

versão preliminar

---

leituras de  
**física**

GRAF

MECÂNICA

para ler, fazer e pensar

---

# 11 a 20

- |                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 11. Coisas que controlam movimentos | 16. Batendo, ralando e esfregando ... |
| 12. Onde estão as forças?           | 17. O ar que te segura                |
| 13. Peso, massa e gravidade         | 18. Acelera!                          |
| 14. Medindo forças                  | 19. Quem com ferro fere ...           |
| 15. Quando é difícil parar          | 20. Pit Stop para um test drive       |

Leituras de Física é uma publicação do

## **GRAF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física Instituto de Física da USP**

### **EQUIPE DE ELABORAÇÃO DAS LEITURAS DE FÍSICA**

Anna Cecília Copelli  
Carlos Toscano  
Dorival Rodrigues Teixeira  
Isilda Sampaio Silva  
Jairo Alves Pereira  
João Martins  
Luís Carlos de Menezes (coordenador)  
Luís Paulo de Carvalho Piassi  
Suely Baldin Pelaes  
Wilton da Silva Dias  
Yassuko Hosoume (coordenadora)

### **ILUSTRAÇÕES:**

Fernando Chuí de Menezes  
Mário Kano

**GRAF - Instituto de Física da USP**  
**rua do Matão, travessa R, 187**  
**Edifício Principal, Ala 2, sala 305**  
**05508-900 São Paulo - SP**  
**fone: (011) 818-7011 fax:(011) 818-7057**

financiamento e apoio:

Convênio USP/MEC-FNDE

Sub-programa de educação para as Ciências (CAPES-MEC)

FAPESP / MEC - Programa Pró-Ciência

Secretaria da Educação do Estado de São Paulo - CENP

**A reprodução deste material é permitida, desde que observadas as seguintes condições:**

- 1. Esta página deve estar presente em todas as cópias impressas ou eletrônicas.**
- 2. Nenhuma alteração, exclusão ou acréscimo de qualquer espécie podem ser efetuados no material.**
- 3. As cópias impressas ou eletrônicas não podem ser utilizadas com fins comerciais de qualquer espécie.**

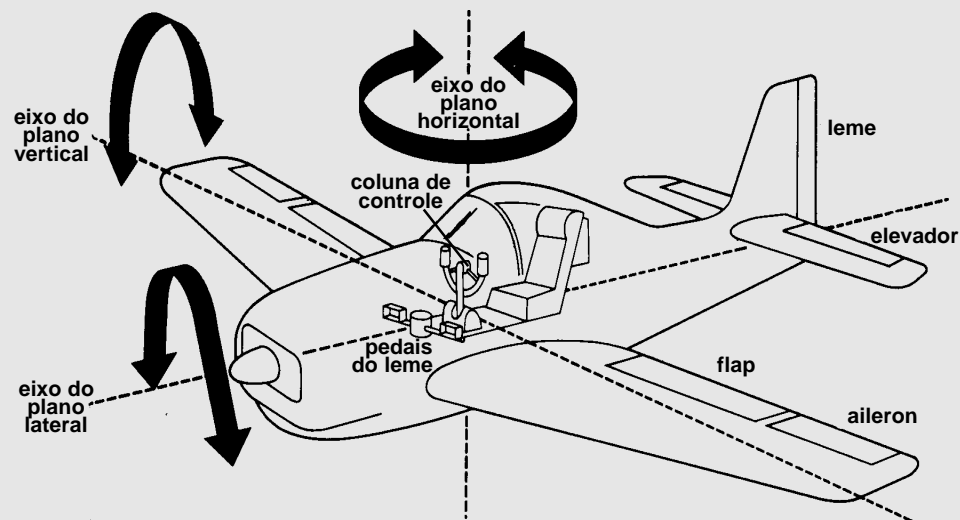
**junho de 1998**

# 11

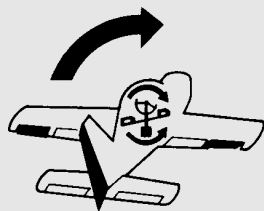
## Coisas que controlam movimentos

O controle dos movimentos traz novas questões interessantes, onde o conceito de força será fundamental.

