acima*, *diretamente abaixo*, e *à esquerda* do eixo do suporte. Registre suas observações.

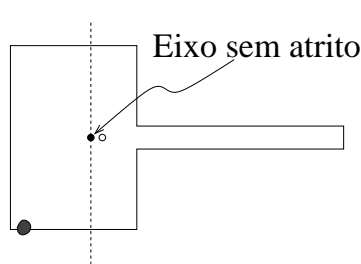
Um corpo extenso pode girar livremente em torno de um eixo fixo se o atrito entre o objeto e o eixo for pequeno. Um eixo que apresente um atrito desprezível é algumas vezes chamado de um *eixo sem atrito*. Para todos os exercícios e demonstrações subseqüentes deste tutorial, vamos admitir que o eixo seja sem atrito.

### Aplicações do conceito de centro de massa

**A.** Adicione um pouco de massa de modelar à parte de baixo à esquerda da placa de modo a fazê-la permanecer em repouso quando suspensa pelo eixo do suporte, usando o mesmo furo da parte B acima.

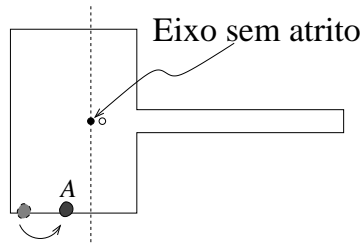
1. Na figura à direita, identifique a localização aproximada do centro de massa do sistema composto pela placa e pela massa de modelar com um "X".

O centro de massa do sistema está localizado *à esquerda*, *à direita* ou *sobre* a linha vertical que passa pelo eixo? Explique seu raciocínio.



2. Suponha que a massa de modelar seja movida para uma nova posição (ponto A) mais próxima do eixo.

Preveja se a placa permanecerá em equilíbrio nesta nova configuração. Explique porque.



A massa total da parte do sistema que fica à esquerda do eixo mudou quando a massa de modelar foi movida para o ponto A?

Peça ao instrutor para fazer a experiência e teste se suas previsões se confir-

mam.

3. Suponha agora que a massa de modelar seja movida de volta a sua localização original e que se adicione a ela um pouco mais de massa. A placa permanecerá em equilíbrio?

Existe algum local ao longo da aresta de baixo da placa na qual esta amostra maior de massa de modelar pode ser colocada na qual a placa estaria em equilíbrio? Se houver, esta nova localização será *mais próxima* ou *mais afastada* do eixo?

Peça ao instrutor para fazer a experiência e teste se suas previsões se confirmam.

4. Generalize as observações feitas nos itens 1, 2 e 3 acima:

- É possível manter-se inalterada a massa total de um dos lados do eixo mas ao mesmo tempo mudar o sistema de modo a que ele não mais esteja em equilíbrio?

- É possível mudar-se a *massa total* de um dos lados do eixo mas ainda ter-se o sistema em equilíbrio?

É suficiente saber-se a massa total de cada lado do eixo para determinar se o sistema estará em equilíbrio? Explique seu raciocínio.

**B.** Um estudante conseguiu colocar um martelo na horizontal equilibrado sobre seu dedo. Considere o seguinte diálogo entre o estudante e um de seus colegas:

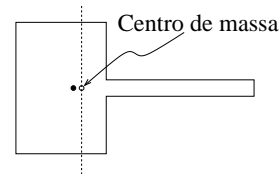
Estudante 1: "*O martelo está equilibrado por que seu centro de massa está numa vertical acima de meu dedo. A massa é a mesma em ambos os lados do centro de massa - é este o significado do conceito de centro de massa.*"

Estudante 2: "*Não é a massa que é igual dos dois lados, mas sim o torque exercido pelo peso de cada uma. Se os torques não fossem iguais, o martelo iria girar*"

Algum estudante está certo? Qual? Porque?

Explique qual o erro conceitual fez um dos estudantes acima ao tentar interpretar o termo "centro de massa".

Na parte A da primeira seção desta atividade voce observou que a placa permanece em equilíbrio quando é abandonada a partir do repouso quando sustentada pelo eixo através de seu centro de massa. A figura ao lado mostra a placa e uma linha vertical que passa pelo seu centro de massa.

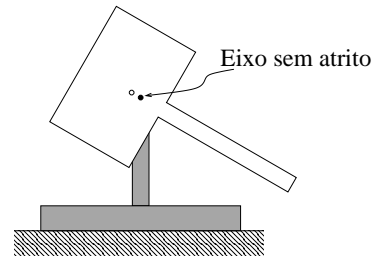


A massa da parte da placa que está à esquerda da linha tracejada é *maior que*, *menor que* ou *igual* a massa da parte da placa que está a sua direita? Explique seu

raciocínio.

Peça ao instrutor que realize experiências de demonstração sugeridas por você e que possam testar suas respostas. Se necessário, reveja suas respostas e resolva as inconsistências. (Dica: Considere as áreas das partes da placa que estão à direita e à esquerda do eixo.)

**C.** Imagine que a placa em forma de T (sem massa de modelar) fosse girada como mostra a figura e então abandonada a partir do repouso. O eixo atravessa o centro de massa da placa.



1. *Preveja* o movimento subsequente da placa.
2. Peça ao instrutor para realizar a experiência e confronte-a com suas previsões. Registre suas observações.
3. O que a observação da experiência implica a respeito do torque resultante em relação ao eixo de rotação? Explique sua conclusão.

## Parte 5

# Sistemas de muitas partículas

### 5.1 Pressão em um líquido

#### Aplicação das leis de Newton a líquidos

Um recipiente de seção reta retangular cheio de água está em repouso sobre uma mesa, como mostra a figura. Duas fronteiras imaginárias, que dividem a água em 3 camadas de igual volume, estão desenhadas no diagrama. (Não existe nenhuma barreira material entre as camadas.)

**A.** Desenhe um diagrama de corpo livre para cada uma das 3 camadas. Não deixe de indicar no seu diagrama a superfície sobre a qual cada uma das forças de *contato* está aplicada. (Uma maneira de fazer isso é colocando a ponta da flecha que representa a força sobre a superfície na qual ela atua.)

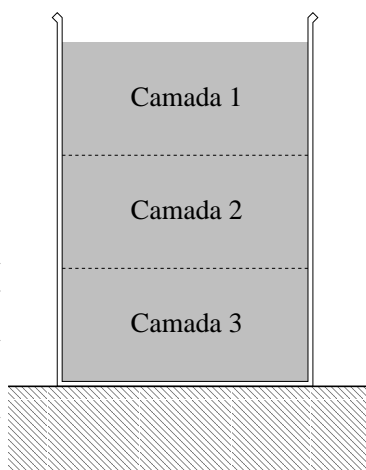
O rótulo de cada força deve indicar:

- o tipo da força
- o objeto sobre o qual a força atua, e
- o objeto que exerce a força.

**B.** Ordene as forças verticais em cada diagrama em ordem de módulo *decrecente*. Explique o raciocínio que você usou para ordená-las.

O peso da camada 1 é *maior*, *menor* ou *igual* ao da camada 3?

Um líquido para o qual volumes iguais têm igual peso, independentemente da



profundidade, é chamado de *incompressível*. Suponha que todos os líquidos nesta atividade sejam incompressíveis.

C. Imagine que um pequeno orifício é aberto na parede do recipiente próximo ao fundo de cada camada.

1. Faça uma previsão sobre o que ocorrerá à água próxima de cada furo. Explique seu raciocínio.

2. Confirme sua previsão observando a demonstração experimental. Faça um registro escrito de suas observações. (um desenho pode ajudar.)

O que suas observações sugerem sobre:

(i) a *existência* ou não de forças horizontais sobre as 3 camadas de água discutidas na parte A?

(ii) a *relação entre os módulos* das forças horizontais nas 3 camadas?

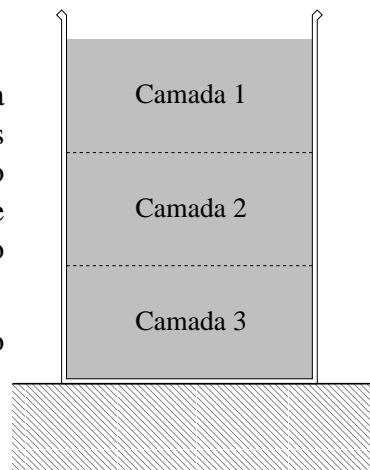
Se necessário, revise seus diagramas de corpo livre da parte A para torná-los consistentes com suas respostas a este item.

## Pressão e força

A. Relembre a conexão entre força e pressão - consulte um livro texto se necessário. Vamos aplicar a relação entre estas 2 quantidades às 3 camadas estudadas na seção 1.1.

1. Que *força* você deve usar para determinar a *pressão* no fundo da camada 2? (Pode haver mais de uma resposta correta.) Explique seu raciocínio (*Sugestão*: refira-se ao diagrama de corpo livre que você desenhou na seção 1.1. Que forças são exercidas sobre o fundo da camada 2?)

2. Que *área* você usou para determinar a pressão no fundo da camada 2? Explique.



3. Suponha que você queira determinar a pressão num ponto bem no centro da camada 2. Para isto, você deve desenhar o diagrama de corpo livre de que objeto? Que força e que área você deve usar para determinar a pressão desejada?

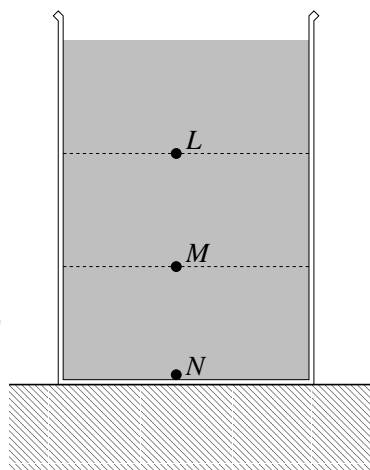
B. Suponha que você queira determinar a pressão na superfície superior da ca-

mada 1. Que força você deve usar para determinar esta pressão? Se necessário, modifique seus diagramas de corpo livre para incluir esta força. Não deixe de nela colocar um rótulo que indique o objeto que a exerce.

Tres pontos, chamados de L, M e N, são marcados no fundo de cada uma das 3 camadas.

C. Ordene, da menor para a maior, as pressões nos pontos L, M e N. Explique porque sua resposta é consistente com o ordenamento das forças que você fez na seção 1.1.

A pressão em um ponto no interior de um fluido incompressível pode ser calculada matematicamente através da expressão  $P = P_0 + \rho gh$  (conhecida como o Teorema de Stevin).



D. O ordenamento obtido por você no item C é consistente com esta equação? (*Sugestão:* Para que ponto temos  $h = 0$ ? Qual a pressão neste ponto?)