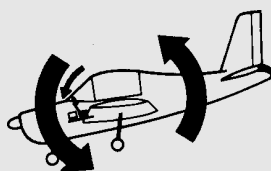
### O controle do vôo dos aviões



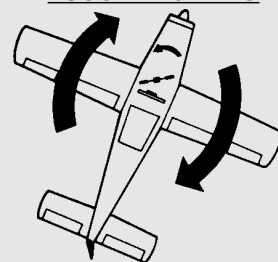
**CURVA NORMAL**



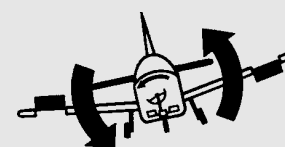
**EMBICANDO**



**ESCORREGANDO**



**INCLINANDO**



As figuras mostram os elementos mecânicos que permitem direcionar o vôo de um aeroplano. Com eles, o piloto efetua rotações no corpo da aeronave em pleno ar, permitindo um controle muito grande do movimento do avião. Observe em cada figura quais são os elementos acionados para produzirem cada efeito, que estão destacados em preto. Na curva normal, por exemplo, o piloto utiliza o leme e os ailerons (um para cima, e o outro para baixo). Para inclinar o bico do avião são acionados os elevadores, e assim por diante. Como você pode ver, para controlar o movimento de um objeto é preciso conhecer como produzir cada efeito. É disso que iremos tratar agora.

Figuras extraídas de *Como Funciona - todos os segredos da tecnologia moderna*, 3ª edição, Editora Abril.

Manobrar um carro para colocá-lo em uma vaga no estacionamento ou aterrissar um avião são tarefas onde o controle dos movimentos é fundamental.

Para que esse controle possa ser realizado, vários elementos são projetados, desenvolvidos e incorporados aos veículos e outras máquinas.

Para um avião mudar de direção em pleno ar existe uma série de mecanismos que você deve ter observado na página anterior. Nos barcos e automóveis, também temos mecanismos, embora mais simples do que os das aeronaves.

Tudo isso indica que a mudança na direção dos movimentos não se dá de forma natural, espontânea. Ao contrário, exige um esforço, uma mudança nas interações entre o corpo e o meio que o circunda.

Da mesma forma, aumentar ou diminuir a velocidade exige mecanismos especiais para este fim. Os automóveis possuem o sistema de freios para diminuir sua velocidade

e parar, e um controle da potência do motor para poder aumentar ou manter a sua velocidade. O mesmo ocorre com os aviões, barcos, e outros veículos que têm que possuir sistemas de controle da velocidade.

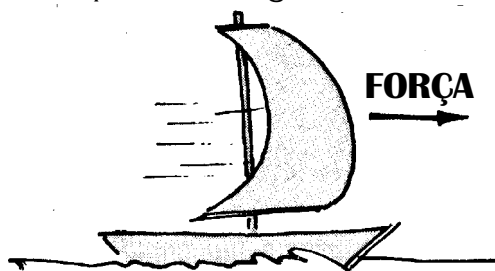
Além disso, os próprios animais possuem seus próprios sistemas de controle de movimentos, seja para mudar sua direção, seja para alterar sua velocidade.

Em todos esses casos estamos tratando das interações que os corpos têm com o meio. Um barco para aumentar sua velocidade tem que jogar mais água para trás: isso constitui uma nova interação entre ele e a água. O avião, para mudar de direção, inclina um ou mais de seus mecanismos móveis, e faz com que ele interaja com o ar de uma forma diferente.

Na Física, as interações podem ser compreendidas como **forças** que um objeto aplica em outro. Assim, para que o avião mude de direção, é necessário que suas asas apliquem uma força diferente no ar, e que este, por sua vez também aplique outras forças no avião.

## Força e velocidade

Quando o vento sopra na vela de um barco está "forçando-o" para frente. Trata-se de uma interação que podemos representar da seguinte forma:



A flecha indica que o vento aplica uma força na vela para a frente. Seu comprimento indica a intensidade da força: uma força maior seria indicada por uma flecha mais comprida. Essa forma de representar uma quantidade

física é chamada de vetor.