### Pressão em função da profundidade

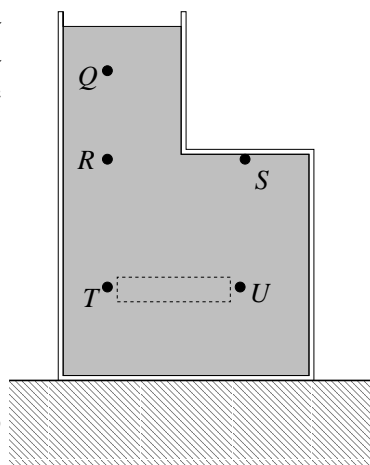
O recipiente a figura à direita está cheio de água e em repouso sobre uma mesa. Uma fronteira imaginária que delimita um pequeno volume de água foi desenhada no diagrama. Trate este pequeno volume de água como um único objeto.

A. Faça um diagrama de corpo livre para o pequeno volume de água acima mencionado.

B. Compare entre si os módulos das forças *horizontais* que você desenhou no diagrama. Sua resposta é consistente com o movimento do pequeno volume de água? Explique porque.

C. Use sua resposta ao item B para comparar as pressões nos pontos T e U da figura. (*Sugestão:* Qual a relação entre a pressão no ponto T e a força exercida sobre o pequeno volume de água pela água à sua esquerda?)

D. Ordene as pressões nos pontos Q, R, S e T, da maior para a menor. Explique seu raciocínio.



**E.** Considere o seguinte diálogo entre 2 estudantes:

Estudante 1: *A pressão em um ponto é igual ao peso da água acima dele dividida pela área do recipiente. Portanto, a pressão no ponto R é maior que a pressão no ponto S porque não há água acima do ponto S*

Estudante 2: *Concordo com você. A pressão é  $P = P_0 + \rho gh$ , e  $h$  é zero no ponto S e maior que zero no ponto R. Portanto, a pressão no ponto R tem que ser maior.*

Você concorda com algum dos estudantes? Explique porque.

**Discuta seu raciocínio com o instrutor antes de prosseguir.**

## Pressão num tubo em U

Um tubo em U está cheio de água, como mostra a figura.

**A.** Ordene as pressões nos pontos de A a F, da menor para a maior. Explique.

Seu ordenamento é consistente com o Teorema de Stevin? Explique.

**B.** O tubo da direita é agora selado com uma rolha. O nível da água nos 2 ramos do tubo continua o mesmo. Não há ar entre a rolha e a superfície da água no tubo da direita. Compare esta nova situação com a discutida no item A e responda:

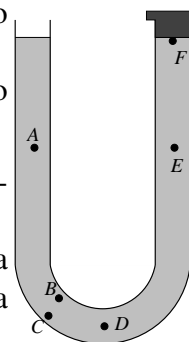
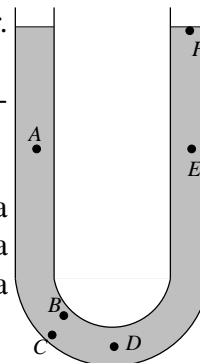
1. As pressões nos pontos A e D tornam-se *maiores, menores* ou *permanecem as mesmas*? Explique.

2. A pressão no ponto E é agora *maior, menor* ou *igual* à pressão no ponto D?

A diferença de pressão  $\Delta P_{DE}$  entre os pontos D e E muda quando colocamos a rolha? Explique.

3. A pressão no ponto F é *maior, menor* ou *igual* à pressão atmosférica?

A força exercida pela rolha de borracha sobre a superfície da água no tubo da direita é *maior, menor* ou *igual* à força exercida pela atmosfera sobre a superfície da água no tubo da esquerda?



C. Uma seringa é usada para remover água do tubo da esquerda. Observa-se que o nível da água no tubo da esquerda abaixa, enquanto o nível no tubo da direita não se altera.

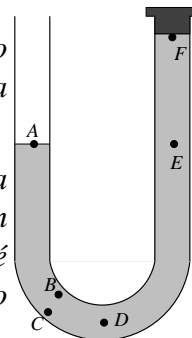
Considere o seguinte diálogo entre 3 estudantes:

Estudante 1: "A pressão no ponto *F* deve ser maior que a pressão atmosférica porque lá a água está sendo empurrada contra a rôlha."

Estudante 2: "Eu acho que a pressão no ponto *E* deve ser a mesma que no ponto *A* porque eles estão no mesmo nível. A pressão em ambos é a pressão atmosférica. Por isso, a pressão no ponto *F* é menor que a pressão atmosférica, já que sabemos que a pressão se torna menor a medida que subimos em direção a superfície."

Estudante 3: "Mas a água é mais densa que o ar e por isso a pressão no ponto *F* não pode ser menor que a pressão atmosférica."

Você concorda com algum dos 3 estudantes?

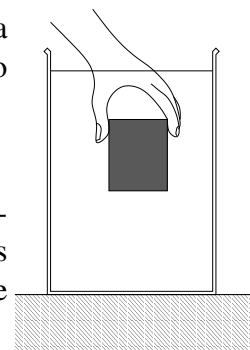


## 5.2 Empuxo

### A força de empuxo

A. Um bloco de seção retangular flutua sobre água contida em um recipiente. O bloco é então seguro perto do centro do recipiente como mostra a figura e, em seguida, abandonado.

1. Descreva o movimento subsequente do bloco.
2. Desenhe um diagrama de corpo livre para o bloco no instante em que é abandonado. Mostre separadamente as forças que a água exerce sobre cada uma das faces do bloco. Rotule as forças para indicar com clareza:



- o tipo de força
- o objeto sobre o qual a força é exercida
- o objeto que exerce a força.

3. Ordene as forças verticais de seu diagrama em ordem decrescente de módulo. Se for impossível fazer isso para todas as forças, explique o motivo.

Você usou a relação entre pressão e profundidade para comparar os módulos de 2 destas forças? Se o fez, porque?

Você usou alguma informação proveniente do movimento que o bloco terá



depois de abandonado para comparar 2 destas forças? Se o fez, porque?

4. Desenhe uma flecha para representar a soma vetorial de todas as forças que a água exerce sobre o bloco. Como foi que você determinou a direção e sentido desta soma?

Esta soma vetorial é a *força resultante* sobre o bloco? (Lembre que a força resultante é definida como a soma vetorial de *todas* as forças que agem sobre um objeto.)

O módulo da soma das forças exercidas pela água sobre o objeto é *maior que*, *menor que* ou *igual* ao módulo do peso do objeto? Explique sua resposta.

**B.** A experiência anterior é repetida com um segundo bloco, que tem o mesmo volume e forma que o bloco original mas que afunda quando colocado na água.

1. Desenhe um diagrama de corpo livre para este bloco no instante em que é abandonado. Da mesma maneira que no item anterior, desenhe as forças exercidas pela água em cada uma das faces do bloco.

2. Compare o diagrama de corpo livre para o bloco que afunda com o diagrama de corpo livre para o bloco que flutua. Que forças têm o mesmo módulo em ambos os diagramas e quais têm módulo diferente?

(Dica: Como se comparam as pressões em cada uma das faces do bloco atual com as pressões exercidas nas faces correspondentes do bloco do item A?)

Existe alguma força que apareça em um dos diagramas mas não no outro?

3. Desenhe uma flecha que represente a soma vetorial das forças exercidas pela água sobre o bloco. Compare seus módulo, direção e sentido com os da flecha que você desenhou para o bloco que flutua e diga o que se mantém inalterado e o que muda.

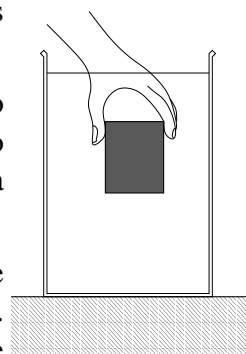
**C.** Imagine que você vai agora abandonar o bloco do item B a partir de uma profundidade muito maior. Diga quais das seguintes forças que atuam sobre o bloco será *maior que*, *menor que* ou *igual* à força correspondente sobre o bloco do item B acima:

1. a força vertical para cima na face de baixo do bloco.

2. A força vertical para baixo na face superior do bloco.

3. A soma vetorial das forças exercidas pela água sobre o bloco. (Dica: A diferença de pressão entre as faces de cima e de baixo do bloco se altera?)

A soma vetorial das forças exercidas sobre um objeto pelo fluido que o cir-



cunda é chamada a *força de empuxo*. Esta força é usualmente representada por uma única flecha num diagrama de corpo livre.

**D.** No caso geral, é possível afirmar que a força de empuxo sobre um objeto completamente submerso num líquido incompressível depende

da *massa* ou do *peso* do objeto?

da *profundidade* abaixo da superfície livre do fluido onde o corpo está situado?

do *volume* do objeto?

**Confira suas respostas com o instrutor antes de prosseguir.**

### Volume deslocado

Considere 2 blocos de mesmo tamanho e forma, um feito de alumínio e o outro de bronze. Ambos afundam na água. O bloco de alumínio é colocado num cilindro graduado contendo água. Quando isso é feito, o volume indicado pela graduação do cilindro aumenta de 3 mL.

**A.** De quanto vai aumentar o volume indicado pela graduação do cilindro quando nele colocamos o bloco de bronze? (Suponha que não há vazamento de água pela borda do cilindro em nenhum dos 2 casos.) Explique.

Quando um objeto é colocado num cilindro graduado contendo um líquido, o aumento do volume indicado pela graduação do cilindro é chamado de *volume do líquido deslocado* pelo objeto.

**B.** O volume de água deslocado por um objeto *completamente submerso* depende

da *massa* ou do *peso* do objeto?

da *profundidade* abaixo da superfície livre do fluido onde o corpo está situado?

do *volume* do objeto?

da *forma* do objeto?

### Princípio de Arquimedes

De acordo com o *princípio de Arquimedes*, o módulo da força de empuxo exercida por um fluido sobre um objeto é igual ao peso da quantidade do fluido deslocada pelo objeto.

**A.** Considere a afirmação seguinte feita por um estudante:

*"O princípio de Arquimedes significa simplesmente que o peso do fluido deslocado por um objeto é igual ao peso deste objeto"*

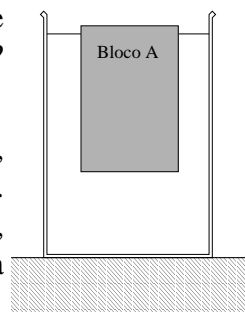
Você concorda com este estudante? Justifique sua resposta.

## Objetos que flutuam e objetos que afundam

**A.** Um bloco de seção reta retangular, A, é abandonado a partir do repouso no centro de um recipiente cheio de água. Observa-se que o bloco acelera para cima.