Para aumentar sua velocidade o barco precisa sofrer uma força no mesmo sentido do seu movimento. Uma força no sentido contrário faria sua velocidade diminuir. É o que aconteceria se, de repente, o vento passasse a soprar para trás.

Mas além de interagir com o ar, o barco também interage com a água. Ele empurra água para frente, e esta, por sua vez, dificulta seu movimento, "segura" o casco. Isso pode ser representado por uma outra força, agora no sentido contrário do movimento. Se o vento cessar, essa força da água fará o barco parar, uma vez que é oposta ao movimento. Tente representar a força que a água faz no barco através de um vetor.

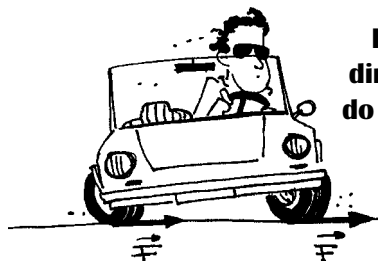
### VETORES E ESCALARES

**Quantidades físicas que têm valor, direção e sentido podem ser representadas por vetores e por isso são chamadas vetoriais. Exemplos: força, velocidade, velocidade angular.**

**Quantidades que são representadas apenas por um valor, como a massa, o comprimento ou a temperatura são chamadas de escalares.**

## Força e direção

Para mudar a direção de um movimento, como já dissemos, é preciso uma força. Porém, não uma força qualquer. Para que o movimento mude de direção a força deve ser aplicada em uma direção diferente da direção do movimento. É isso que acontece quando um motorista vira a direção do seu carro (já sei, já sei, escrevi muita direção em um parágrafo só ...)

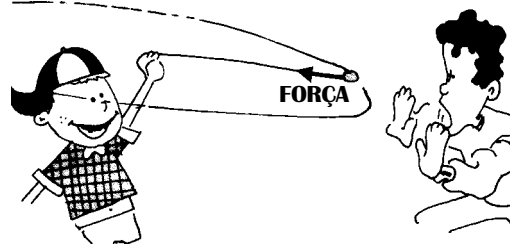


**Forças aplicadas em direções diferentes da direção do movimento, mudam a direção do movimento.**

Em outras palavras, se um carro está indo para a frente e quer virar à esquerda, é preciso que a força seja aplicada

como mostra a figura. Neste caso, a força representa uma interação entre os pneus e o asfalto: o pneu força o asfalto para lá e o asfalto força os pneus (e o carro) para cá.

Portanto, movimentos curvos só ocorrem quando há uma força agindo em uma direção diferente do movimento. Quando você gira uma pedra presa a um barbante, a pedra está sendo forçada pelo barbante para “dentro”, mantendo-o em um movimento circular. Se o barbante se rompe, a pedra segue em frente de onde foi solta.



**Para onde a pedra vai se o menino soltá-la deste ponto?**

Por trás de todos estes exemplos estão as leis do movimento, conhecidas como "Leis de Newton". Conhecendo estas leis e as várias interações podemos prever os movimentos e as condições para que os objetos fiquem em equilíbrio. Os sistemas de controle de movimento que acabamos de discutir obedecem às Leis de Newton e são projetados para funcionarem corretamente de acordo com as interações a que estão sujeitos. Nas próximas leituras estaremos aprofundando o estudo das Leis de Newton e das várias interações que acabamos de apresentar. Que tal dar uma lida nos enunciados das três Leis de Newton, apresentados abaixo e tentar explicar com suas próprias palavras o que você consegue entender. Esses enunciados estão escritos da forma como Newton os redigiu em seu livro *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*.

**1ª Lei:**

**“Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas a ele.”**

**2ª Lei:**

**“A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.”**

**3ª Lei:**

**“A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.”**

## Calvin



A tirinha do Calvin ilustra o que você não irá fazer agora. Releia cuidadosamente cada um dos enunciados das leis de Newton apresentados na página anterior e tente explicar o que diz cada uma dela. Tente também dar exemplos práticos que você acha que estejam ligados ao que diz cada lei.