1. A força de empuxo sobre o bloco A no instante em que é abandonado é *maior que*, *menor que* ou *igual a* seu peso? Justifique sua resposta.

2. Quando o bloco A alcança a superfície livre do líquido, observa-se que ele flutua em repouso como mostra a figura. Nesta situação, a força de empuxo sobre o bloco é *maior que*, *menor que* ou *igual a* seu peso? (Dica: Qual é o módulo da força resultante sobre o objeto?)

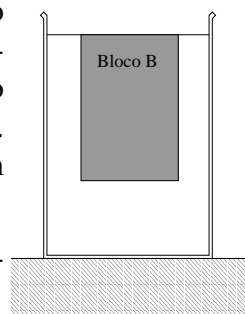


3. Suas respostas às perguntas acima são consistentes com o princípio de Arquimedes? (Dica: Como se comparam o volume de água deslocado pelo bloco na situação final, enquanto ele flutua, com o volume deslocado quando ele está completamente submerso?)

**B.** Um segundo bloco, B, do mesmo tamanho e formato que A mas de massa um pouco maior, é abandonado a partir do repouso do centro do recipiente cheio de água. A posição final do bloco é mostrada na figura, com uma minúscula fração de seu volume fora do líquido (invisível na escala da figura). Como se comparam a força de empuxo sobre o bloco B com a força de empuxo sobre o bloco A:

- no instante em que são abandonados? Justifique sua resposta.

- na posição final. Justifique sua resposta.

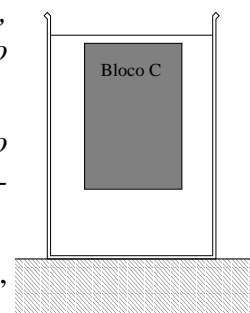


**C.** Um terceiro bloco C, de mesmo tamanho e forma que A e B, mas de massa ligeiramente maior que a de B, é abandonado do repouso a partir do centro do recipiente cheio de água. Dois estudantes fazem previsões sobre a posição final do bloco e desenham o diagrama mostrado à direita.

Estudante 1: "Já que o bloco C é mais pesado que o bloco B, ele não vai chegar tão alto depois que for abandonado, como mostra a figura."

Estudante 2: "Eu concordo; a força de empuxo é um pouco menor que o peso do bloco, por isso ele deve chegar ao repouso um pouco abaixo da superfície livre do líquido."

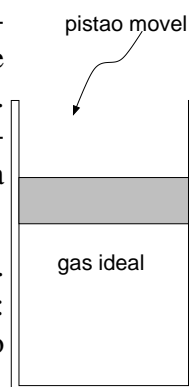
Identifique o erro contido em cada afirmação e no diagrama, justificando sua resposta.



### 5.3 A Lei dos Gases Ideais

#### Pressão

Um cilindro contém um gás ideal que está à temperatura ambiente. O cilindro está selado por um pistão de massa  $M$  e área de seção reta  $A$ , que é livre para se mover verticalmente, sem atrito. Nenhum gás pode entrar ou sair do cilindro. O pistão está em repouso. A pressão atmosférica, ou seja, a pressão do ar que cerca o cilindro, é  $P_0$ .



**A.** Desenhe um diagrama das forças que agem sobre o pistão. Certifique-se de identificar as forças de modo que fiquem claros: o tipo de força, o objeto sobre o qual a força é exercida, e o objeto que exerce a força.

**B.** Desenhe uma seta para indicar a direção e o sentido da força resultante sobre o pistão. Se a força resultante for zero escreva isto explicitamente.

**C.** A força exercida pelo gás dentro do cilindro sobre o pistão é maior, menor ou igual à força exercida pelo gás fora do cilindro sobre o pistão? Explique.

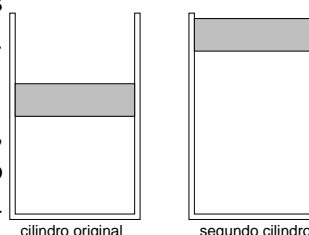
Escreva uma equação que relacione as forças que você identificou no diagrama (Dica: como estas forças estão relacionadas com a força resultante?)

**D.** A pressão do gás dentro do cilindro é maior, menor ou igual à pressão atmosférica? Explique.

Determine o valor da pressão do gás no cilindro em termos das quantidades dadas.

**E.** Um segundo cilindro contém uma outra amostra de gás ideal à temperatura ambiente, como mostrado à direita. Os dois cilindros e seus pistões são idênticos.

A pressão do gás no interior do segundo cilindro é maior, menor ou igual à pressão do gás no cilindro considerado acima? Se você não pode determinar, diga isso explicitamente. Explique.



**Verifique suas respostas com o instrutor antes de prosseguir.**

### Pressão e temperatura

**A.** Um cilindro como o descrito na seção I contém uma quantidade fixa de gás. Inicialmente ele está em equilíbrio térmico com um banho de água+gelo. A pressão, o volume e a temperatura do gás são  $P_{inicial}$ ,  $V_{inicial}$  e  $T_{inicial}$ , respectivamente.

O cilindro agora é removido do banho de gelo+água e colocado em água fervente. Depois que o sistema entrou em equilíbrio térmico com a água fervente a pressão, o volume e a temperatura do gás passaram a ser  $P_{final}$ ,  $V_{final}$  e  $T_{final}$ , respectivamente.

1.  $T_{final}$  é maior, menor ou igual a  $T_{inicial}$ ?
2.  $P_{final}$  é maior, menor ou igual a  $P_{inicial}$ ? Explique.

Sua resposta é consistente com a resposta à parte D da seção I? Se não for, resolva as inconsistências.

3.  $V_{final}$  é maior, menor ou igual a  $V_{inicial}$ ? Explique.

Sua resposta é consistente com a lei dos gases ideais (ou seja, a relação  $PV = nRT$ )? Se não for, resolva as inconsistências.

**B.** No processo considerado na parte A acima, que variáveis foram mantidas constantes e que variáveis podiam mudar? Explique.

**C.** Considere o seguinte diálogo entre dois estudantes.

Estudante 1: “De acordo com a lei dos gases ideais, a pressão é proporcional à temperatura. Já que aumentamos a temperatura do gás, a pressão tem que aumentar.”

Estudante 2: “Certo. Já que não entrou nem saiu nenhum gás do sistema, o volume não mudou. Portanto a pressão tem que ter aumentado.”

Você concorda com os estudantes? Explique seu raciocínio.

**Verifique suas respostas com o instrutor antes de prosseguir.**

### Diagramas $PV$

Processos com gases ideais são frequentemente representados graficamente. Um *diagrama  $PV$*  é um gráfico da pressão *versus* o volume de uma dada amostra de gás. Um ponto neste gráfico representa valores de pressão e volume medidos simultaneamente. Estes valores determinam o *estado* do gás.

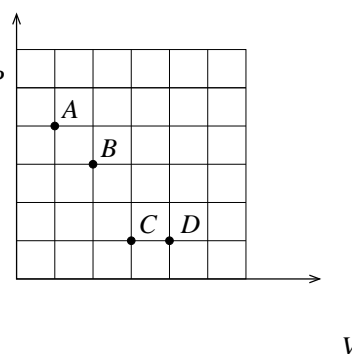
**A.** Esboce o processo descrito na seção II no diagrama  $PV$  ao lado. Identifique os estados inicial e final do gás.

Seu esboço é consistente com sua resposta à parte B da seção 1.2? Explique.



**B.** A mesma amostra de gás ideal é usada num novo experimento. A pressão e o volume do gás  $P$  são medidos em diversos instantes. Os valores de pressão e volume estão registrados no diagrama ao lado.

1. Ordene as temperaturas do gás em ordem decrescente. Se houverem temperaturas iguais diga isso explicitamente.



2. Seu ordenamento é consistente com a lei dos gases ideais?

3. É possível que o gás esteja num estado em que seu volume seja o mesmo do estado  $B$  e sua temperatura seja a mesma do estado  $A$ ? Se for, marque a posição deste estado no diagrama  $PV$ . Se não for, explique por quê.

**Verifique suas respostas com o professor antes de prosseguir.**

### Número de Avogadro

**A.** Dois cilindros idênticos, do tipo descrito anteriormente, contêm hidrogênio e oxigênio, respectivamente. Ambos os cilindros estiveram no mesmo ambiente durante muito tempo. Seus pistões estão à mesma altura.

1. Compare os volumes dos gases nos dois cilindros. Explique.

2. Compare as temperaturas dos gases nos dois cilindros. Explique.

3. Compare os números de moles nos dois cilindros. Explique.

Sua resposta é consistente com a lei dos gases ideais?

**B.** A massa molar do  $H_2$  é 2 g e a do  $O_2$  é 32 g.

1. *Interprete* estes números. (*Lembre-se: uma fórmula não é considerada uma interpretação.*)

2. Compare as massas dos gases nos dois cilindros. Explique.

**C.** Considere a seguinte discussão entre dois estudantes.

Estudante 1: “*Já que as moléculas de hidrogênio são muito menores que as de oxigênio, deveria haver mais hidrogênio num mesmo volume.*”

Estudante 2: “*Não, já que  $n = 2$  para o hidrogênio e  $n = 32$  para o oxigênio, deve haver mais moléculas de oxigênio.*”

Encontre as falhas nos argumentos dos dois estudantes. Explique.

## 5.4 Primeira lei da Termodinâmica

### Trabalho

**A.** Relembre a definição de trabalho feito sobre um objeto por um agente que exerce uma força sobre aquele objeto. (Consulte o livro, se quiser.)

Desenhe setas representando (1) a força exercida sobre o objeto e (2) o deslocamento do objeto para os casos em que o trabalho feito pelo agente é:

(i) positivo;

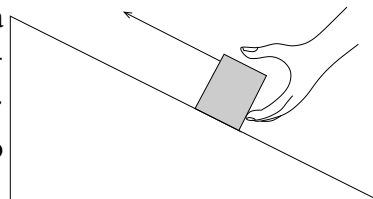
(ii) negativo;

(iii) nulo

Em cada caso, suas setas representam a *única* direção relativa possível entre força e deslocamento? Em caso afirmativo, explique. Caso contrário, desenhe pelo menos um outro par de vetores para cada situação.

**B.** Um bloco é empurrado enquanto se move para cima ao longo de uma rampa sem atrito. A velocidade do bloco aumenta a uma taxa constante.