E se você for bom mesmo, tente encontrar exemplos de como as três Leis de Newton aparecem no controle de voo dos aviões.

## Bill Watterson

# Força e rotação

Você deve ter notado que os aviões, para mudar de direção efetuam rotações em torno de três eixos, denominados, *vertical*, *horizontal* e *lateral*.

Para obter essas ou quaisquer outras rotações é necessário sofrer a ação de forças. Porém, essas forças não podem ser *quaisquer* forças.

Note que os mecanismos usados para girar o avião no ar durante o voo (aileron, elevador e leme) estão situados nas extremidades da aeronave. Isso porque, quanto mais longe do eixo for aplicada uma força, mais eficaz ela será para provocar uma rotação.

Ponha uma bicicleta de cabeça para baixo e tente girar sua roda. Tente fazê-lo forçando na borda da roda ou no centro dela. Você verá que forçar pelo centro é uma tarefa muito mais difícil.

A capacidade de uma força provocar um giro se denomina *torque*. Talvez você já tenha ouvido essa palavra antes em frases do tipo: *o motor deste carro possui um grande torque*. É exatamente disso que se trata: a capacidade do motor provocar a rotação das rodas do veículo.

**Identifique o eixo da rotação provocada pelo leme, pelos elevadores e pelos aleirons e indique as que eles provocam no avião por meio de vetores.**

**12**

Onde estão  
as forças?

Você é capaz de  
perceber as diferentes  
interações  
representadas na cena  
ao lado?



Revista MAD n° 97  
Editora Record

45

# 12 Onde estão as forças?

As formas pelas quais os objetos interagem uns com os outros são muito variadas. A interação das asas de um pássaro com o ar, que permite o voo, por exemplo, é diferente da interação entre uma raquete e uma bolinha de pingue-pongue, da interação entre uma lixa e uma parede ou entre um ímã e um alfinete.

Isaac Newton, o famoso físico inglês do século XVIII, conseguiu elaborar leis que permitem lidar com toda essa variedade, descrevendo essas interações como **forças**

que agem entre os objetos. Cada interação representa uma força diferente, que depende das diferentes condições em que os objetos interagem. Mas todas obedecem aos mesmos princípios elaborados por Newton, e que ficaram conhecidos como Leis de Newton. Para compreender melhor essa variedade de interações é que apresentamos a cena da página anterior. Agora vamos dar um "zoom" em alguns detalhes para observar mais de perto alguns exemplos dessas interações.

## Gravidade



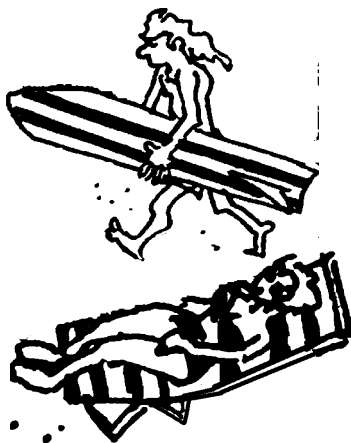
As coisas caem porque são atraídas pela Terra. Há uma força que "puxa" cada objeto para baixo e que também é responsável por manter a atmosfera sobre a Terra e também por deixar a Lua e os satélites artificiais em órbita. É a chamada **força gravitacional**. Essa força representa uma interação existente entre a Terra e os objetos que estão sobre ela.

## Na água



A água também pode sustentar coisas, impedindo que elas afundem. Essa interação da água com os objetos se dá no sentido oposto ao da gravidade e é medida através de uma força que chamamos de **empuxo hidrostático**. É por isso que nos sentimos mais "leves" quando estamos dentro da água. O que sustenta balões no ar também é uma força de empuxo, igual à que observamos na água.

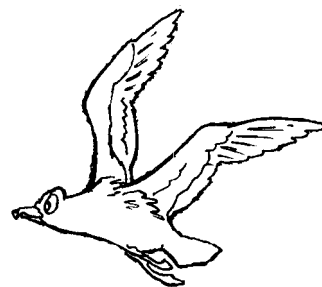
## Sustentação



Para que as coisas não caiam é preciso segurá-las. Para levar a prancha o garotão faz força para cima. Da mesma forma, a cadeira sustenta a moça, enquanto ela toma sol.

Em cada um desses casos, há duas forças opostas: a força da gravidade, que puxa a moça e a prancha para baixo, e uma força para cima, de sustentação, que a mão do surfista faz na prancha e a cadeira faz na moça. Em geral, ela é conhecida como **força normal**.

## No ar



Para se segurar no ar o pássaro bate asas e consegue com que o ar exerça uma força para cima, suficientemente grande para vencer a força da gravidade. Da mesma forma, o movimento dos aviões e o formato especial de suas asas acaba por criar uma força de sustentação.

Essas forças também podem ser chamadas de empuxo. Porém, trata-se de um **empuxo dinâmico**, ou seja, que depende de um movimento para existir. As forças de empuxo *estático* que observamos na água ou no caso de balões, não dependem de um movimento para surgir.



## Atritos



Coisas que se raspam ou se esfregam estão em atrito umas com as outras. Esse atrito também representa uma interação entre os objetos. Quando você desliza a mão sobre a pele da pessoa amada, está exercendo sobre ela uma **força de atrito**.

De um modo geral, as forças de atrito se opõem aos movimentos. Ou seja, seu sentido é oposto ao sentido do movimento. É isso que permite que um carro freie e pare: a força de atrito entre o disco e a pastilha dos freios e o atrito entre o pneu e o chão.

As forças de atrito são também as responsáveis pela locomoção em terra. Quando empurramos a Terra para trás para ir para a frente, estamos interagindo através do atrito entre os pés e o chão.

## Aprenda a voar em cinco minutos\* ...

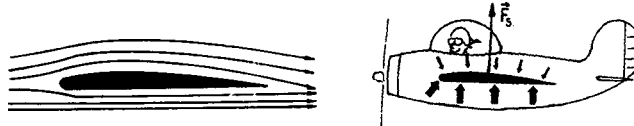
O segredo do voo dos pássaros ou dos aviões é o *movimento*. Quando o objeto é "mais pesado" do que o ar, somente o movimento, do ar ou do objeto, é capaz de provocar o voo.

Por isso os aviões são equipados com jatos ou hélices, que têm a função de produzir o movimento para a frente. Uma vez em movimento, são as asas, com seu formato especial, que ao "cortarem" o ar, provocam uma força para cima que faz o avião voar. Mas o que esse formato especial tem de tão especial?

O formato da asa do avião faz com que o ar que passa em cima dela se movimente mais depressa do que o ar que passa embaixo. Isso ocorre devido às diferentes curvaturas na parte superior e inferior da asa. E daí?

Acontece que quanto maior a velocidade do ar, menor sua pressão. Por isso a asa do avião sofre uma pressão do ar maior na parte inferior das asas e menor na parte superior,

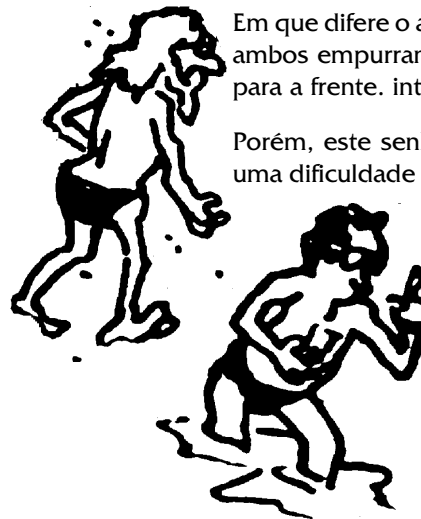
o que resulta em uma força de sustentação. Quanto maior a velocidade da aeronave maior será a força de sustentação obtida. Por isso, o avião precisa adquirir uma grande velocidade antes de conseguir levantar voo.



**Perfil de asa: a pressão sob a asa se torna maior e surge uma força para cima.**

Isso ocorre por que o ar em movimento tem sua pressão reduzida. Quando você sopra, a pressão do ar sobre a folha diminui. Como a pressão do ar embaixo da folha fica maior, temos uma força para cima, semelhante à do empuxo hidrostático. A diferença é que para que ela surja é necessário que o ar se movimente, por isso podemos chamar essa força de *empuxo aerodinâmico* ou de *força de sustentação aerodinâmica*.