1. Desenhe um diagrama de corpo livre para o bloco. Rotule cada força indicando com clareza:



- (i) O tipo da força
  - (ii) O objeto sobre o qual a força é exercida
  - (iii) O objeto que exerce a força
2. Desenhe uma seta que indique a direção da força resultante sobre o bloco.
  3. Diga se as quantidades relacionadas abaixo são *positivas*, *negativas* ou *nulas*. Em cada caso, explique o raciocínio que o levou à conclusão.
    - o trabalho feito *pela mão* sobre o bloco
    - o trabalho feito *pela Terra* sobre o bloco
    - o trabalho feito *pela rampa* sobre o bloco
  4. O bloco faz trabalho sobre a mão durante este movimento? Se o faz, este trabalho é *positivo*, *negativo* ou *nulo*? Explique seu raciocínio.
  5. O *teorema do trabalho e da energia cinética* afirma que a variação da energia cinética de um corpo rígido é igual ao trabalho total (ou resultante) feito sobre este corpo. Explique de que modo suas respostas à pergunta 3 são consistentes com este teorema. (Dica: O *trabalho total* é a soma dos trabalhos feitos por todas as forças exercidas sobre o objeto.)
  6. Quais das respostas dadas à pergunta 3 seriam diferentes se o bloco estivesse sendo empurrado para cima sobre a rampa com velocidade constante?  
Descreva o trabalho total feito sobre o bloco neste caso.

C. Um gás ideal está contido em um cilindro que está imóvel. O cilindro é selado por um pistão como mostra o diagrama à direita. Não existe atrito entre o pistão e as paredes do cilindro.



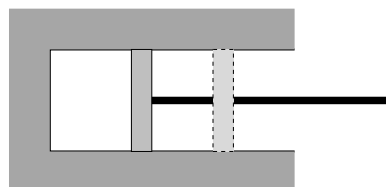
1. Indique a direção da força que o pistão exerce sobre o gás.  
Sua resposta depende do estado de movimento ou repouso do pistão?
2. Como deveria se mover o pistão para que o trabalho que ele realiza sobre o gás fosse:
  - positivo?
  - negativo?
 Suas respostas dependem da escolha de sistema de coordenadas?
3. Em cada um dos casos da pergunta anterior, há trabalho feito pelo gás sobre o pistão? Se há, como ele se relaciona com o trabalho feito pelo pistão sobre o gás? (Considere tanto o módulo quanto o sinal do trabalho em sua resposta.)

**Discuta suas respostas com o instrutor antes de prosseguir.**



## Trabalho e energia interna

**A.** Imagine que o cilindro da seção anterior está termicamente isolado das suas vizinhanças por um revestimento isolante. O pistão é empurrado para dentro do cilindro até a posição mostrada no desenho. Vamos denominar esta compressão de processo 1.



O trabalho feito pelo pistão sobre o gás neste processo é positivo, negativo ou zero?

Na física dos fenômenos térmicos estamos muitas vezes interessados na *energia interna*  $E_{int}$  de um sistema. A energia interna de uma amostra de gás ideal é proporcional à temperatura e ao número de moles da amostra. A energia interna pode mudar quando o gás troca energia com seu ambiente (ou seja, objetos que estão fora do sistema de interesse, que nesse caso é a amostra de gás). No caso do processo 1, a energia interna do gás varia devido ao trabalho realizado pelo pistão (agente externo ao sistema) sobre o gás (o sistema). Quando o sistema está isolado termicamente, a variação de sua energia interna é igual ao trabalho total feito *sobre* o sistema:

$$\Delta E_{int} = W_{(sobreosistema)} \quad (\text{para um sistema termicamente isolado})$$

### B.

1. A energia interna de um gás num cilindro termicamente isolado *aumenta*, *diminui*, ou *permanece constante* conforme o pistão é empurrado para dentro? Explique.

2. A temperatura do gás muda? Explique.

### C. Dois estudantes estão discutindo o processo 1.

Estudante 1: “*O volume do gás diminui, mas sua pressão aumenta. Portanto, pela lei dos gases ideais, a temperatura tem que permanecer a mesma.*”

Estudante 2: “*Mas eu sei que a temperatura aumenta. O volume é menor e, portanto, as partículas colidem mais frequentemente umas com as outras.*”

Nenhum dos dois estudantes está correto. Encontre os erros no raciocínio de cada um. Explique.

**Discuta suas respostas com o instrutor antes de prosseguir.**

## Calor

**A.** Imagine que o cilindro da seção 2 não está mais termicamente isolado, e que o pistão está travado. O gás está, inicialmente, à temperatura ambiente.

O cilindro é, então, colocado em água fervente e atinge o equilíbrio termodinâmico com a água. Vamos chamar este processo de processo 2.

1. No processo 2, as seguintes quantidades aumentam, diminuem ou permanecem constantes?

- a temperatura do gás
- a energia interna do gás
- a pressão do gás
- o volume do gás

2. Esboce o processo 2 num diagrama  $PV$ .

3. Algum trabalho é feito sobre o gás durante o processo 2? Explique. Sua resposta é consistente com seu diagrama  $PV$ ?

A troca de energia que acontece no processo 2 é denominada *transferência (ou troca) de calor*. Neste processo, se o calor transferido para o gás for maior que zero sua energia interna aumenta.

**B.** O calor transferido para o gás durante o processo 2 é positivo, negativo ou nulo? Explique.

**C.** O calor transferido para a água fervente durante o processo 2 é positivo, negativo ou nulo? Explique.

## Calor, trabalho e energia interna

A *primeira lei da termodinâmica* afirma que a variação de energia interna de um sistema fechado é igual à soma do trabalho total feito sobre o sistema com o calor transferido para o sistema:

$$\Delta E_{int} = Q + W_{(sobreosistema)}$$

**A.** Explique como você poderia escrever esta lei em termos do trabalho feito *pelo gás* sobre sua vizinhança.

Como seu livro-texto expressa a primeira lei da termodinâmica?

**B.** No processo 1 (seção 1.2) você não precisou considerar trocas de calor. Que característica do experimento impediu que calor fosse transferido para o gás?

**C.** No processo 2 (seção 1.3) você não precisou levar em conta nenhum trabalho realizado. Que característica do experimento impediu que trabalho fosse feito sobre o gás?

Discuta suas respostas com o instrutor antes de prosseguir.

**D.** O cilindro, com o pistão ainda travado, é colocado numa mistura de água e gelo, até que atinja o equilíbrio térmico com a mistura. O pistão é agora movido muito lentamente para dentro do cilindro, de modo que o gás permanece o tempo todo em equilíbrio térmico com a mistura de água e gelo. Vamos chamar essa compressão lenta do gás com o cilindro imerso na mistura de processo 3.

1. No processo 3, as quantidades abaixo *aumentam*, *diminuem* ou *permanecem constantes*?

(i) o volume do gás

(ii) a temperatura do gás

(iii) a energia interna do gás

(iv) a pressão do gás

2. Esboce o processo 3 num diagrama  $PV$ .

3. Determine se as seguintes quantidades são *positivas*, *negativas*, ou *nulas*:

- o trabalho feito sobre o gás no processo 3 (Explique seu raciocínio em termos de forças e deslocamentos).

- o calor transferido para o gás no processo 3.

4. Suas respostas são consistentes com a primeira lei da termodinâmica? Explique.

**E.** Qual a diferença entre a compressão do processo 3 e a compressão do processo 1? Explique.

**F.** Um estudante está analisando o processo 3:

“A temperatura não muda; este é um processo isotérmico. Portanto o calor trocado tem que ser zero.”

Você concorda com o estudante? Explique.

## 5.5 Superposição e reflexão de Pulsos

### Pulsos numa mola

O instrutor mostrará vários pulsos se propagando numa mola esticada. Observe o movimento de cada pulso e o movimento dos pontos da mola em cada caso e discuta suas observações com seus colegas.

**A.** Um pedaço de fio está preso a uma posição na mola. Como se compara o movimento do fio com o movimento do pulso para cada tipo de pulso que você observou?

Os termos *transverso* e *longitudinal* são usualmente empregados para descrever os tipos de pulso que você observou na demonstração feita pelo instrutor. A que características do pulso se referem estes termos?

No resto deste tutorial nós focalizaremos pulsos *transversais* numa mola.

**B.** Durante a demonstração feita pelo instrutor quais das características que se seguem mudaram *significativamente* enquanto o pulso se propagava ao longo da mola? (Ignore o que acontece quando o pulso alcança o fim da mola.)

- a amplitude do pulso
- a largura do pulso
- a forma do pulso
- a velocidade do pulso

**C.** Durante a demonstração feita pelo instrutor, cada uma das quantidades nomeadas abaixo mudou de valor. Alguma destas mudanças afetou significativamente a velocidade do pulso? Se o fez, que efeito provocou?

- a tensão (por exemplo, quando a mola foi esticada até ter um maior comprimento)
- a amplitude do pulso
- a largura do pulso
- a forma do pulso

### Superposição

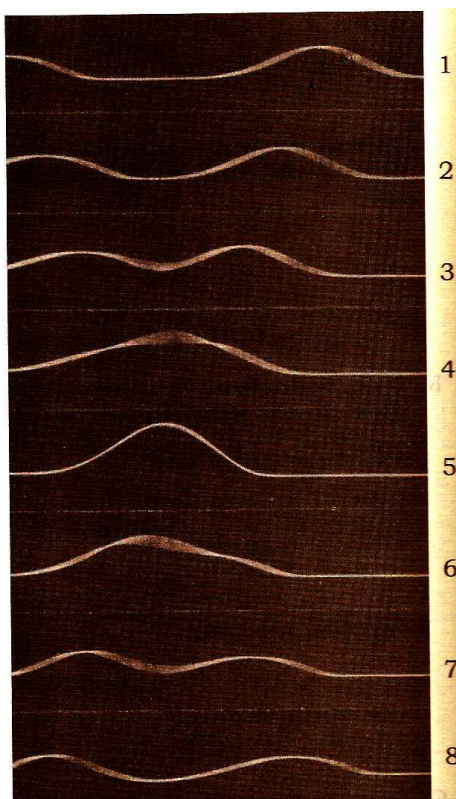
**A.** Os instantâneos abaixo mostram dois pulsos aproximando-se enquanto se propagam em uma mola. As fotografias foram tiradas a intervalos de tempo iguais. Os pulsos estão sempre do mesmo lado da mola (isto é, cada um deles desloca a mola em direção ao topo da página).

1. Quando os pulsos se encontram, cada pulso continua a se mover no mesmo sentido de seu movimento original ou seu movimento inverte o sentido?

Apoie sua resposta com evidências contidas nas fotos.