## Resistências



Em que difere o andar desses dois cavalheiros? Bem, ambos empurram o chão para trás para poderem ir para a frente. Interagem através da força de atrito.

Porém, este senhor que caminha na água encontra uma dificuldade maior por que a água lhe dificulta o movimento. Esse tipo de interação se representa através do que chamamos de **força de resistência**. Como o atrito, a força de resistência é oposta ao sentido do movimento.

A força de resistência também surge nos movimentos no ar. É isso que permite a existência dos pára-quadras.

\* Isso se chama "propaganda enganosa"



**Para entender isso, vamos fazer uma brincadeira: pegue uma pequena folha de papel e sobre-a na parte superior. Você deve perceber que a folha sobe. Enquanto você estiver soprando ela tenderá a ficar na horizontal.**

# Você já empuxou hoje?

Quem já entrou em uma piscina sabe que a sensação é sempre a mesma: parece que ficamos mais leves. Além disso, quem já se aventurou a mergulhar fundo na água, deve ter sentido o efeito da pressão que ela exerce. Parece que não, mas essas duas coisas estão intimamente ligadas.

Todos os líquidos exercem força nos objetos em contato com ele. Essa força existe devido à pressão e se distribui ao longo de toda a superfície de contato. É isso que faz os objetos flutuarem ou parecerem mais leves dentro da água.

Uma balsa flutua porque, devido à pressão, a água lhe aplica forças para cima, distribuídas ao longo de toda sua superfície inferior. O resultado dessas forças equilibra a força da gravidade e é chamado de **empuxo hidrostático**.

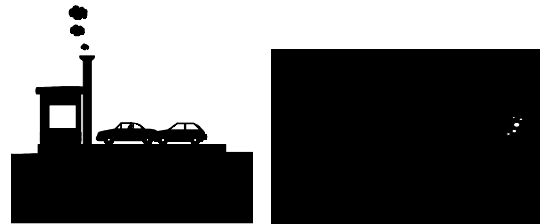
## Mas se todos os objetos na água sofrem empuxo, porque alguns flutuam e outros não?

Se o objeto flutua na água é porque o empuxo consegue vencer seu peso. Se afunda é porque que o peso é maior do que o empuxo.

Mas nem sempre os objetos pesados tendem a afundar mais do que os leves: um navio flutua, enquanto um prego afunda. A flutuação depende do formato do objeto e do material de que ele é feito. Objetos feitos apenas de isopor flutuam na água, enquanto objetos de ferro podem afundar (prego) ou não (navio), dependendo do seu formato.

Mas o que significa ser mais leve ou mais pesado do que a água? Uma grande quantidade de isopor, certamente irá pesar mais do que uma gota d'água. Na comparação devemos usar volumes iguais de água e de isopor. Essa é a idéia de *massa específica ou densidade*: qual é a massa de um certo volume do material. Um litro de água tem 1000 gramas, e um litro de

Quando o objeto está totalmente imerso na água, também sofre um empuxo. A água continua exercendo pressão sobre o corpo, só que agora em todas as direções, pois ele está totalmente imerso. A pressão embaixo do corpo é maior do que a pressão em cima, pois sua parte inferior está num ponto mais profundo. Um submarino, por exemplo, sofre mais pressão na parte de baixo do casco do que na de cima, pois sua parte inferior está mais fundo na água.



isopor, apenas 10 gramas. A densidade é importante para saber se um objeto flutua ou não em determinado líquido.

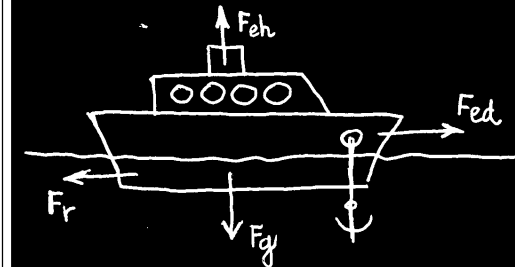
O formato também influi na flutuação de um objeto, por que está ligado à quantidade de água que ele desloca. Um corpo volumoso desloca muito mais água do que um corpo pequeno.

Se você possui uma certa quantidade de massa de vidro, pode moldar um objeto que flutue. Como a massa de vidro tem uma densidade maior que a água, ela pode afundar ou flutuar, dependendo do seu formato. Uma bolinha, será um objeto pouco volumoso, que deslocará pouca água e portanto irá afundar. Mas se você fizer um objeto no formato de uma caixinha oca ele poderá flutuar, pois irá deslocar mais água, e portanto sofrerá um empuxo maior quando colocado na água. Tente!

## No navio

Identifique as forças presentes num navio em movimento no mar, dizendo também qual é o corpo que as aplica sobre a embarcação e represente-as através de vetores.

A Terra atrai o navio através da força gravitacional  $F_g$ . O navio não afunda devido à presença da força de empuxo hidrostático  $F_e$  aplicada pela água. O movimento da embarcação para a frente é garantido por uma força de empuxo dinâmico  $F_{ed}$ .



Essa força é aplicada pela água e não pelo motor ou pela hélice. Na verdade, a hélice "força" a água para trás e a água "empurra" o navio para a frente. Mas a água também dificulta o movimento, através da força de resistência da água  $F_r$ . Essa força é aplicada no sentido oposto ao do movimento.

## Helicóptero "parado"

Que força "segura" um helicóptero no ar?

Desenhe, através de vetores, as forças agindo sobre um helicóptero pairando no ar.

# — 13 —

Peso, massa e  
gravidade

Tudo atrai tudo. Você acredita nessa frase? Não? Então leia as páginas a seguir e tire suas conclusões.

A tirinha e a reportagem foram extraídas da Folha de São Paulo

Robô  
Jim Meddick

## Gravidade menor torna sexo difícil no espaço

Da Reportagem Local

Pelo menos por enquanto, sexo no espaço ainda não é uma experiência tão boa quanto na Terra. E há múltiplas razões para isso.

No caso do casal Mark Lee e Jan Davis, os mais aptos a realizarem a experiência a bordo do "Endeavour", há uma série de constrangimentos.

O interior do ônibus espacial, onde as equipes se revezam em turnos e há sempre alguém trabalhando, não oferece nenhuma privacidade. Além disso, pelo menos oficialmente, a Nasa não quer

saber deste tipo de pesquisa.

Para conhecer os efeitos na reprodução animal em ambiente de ausência de peso a Nasa prefere recorrer a rãs e galinhas.

Mas mesmo na falta de impedimentos a experiência não tende a ser muito gratificante. A ausência de peso em órbita dificulta os movimentos executados numa relação sexual. Mesmo um pequeno choque entre dois corpos, nesta situação, tende a afastá-los.

Uma alternativa para o desconforto seria um cinto elástico, unindo os corpos dos astronautas. Mas isto não está no programa.



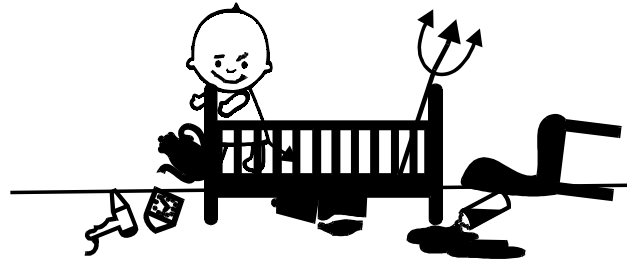
**Isaac Newton, um gênio da Física, com apenas um ano de idade descobriu um importante fenômeno físico: OBJETOS CAEM!**

**Pesquisas recentes chegaram a resultados ainda mais estarrecedores: não são apenas os objetos que caem...**



**PESSOAS TAMBÉM CAEM!**

As crianças, de um modo geral, quando atingem aproximadamente um ano de idade gostam de jogar pequenos objetos no chão. Nessa importante fase do desenvolvimento infantil elas estão vivenciando que os objetos soltos de suas mãos, caem. Infelizmente, existem alguns pais que não compreendem o comportamento dos anjinhos e justamente nessa época resolvem deixar certos objetos fora de seu alcance ....