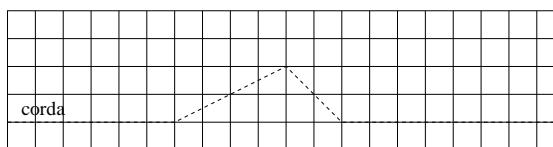
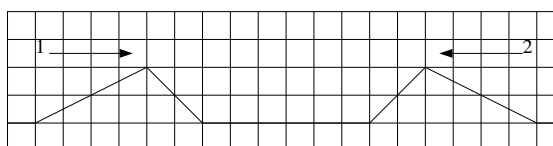
2. Quando os pulsos se superpõem completamente, como mostrado na foto 5, como se compara a perturbação sofrida pela mola com as formas dos pulsos individuais?

3. Descreva como você poderia usar o *princípio da superposição* para determinar a forma da mola em qualquer instante em que haja alguma superposição dos pulsos individuais.



4. Dois pulsos (1 e 2) aproximam-se como mostrado ao lado. O diagrama de baixo mostra a localização do pulso 1 depois de um pequeno intervalo de tempo.

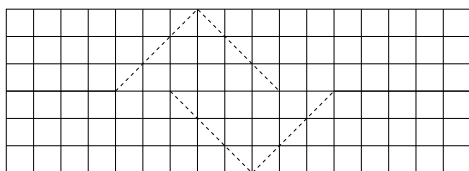
No espaço à direita, desenhe a localização do pulso 2 neste mesmo instante. No mesmo diagrama, desenhe a forma da mola no mesmo instante.



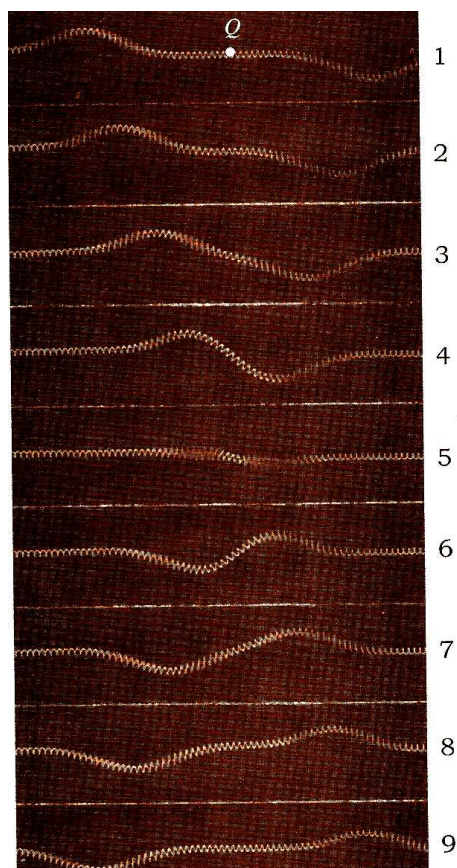
**B.** Dois pulsos de mesma largura e mesma amplitude aproximam-se em *lados opostos* de uma mola (isto é, um pulso desloca a mola para cima enquanto o outro a desloca para baixo). Os instantâneos abaixo foram tirados a intervalos de tempo iguais.

1. O comportamento da mola é consistente com o princípio da superposição? Se o é, que quantidades estão sendo "somadas" neste caso? Se não, explique porque.

2. A representação simplificada abaixo mostra os pulsos individuais num instante entre aqueles que correspondem às fotos 4 e 5. Desenhe a forma da mola no instante mostrado.



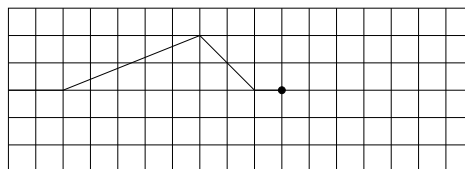
3. Chame de Q o ponto da mola que está a meia distância entre os dois pulsos, como mostra a foto 1 ao lado. Descreva o movimento do ponto Q durante o intervalo de tempo entre as fotos 1 e 9.



4. Que mudanças dentre as possibilidades relacionadas abaixo afetariam o movimento de Q? Explique como e porque.

- se dobrarmos a amplitude dos dois pulsos
- se dobrarmos a amplitude de apenas um dos pulsos
- se dobrarmos a largura de apenas um pulso

5. Considere o pulso *assimétrico* mostrado ao lado. Que formato deveria ter um segundo pulso para fazer com que o ponto Q não se movesse enquanto os dois pulsos se superpussem? No diagrama, indique a forma, localização e sentido do movimento deste segundo pulso no instante mostrado.



## Reflexão

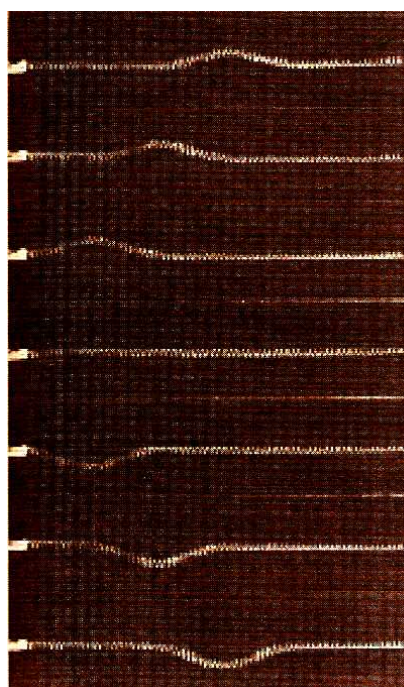
### A. Reflexão numa extremidade fixada.

Os instantâneos à direita mostram um pulso sendo *refletido* pela extremidade fixa de uma mola.

1. Descreva as semelhanças e diferenças entre os pulsos *incidente* (que se move em direção à extremidade fixa) e *refletido*.

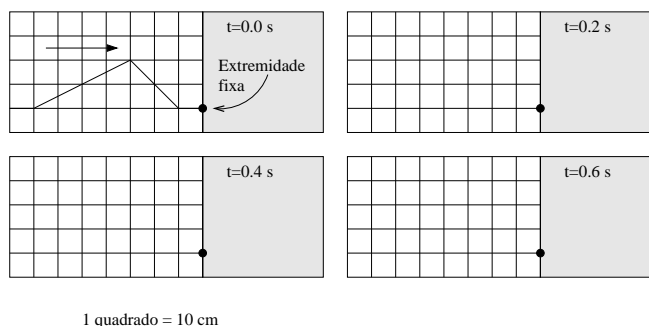
2. Considere a situação descrita na parte B da seção anterior, na qual dois pulsos em lados opostos de uma mola se encontram. Use uma folha de papel para cobrir a metade direita daquelas fotos de modo a deixar descoberta apenas a parte da mola que está à *esquerda do ponto Q*.

Como se comparam o comportamento da parte descoberta da mola (incluindo o ponto Q) com o comportamento da mola mostrada à direita?



Os resultados do exercício acima sugerem um modelo para a reflexão de pulsos na extremidade fixa de molas. Imaginamos que a mola se estende para a direita de sua extremidade fixa e que possamos mandar um pulso ao longo desta parte imaginária da mola em direção à extremidade fixa. Escolhemos a forma e localização deste pulso imaginário de modo que, quando ele passe pelo (se superponha ao) pulso incidente, a extremidade da mola *permaneça imóvel*. (Uma condição como esta que determina o comportamento da extremidade da mola é um exemplo do que chamamos uma *condição de contorno*) Neste caso, os pulsos imaginário e refletido têm o mesmo formato e a mesma direção de propagação.

3. Um pulso com velocidade escalar  $1,0 \text{ m/s}$  incide sobre a extremidade fixa de uma mola. Determine a forma da mola nos instantes (a)  $t=0,2 \text{ s}$ , (b)  $t=0,4 \text{ s}$ , e (c)  $t=0,6 \text{ s}$ . Como se comparam a forma do pulso refletido com a do pulso incidente?



### B. Reflexão numa extremidade livre

Antes de ir embora, observe a demonstração de um pulso sendo refletido numa *extremidade livre* de uma mola. Compare com o que acontece quando a extremidade está fixa.

## 5.6 Reflexão e Transmissão

### Reflexão e transmissão numa fronteira

As fotografias abaixo ilustram o comportamento de duas molas ligadas por suas extremidades quando um pulso alcança a fronteira entre as duas. As fotografias foram tiradas a intervalos de tempo iguais.



**A.** Descreva o que acontece depois do pulso ter alcançado a fronteira entre as molas.

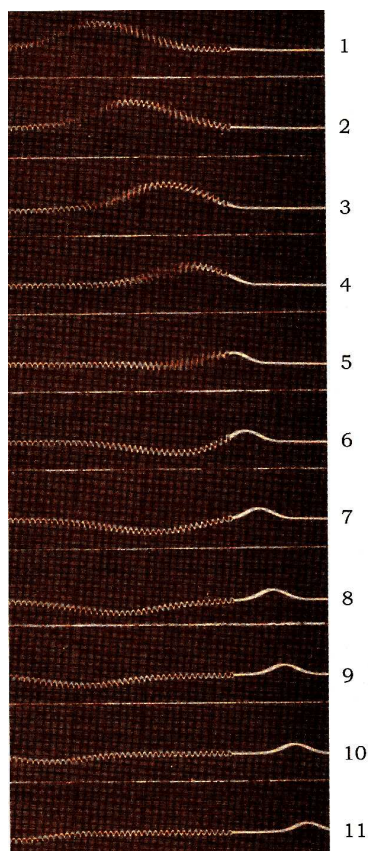
Compare as larguras dos pulsos incidente e transmitido.

**B.** Compare a velocidade do pulso em uma mola com a a velocidade do pulso na outra mola. Faça esta comparação de duas maneiras:

1. Use a informação contida nas fotografias. Explique como.
2. Use a informação contida em apenas uma fotografia (por exemplo, a foto 8). Explique como.

**C.** Ao responder às perguntas abaixo, suponha que a tensão em cada mola seja aproximadamente uniforme.

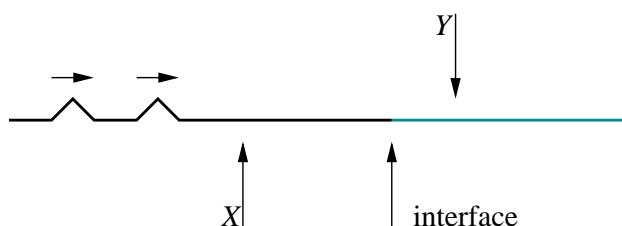
1. Como se comparam a tensão em uma mola com a tensão na outra? Explique seu raciocínio.
2. Como se comparam a densidade linear de massa,  $\mu$ , de uma mola com a densidade linear de massa da outra? Explique seu raciocínio.



**Discuta suas respostas com um instrutor antes de prosseguir.**

### Transmissão de múltiplos pulsos

Imagine que dois pulsos idênticos se propagam em direção à fronteira entre as duas molas da seção anterior. Para esta parte do tutorial, ignore os pulsos refletidos.



**A.** Imagine que você meça o intervalo de tempo que se inicia quando o pico do primeiro pulso alcança o ponto X e que termina quando o pico do segundo pulso alcança o mesmo ponto. Imagine também que um de seus colegas mede o intervalo de tempo correspondente para os pulsos transmitidos quando passam pelo ponto Y.

O intervalo de tempo medido para os pulsos incidentes no ponto X seria *maior que, menor que* ou *igual a* o intervalo de tempo mesido para os pulsos transmitidos no ponto Y? (*Dica:* Imagine uma terceira pessoa medindo um intervalo de tempo equivalente na fronteira entre as duas molas.)

A distância entre os picos transmitidos seria *maior que, menor que* ou *igual a* a distância entre os picos incidentes? Explique sua resposta.

**B.** O tempo que um único pulso incidente leva para passar pelo ponto X é *maior que, menor que* ou *igual a* o tempo que um único pulso transmitido leva para passar pelo ponto Y?

Explique como a mudança que sofre a largura do pulso quando ele passa da primeira para a segunda mola é uma consequência direta da diferença entre as velocidades dos pulsos nas duas molas.

No diagrama acima, esboce os pulsos transmitidos, mostrando suas larguras e o espaçamento entre os pulsos na mesma escala que a mostrada para os pulsos incidentes.

Discuta suas respostas com um instrutor antes de prosseguir.

### Reflexão e transmissão na fronteira revisitadas

As molas da fotografia ao lado são as mesmas mostradas na primeira página desta atividade. Na situação atual, um pulso de aproxima da fronteira entre as duas, vindo da direita.



**A.** Depois da extremidade final do pulso ter alcançado a fronteira, vai haver um pulso refletido?

Se sua resposta for

*positiva:* De que lado da mola vai estar o pulso refletido? Como se compara sua largura com a largura do pulso incidente?

*negativa:* Explique porque não.

Compare as características dos pulsos incidente e transmitido.

Faça um esquema reproduzindo a fotografia e esboce abaixo a forma com que fica a mola num instante posterior à transmissão completa do pulso incidente. Seu esboço deve ilustrar as larguras dos pulsos incidente e transmitido numa mesma escala, bem como suas distâncias à fronteira e o lado da mola em que está cada um.

**B.** Peça a um instrutor para lhe mostrar a sequência temporal de fotografias que ilustram a situação que você acaba de analisar para que você verifique se suas previsões estão corretas.

Se suas previsões se mostraram incorretas, identifique que partes estavam erradas e o motivo que o levou a errar.

### Um modelo para a reflexão numa fronteira

Observamos que ocorre reflexão quando um pulso atinge a fronteira entre duas molas, isto é, quando há uma *mudança abrupta* no meio de propagação. Gostaríamos de poder prever se a fronteira vai atuar mais como uma extremidade fixa ou como uma extremidade livre (isto é, móvel).

**A.** Na situação ilustrada na primeira seção desta atividade, os pulsos incidente e refletido estão do *mesmo* lado da mola, ou estão em lados *opostos*?

Com base nesta observação, parece que a reflexão na fronteira se parece mais com uma reflexão numa extremidade fixa ou numa extremidade livre?

**B.** Quais das quantidades abaixo têm valor diferente nos dois lados da fronteira?

- a tensão na mola
- a densidade linear de massa da mola
- a velocidade de propagação da onda

Qual (quais) das quantidades acima pode (podem) ser usada (usadas) para prever se a fronteira vai atuar mais como uma extremidade fixa ou como uma extremidade livre? (A consideração de casos limites, isto é, valores muito grandes ou muito pequenos das quantidades em questão, pode ajudar o seu raciocínio.)

Descreva como você pode prever se o pulso refletido estará do mesmo lado da mola que o pulso incidente ou do lado oposto.

Descreva como você pode prever se o pulso transmitido estará do mesmo lado da mola que o pulso incidente ou se estará do lado oposto.

**C.** imagine que um pulso se propaga numa mola e se aproxima da fronteira. Esta fronteira atuará mais como uma extremidade fixa ou como uma extremidade livre se a mola estiver ligada a:

- uma corrente de metal muito massiva?
- uma linha de pescar muito fina?

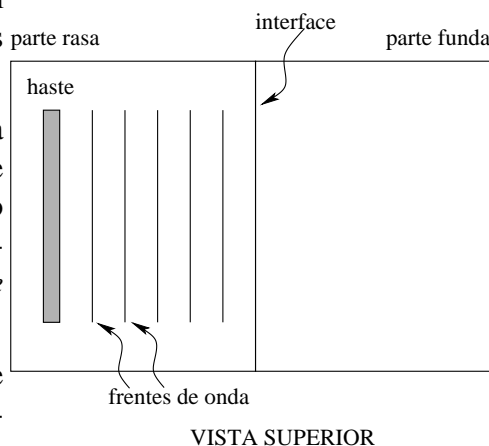
## 5.7 Propagação e refração de ondas periódicas

### Ondas na água passando de uma pequena para uma grande profundidade

A. O diagrama à direita mostra um tanque grande de água contendo duas regiões de profundidades diferentes.

Uma onda periódica está sendo gerada do lado esquerdo do tanque. No instante mostrado, a onda ainda não alcançou o lado mais profundo do tanque. (As linhas no diagrama, chamadas de *frentes de onda*, representam os *picos* da onda.)

Observa-se que ondas na água se propagam *mais rápido* em águas profundas do que em águas rasas.



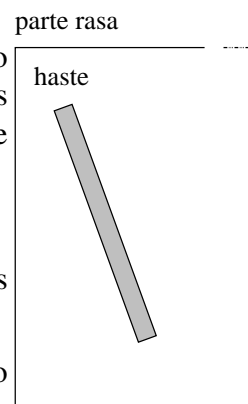
Faça previsões baseadas no que você aprendeu sobre o comportamento de pulsos passando de uma mola para outra.

1. Preveja como se comparam os comprimentos de onda nas duas regiões do tanque. Explique seu raciocínio.
2. Um pico na onda incidente se converterá, na onda transmitida, em *um pico*, *um vale* ou em *algo intermediário*? Explique sua resposta.
3. Preveja como se comparam as frequências das ondas nas duas regiões. Explique seu raciocínio.
4. Confira suas respostas com um instrutor antes de prosseguir.

B. Suponha que um cilindro de madeira, na orientação mostrada à direita, seja movido para frente e para trás num ritmo constante. (O diagrama mostra apenas parte do tanque.)

Faça um diagrama como este e nele:

- (1) esboce a localização e orientação de algumas frentes de onda geradas pelo movimento do cilindro;
- (2) desenhe uma seta que mostre a direção de propagação das frentes de onda.



VISTA SUPERIOR

Peça a um instrutor equipamento que possa ser usado para testar se suas respostas são verificadas pela experiência. (Gere uma onda periódica movendo suavemente o cilindro para frente e para trás num ritmo constante.) Se suas respostas estava incorretas, resolva as inconsistências.

Com base em suas observações, como a orientação de uma frente de onda reta está relacionada com sua direção de propagação?

Explique como sua resposta pode ser também aplicada a frentes de onda circulares (tais como as criadas por uma gota d'água caindo num tanque de água). Faça um esboço de frentes de onda circulares e setas para indicar a direção de propagação em alguns pontos do seu esquema para justificar sua resposta.

É útil representar frentes de onda retas pelo desenho de uma única linha reta ao longo da direção em que a onda se move. Uma ponta de flecha sobre esta linha (—>—) indica a direção de propagação. A linha e a ponta de flecha juntas são chamadas um *raio*, e um diagrama no qual ondas são representadas por raios é chamado um *diagrama de raios*.

**C.** Repita o diagrama da parte **B** e desenhe nele um raio que mostre a direção de propagação da onda gerada pelo cilindro de madeira.

**D.** Suponha que o cilindro de madeira e a fronteira entre as partes rasa e funda do tanque tenham a orientação mostrada na figura ao lado.

Com base em suas observações até agora, esboce duas frentes de onda consecutivas

(1) antes delas cruzarem a fronteira entre as partes rasa e funda do tanque;

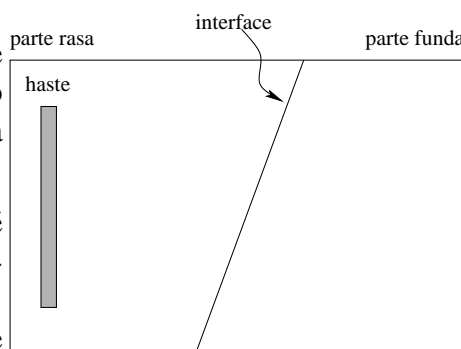
(2) num instante em que elas estejam cruzando esta fronteira;

(3) depois de já terem atravessado completamente esta fronteira. (Ignore reflexões na fronteira para fazer o desenho.)

Explique o raciocínio que você usou para fazer os diagramas.

**E.** Obtenha com o instrutor uma fotografia que mostre frentes de onda incidentes pela esquerda em fronteiras entre duas regiões com diferentes profundidades de água e verifique suas respostas às perguntas da parte **D**.

1. Explique porque você pode afirmar que, na fotografia, a parte mais rasa do tanque está no lado esquerdo.

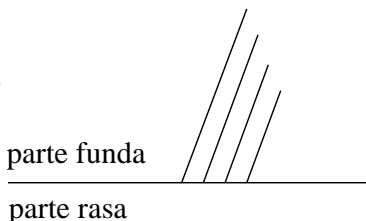


VISTA SUPERIOR

2. Descreva como as frentes de onda mudam quando cruzam a fronteira. Use sua resposta à parte **B** para determinar como muda a direção de propagação, se ela o fizer.
3. Como muda a fase da onda ao passar de uma região para a outra (se ela o fizer)? (Em outras palavras, um pico da onda incidente é transmitido como *um pico*, *um vale*, ou *algo intermediário*?) Explique como a observação da fotografia corrobora sua afirmativa.
4. Suas previsões da parte **D** são consistentes com suas respostas às perguntas acima? Se não, resolva as inconsistências.

### Uma onda na água passando de águas fundas para águas rasas

**A.** O diagrama à direita mostra uma onda periódica que incide sobre a fronteira entre água funda e água rasa. Suponha que a velocidade de propagação da onda na água rasa seja a *metade* de seu valor em águas fundas.



Peça ao instrutor uma ampliação do diagrama e as transparências associadas a esta seção.

1. Escolha a transparência na qual as linhas paralelas melhor representam as frentes de onda transmitidas.

Explique o raciocínio que você usou para determinar que conjunto de linhas paralelas melhor representa a onda transmitida.

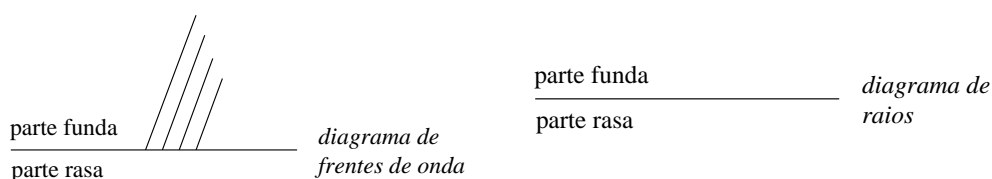
2. Ponha a transparência escolhida sobre a ampliação de modo a que as linhas paralelas mostrem a orientação e localização das frentes de onda transmitidas.

Que critérios você usou para determinar como orientar as frentes de onda transmitidas?

Existe mais de uma orientação possível para as frentes de onda transmitidas que seja consistente com seus critérios?

3. Descreva como o diagrama seria diferente se o diagrama representasse a situação um quarto de período após. (Dica: Qual a direção de propagação das frentes de onda transmitidas? Quanto elas caminham em um quarto do período?)

**B.** Use os modelos abaixo para desenhar dois diagramas que representem ondas passando de águas fundas para águas rasas no ângulo de incidência mostrado. Mostre em um diagrama as frentes de onda e no outro os raios.

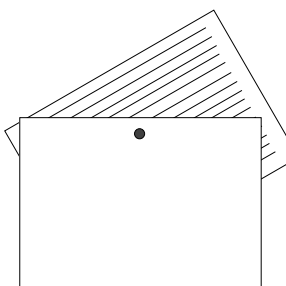


A mudança que ocorre numa onda que, ao se propagar, penetra numa região onde sua velocidade é diferente chama-se *refração*. Quando representamos ondas através de diagramas de raios, o *ângulo de incidência* é definido como o ângulo formado entre o raio que representa a onda incidente e a *normal* à fronteira de separação entre as regiões (*interface*). O *ângulo de refração* é definido de maneira análoga.

**C.** Em seu diagrama de raios da parte B, represente e rotule o ângulo de incidência,  $\theta_i$ , e o ângulo de refração,  $\theta_r$ .

**D.** Peça ao instrutor os materiais mostrados à direita. As linhas paralelas no papel representam frentes de onda incidentes sobre uma interface (indicada pelo lado do cartão branco). Mudando a orientação do papel podemos modelar diferentes ângulos de incidência.

Suponha que as frentes de onda no papel são ondas em águas fundas se aproximando de uma região rasa. Gire o papel de modo a que o ângulo de incidência seja de  $0^\circ$ . Qual das transparências usadas na parte A pode ser usada para representar as frentes de onda na água rasa? Ponha a transparência sobre o cartão para mostrar as frentes de onda refratadas. Comente.

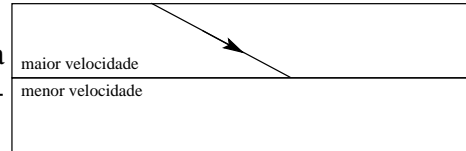


Quando o ângulo de incidência é  $0^\circ$ , qual o ângulo de refração?

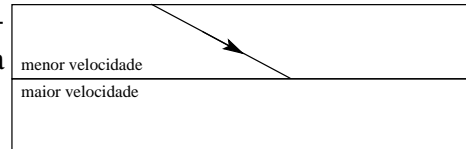
Quando o ângulo de incidência é aumentado gradualmente, o ângulo de refração *aumenta, diminui ou permanece o mesmo*?

## Sumário

**A.** Cada um dos diagramas à direita mostra um raio incidindo sobre a interface entre dois meios diferentes.



Desenhe a trajetória de cada um dos raios no segundo meio. Desenhe também em tracejado o trajeto que a onda teria seguido se não se curvasse.



O raio que representa a onda transmitida, ao se curvar, se aproxima ou se afasta da normal quando:

- a velocidade da onda é menor no segundo meio?
- a velocidade da onda é maior no segundo meio?

**B.** O raio que representa uma onda sempre se curva quando a onda passa de um meio para outro diferente? Se não, dê um exemplo no qual ele não se curva.



## Parte 6

# Circuitos Elétricos

### 6.1 Um modelo para circuitos (1): Corrente e resistência

Nesta atividade vamos construir um modelo para a corrente elétrica que podemos usar para prever e explicar o comportamento de circuitos elétricos simples.

#### Circuitos fechados

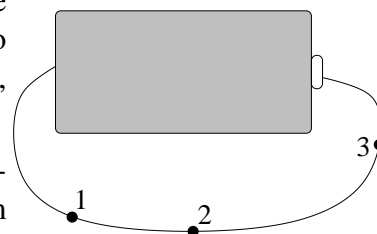
**A.** Obtenha uma pilha (bateria), uma lâmpada e um único pedaço de fio condutor. Conecte-os de várias maneiras diferentes. Desenhe cada um dos arranjos que você obteve.

Você deve ter encontrado pelo menos quatro arranjos diferentes nos quais a lâmpada acende. Em que estas arranjos são semelhantes? Como eles diferem dos arranjos nos quais a lâmpada não acende?

Explicite os requisitos necessários para que a lâmpada acenda.

**B.** Um estudante conectou um pedaço de fio condutor aos terminais de uma pilha até sentir que o fio esquentou. O estudante acha que o fio aparenta estar igualmente quente nos pontos 1, 2 e 3.

Baseado nesta observação o que você pode concluir sobre o que está acontecendo com o fio em um dos pontos, em comparação com o que acontece nos outros?

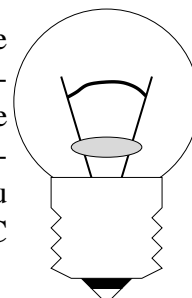


**C.** Acenda a lâmpada usando a pilha e um único pedaço de fio. Observe e registre

o comportamento (isto é, o brilho) da lâmpada quando objetos feitos de diferentes materiais são inseridos no circuito. Experimente materiais tais como papel, moedas, grafite de lápis, borracha, seu dedo, etc.

Qual a característica comum a todos os objetos que permitem que a lâmpada fique acesa?

**D.** Examine uma lâmpada com cuidado. Dois pedaços de fio se estendem do filamento da lâmpada até a sua base. Você provavelmente não consegue ver o interior da base; no entanto, você deve ser capaz de adivinhar onde os pedaços de fio estão conectados neste interior. Diga onde são estas conexões. Explique seu raciocínio baseando-se nas observações feitas nos itens A a C acima.



Com base nas observações feitas por você até este ponto, vamos fazer as seguintes hipóteses:

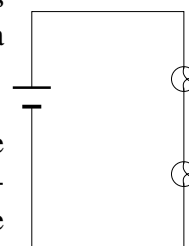
1. Num circuito fechado, existe algo que flui a partir de um terminal da pilha, atravessa o resto do circuito, retorna à pilha pelo outro terminal, passa através da pilha e recomeça todo o percurso descrito. Vamos chamar este algo que flui de *corrente elétrica*.
2. Se temos duas lâmpadas idênticas, o brilho da lâmpada pode ser usado como um indicador da quantidade de corrente que passa através da lâmpada: quanto mais a lâmpada brilha, maior é a corrente que a atravessa.

A partir destas hipóteses, vamos desenvolver um modelo que pode ser usado para explicar o comportamento de circuitos simples. A construção de um modelo científico é um processo passo a passo no qual especificamos apenas o número mínimo de atributos que são necessários para dar conta do fenômeno que desejamos considerar.

## Lâmpadas em série

Construa um circuito com duas lâmpadas idênticas conectadas uma após a outra como mostrado ao lado. Lâmpadas ligadas desta maneira são ditas estarem conectadas em *série*.

**A.** Compare o brilho de uma lâmpada com o da outra. (Preste atenção apenas a grandes diferenças de brilho. Você pode perceber pequenas diferenças se duas lâmpadas "idênticas" não são, de fato, iguais.)



## 6.1. UM MODELO PARA CIRCUITOS (1): CORRENTE E RESISTÊNCIA 91

Use as hipóteses que fizemos para desenvolver nosso modelo de corrente elétrica para responder às seguintes questões:

1. A corrente "se gasta", em parte, ao atravessar a primeira lâmpada, ou é a mesma que atravessa ambas as lâmpadas?
2. Você acha que faria alguma diferença inverter a ordem com que as lâmpadas são atravessadas? Teste sua previsão.
3. Baseado *apenas* em suas observações, você pode inferir em que sentido a corrente elétrica flui através do circuito?

**B.** Compare os brilhos de cada uma de duas lâmpadas idênticas no circuito com duas lâmpadas em série com o brilho de uma lâmpada igual às anteriores no circuito com uma única lâmpada.

Use as hipóteses que formulamos ao desenvolver nosso modelo para a corrente elétrica para responder às seguintes perguntas:

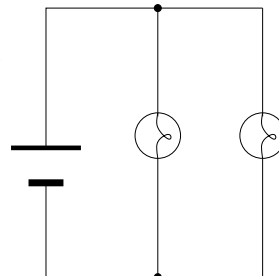
1. Como se compara a corrente através da lâmpada num circuito de uma única lâmpada com a corrente através da mesma lâmpada quando ela está conectada em série com uma segunda lâmpada? Explique seu raciocínio.
2. O que é que sua resposta à pergunta 1 implica sobre como a corrente que atravessa a *pilha* num circuito com uma única lâmpada se compara com a corrente através da *pilha* num circuito com duas lâmpadas em série? Explique seu raciocínio.

**C.** Podemos pensar que uma lâmpada oferece um obstáculo, ou uma *resistência* à passagem de corrente em um circuito.

1. Pensando desta forma, adicionar mais lâmpadas em série faz com que o obstáculo ao fluxo, ou a *resistência total*, aumente, diminua, ou permaneça a mesma que antes?
2. Formule uma regra para prever como a corrente através da pilha mudaria (isto é, se *aumentaria*, *diminuiria* ou *permaneceria a mesma*) se o número de lâmpadas ligadas em série fosse aumentado ou diminuído.

## Lâmpadas em paralelo

Construa um circuito com duas lâmpadas idênticas de modo que seus terminais fiquem ligados como mostrado ao lado. Lâmpadas conectadas desta forma são ditas estarem ligadas em *paralelo*



**A.** Compare os brilhos das lâmpadas neste circuito.

1. O que você pode concluir a partir de suas observações sobre a quantidade de corrente que atravessa cada uma das lâmpadas?
2. Descreva a corrente no circuito inteiro. Baseie sua resposta em suas observações. Em particular, como é que a corrente que passa pela pilha aparenta se dividir e se recombinar nas junções dos dois ramos paralelos?

**B.** O brilho de cada lâmpada em um circuito de duas lâmpadas em paralelo é *maior que*, *menor que* ou *igual a* o brilho da lâmpada em um circuito com uma única lâmpada?

Como se compara a quantidade de corrente que passa pela *pilha* de um circuito com uma única lâmpada com a quantidade de corrente que passa pela *pilha* de um circuito com duas lâmpadas em paralelo? Explique sua resposta, baseando-se em suas observações.

**C.** Formule uma regra que sirva para prever como a corrente que passa pela pilha mudaria (isto é, se *aumentaria*, *diminuiria* ou se *permaneceria a mesma*) se o número de lâmpadas ligadas em paralelo fosse aumentado ou diminuído. Baseie sua resposta em sua observação do comportamento de um circuito com duas lâmpadas em paralelo e no modelo para a corrente elétrica.

O que você pode inferir sobre a resistência total de um circuito quando o número de ramos paralelos é aumentado? e quando ele é diminuído?

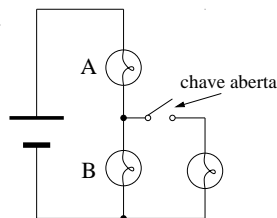
**D.** A quantidade de corrente que passa pela pilha aparenta depender do número de lâmpadas no circuito e da maneira como elas estão conectadas?

**E.** Desconecte uma das lâmpadas de um circuito com duas lâmpadas em paralelo. Isto modifica significativamente a corrente que passa pelo ramo que contém a outra lâmpada?

Uma das características de uma pilha (ou bateria) *ideal* é que os ramos conectados diretamente através dela são independentes uns dos outros.

### Limitações: A necessidade de estender o modelo

**A.** O circuito à direita contém três lâmpadas idênticas e uma pilha ideal. Suponha que a resistência do interruptor (ou chave) é desprezível quando ele está fechado. Use o modelo que desenvolvemos para:



(i) prever o brilho relativo das lâmpadas (isto é, qual brilha mais e qual brilha menos) no circuito quando o interruptor está fechado. Explique.

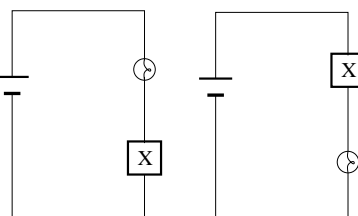
(ii) prever como o brilho da lâmpada A muda quando o interruptor é aberto. Explique seu raciocínio.

**B.** Mostre que o modelo que desenvolvemos até agora para a corrente é inadequado para determinar como o brilho da lâmpada B muda quando o interruptor é aberto.

## 6.2 Um modelo para circuitos (2): Diferença de potencial

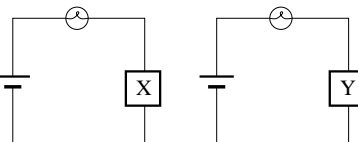
### Circuitos fechados

**A.** Os circuitos à direita contêm baterias e lâmpadas idênticas e um elemento desconhecido chamado de X.



Como se comparam os brilhos das lâmpadas?

**B.** Os circuitos à direita contêm baterias e lâmpadas idênticas. As caixas chamadas de X e Y representam elementos de circuitos desconhecidos. (Suponha que não haja baterias nestas caixas.)



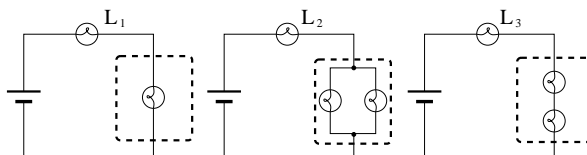
Observa-se que a lâmpada da esquerda tem brilho maior que a lâmpada da direita.

1. Baseando-se nesta observação, compare a resistência do elemento X com a do elemento Y. Explique seu raciocínio.

2. Compare, em cada circuito, a corrente que atravessa a lâmpada com a que atravessa o elemento desconhecido.

3. Compare, em cada circuito, a corrente através da lâmpada com a que passa pela bateria.

**C.** Preveja o brilho relativo das lâmpadas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  nos circuitos mostrados. (Uma caixa hachurada foi desenhada em torno do trecho dos elementos



estão no trecho do circuito ligado em série com cada uma das lâmpadas mencionadas.)

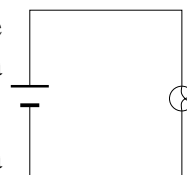
Que consequência tem a previsão que você fez sobre os módulos relativos das correntes que passam pelas *pilhas*? Explique seu raciocínio.

Peça a seu instrutor para lhe mostrar estes circuitos e observe o que de fato acontece. Resolva os eventuais conflitos entre suas previsões e a realidade.

## Diferença de potencial elétrico

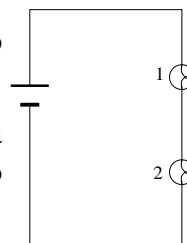
Para todos os circuitos apresentados na sequência desta atividade use o comparativo que possui duas baterias ligadas em série. Esta combinação de duas baterias será tratada como um único elemento de circuito.

**A.** Monte um circuito com uma única lâmpada e as duas baterias como mostra a figura. Ligue cada terminal de um voltímetro a um terminal da bateria de modo a medir a diferença de potencial entre os terminais da bateria. Faça uma medida similar para a diferença de potencial entre os terminais da lâmpada.



Como se compara a diferença de potencial entre os terminais da bateria com a diferença de potencial entre os terminais da lâmpada?

**B.** Monte o circuito contendo duas lâmpadas em série como mostrado na figura.



Ordene, da maior para a menor, as correntes através da lâmpada 1, através da lâmpada 2, e através da lâmpada do circuito da seção A. Explique seu raciocínio.

Meça a diferença de potencial através de cada elemento do circuito.

1. Compare a diferença de potencial entre os terminais da bateria neste circuito com a diferença de potencial entre os terminais da bateria do circuito da parte A.

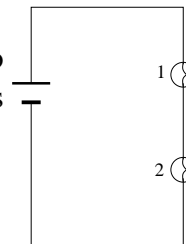
## 6.2. UM MODELO PARA CIRCUITOS (2): DIFERENÇA DE POTENCIAL 95

2. Ordene as diferenças de potencial entre os terminais da lâmpada 1, da lâmpada 2, e da lâmpada no circuito da parte A.

3. Ordene as tres lâmpadas de acordo com seu brilho e compare com o ordenamento das diferenças de potencial feito no item anterior.

**C.** Preveja qual será a leitura do voltímetro se ele fosse usado para medir a diferença de potencial através da combinação das duas lâmpadas 1 e 2. Explique seu raciocínio.

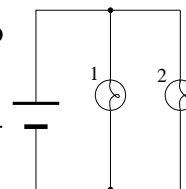
Teste sua previsão.



Compare a diferença de potencial através da combinação das duas lâmpadas com a diferença de potencial entre os terminais da bateria.

**D.** Monte o circuito com as duas lâmpadas em paralelo como mostrado na figura.

Ordene as correntes através das lâmpadas 1 e 2 e através da lâmpada no circuito da parte A. Explique seu raciocínio.



Compare a corrente através da lâmpada 1 com a corrente que atravessa a bateria. Explique seu raciocínio.

Meça a diferença de potencial entre os terminais de cada um dos elementos do circuito.

1. Compare a diferença de potencial entre os terminais da bateria neste circuito com a diferença de potencial entre os terminais da bateria no circuito com uma única lâmpada da parte A.

2. Ordene as diferenças de potencial através da lâmpada 1, da lâmpada 2 e através da lâmpada do circuito da parte A.

3. Compare o ordenamento feito para as diferenças de potencial com o ordenamento dos brilhos das lâmpadas.

**E.** Responda as perguntas a seguir baseando-se nas medidas feitas até agora.

1. O valor da *corrente que atravessa a bateria* depende do circuito ao qual ela está ligada? Explique.

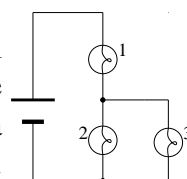
2. O valor da *diferença de potencial entre os terminais da bateria* depende do circuito ao qual ela está ligada? Explique.

## Extendendo o modelo

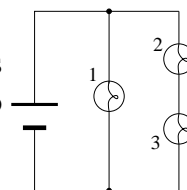
Nosso modelo para circuitos elétricos inclui a idéia que, para lâmpadas iguais, o brilho da lâmpada é um indicador da quantidade de corrente que flui através da lâmpada. Baseado nas observações feitas ao longo desta atividade, podemos estender este modelo para incluir a idéia de que, para circuitos contendo lâmpadas iguais, o brilho da lâmpada também indica o valor da diferença de potencial entre os terminais da lâmpada.

**A.** Construa um circuito com três lâmpadas idênticas como mostrado e observe seus brilhos.

Preveja qual será o ordenamento das diferenças de potencial através da bateria e através de cada das três lâmpadas. Explique sua previsão. Meça as diferenças de potencial através de cada um dos elementos do circuito e confronte-as com suas previsões. Se suas medidas não forem consistentes com as previsões feitas, resolva as inconsistências.



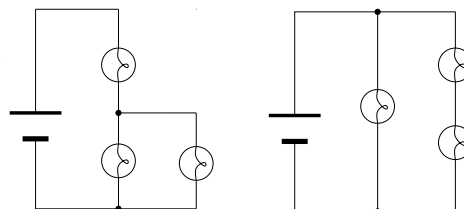
**B.** Preveja qual será o ordenamento correto para as correntes que aravessam a bateria e cada uma das lâmpadas do circuito mostrado ao lado.



Preveja qual serão as diferenças de potencial através de cada um dos elementos do circuito. Explique seu raciocínio.

Monte o circuito e verifique suas previsões. Se suas observações e suas medidas não forem consistentes com suas previsões, resolva as inconsistências.

**C.** Os dois circuitos ao lado têm mais de um caminho possível para o percurso da corrente elétrica. Represente todas as malhas de corrente possíveis de cada um dos circuitos. (Uma "malha de corrente" é um *caminho sem cruzamentos* que liga um terminal da bateria ao outro, ao longo do circuito.)



Calcule a soma das diferenças de potencial através de todas as lâmpadas pertencentes à malha, para cada uma das malhas que você desenhou. (Use as medidas que você fez acima.)



## 6.2. UM MODELO PARA CIRCUITOS (2): DIFERENÇA DE POTENCIAL<sup>97</sup>

Compare as somas das diferenças de potencial em cada malha com a diferença de potencial entre os terminais da bateria.

**Discuta suas respostas com o instrutor**