O que poucos sabem é que a culpa não é dos lindos pimpolhos, mas de algo invisível, inodoro, insípido, incolor e, o que é pior, indestrutível...

Essa “coisa” está presente em todos os quartos de bebê dos mais longínquos cantos deste planeta. Seu nome é ...

# CAMPO GRAVITACIONAL

Qual de nós já não esteve numa situação de precisar se agarrar ao corrimão de uma escada para não cair? Ou mesmo levar um tombo ao tropeçar em alguma saliência no chão? O causador desses terríveis males não é outro senão o implacável campo gravitacional.

Não podemos “brincar” com ele pois um ligeiro cochilo e **PUMBA!** lá vamos nós para o chão.

Esse campo é mesmo danado, só!

**O MINISTÉRIO DA SAÚDE ADVERTE:**  
O USO ERRADO DO CAMPO GRAVITACIONAL FAZ MAL À SAÚDE

## ..... Mas como atua o campo gravitacional ? .....

Quando um objeto qualquer está em uma região onde existe um campo gravitacional, um curioso fenômeno se sucede: o objeto cai. Esse fato, amplamente estudado pelos físicos durante séculos, é interpretado da seguinte forma: a Terra possui em torno de si um campo gravitacional.

Quando um objeto qualquer está “mergulhado” no campo gravitacional, sofre uma força, chamada de força gravitacional ou simplesmente de **PESO**. Se não houver nada para segurar o objeto, ou seja, para equilibrar a força peso o objeto cai...

Tudo isso pode ser representado por uma fórmula, que expressa a medida da força-peso como o produto entre a massa do objeto e o campo gravitacional da Terra, ou seja,  $P = m \cdot g$ .



**CORPO + CAMPO = QUEDA**

$$m \times \vec{g} = \vec{P}$$

Portanto, é o campo gravitacional da Terra que faz os objetos sejam atraídos em direção a ela. Esse campo preenche todo o espaço ao redor do planeta e nos mantém sobre ele. Também é ele que mantém a Lua girando em torno da Terra e “segura” a atmosfera em nosso planeta. Se não houvesse um campo gravitacional suficientemente forte, a atmosfera se dispersaria pelo espaço. O peso de um objeto qualquer, tal como o de um bebê, é devido à ação da Terra sobre esse bebê, intermediada pelo campo gravitacional

Na verdade, **TODOS** os objetos possuem campo gravitacional. Podemos pensar no campo gravitacional como uma “parte invisível” do objeto, que preenche todo espaço que o circunda como sugere a figura.



**O campo gravitacional diminui de intensidade conforme a distância.**

No entanto, o campo gravitacional só é suficientemente forte para percebermos seus efeitos se o objeto possuir uma **massa imensa** igual à da Terra:

**600000000000000000000000000000 kg**

Assim como a Terra ou qualquer outro objeto, a Lua também tem seu campo gravitacional. Só que lá, como vemos nos filmes, um astronauta parece ser mais leve do que na Terra. Nesses filmes percebemos que, com um simples impulso, o astronauta caminha na superfície lunar como um canguru aqui na Terra. A verdade é que na Lua o peso do astronauta é menor.



Isto acontece porque o campo gravitacional da Lua é menor do que o campo gravitacional da Terra. A massa do astronauta, entretanto, não muda quando ele se quando ele vai da Terra para a Lua, o que se modifica é o seu peso.

O peso do astronauta ou de qualquer outro objeto é tanto maior quanto maior for o campo gravitacional no local onde ele se encontra. A fórmula  $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$  é uma forma matemática de expressar essa idéia. O  $\vec{g}$  simboliza o campo gravitacional, que na superfície da Terra tem a intensidade média de 9,8 N/kg\* (newtons por quilograma). Isso significa que um objeto de 1 kg sofre uma força de atração igual a 9,8 N por parte do planeta. Se estivesse em outro planeta, onde a intensidade do campo gravitacional tem um outro valor, o corpo sofreria uma força diferente. Na Lua, onde o campo gravitacional é de apenas 1,6 N/kg, a força é bem menor. Um saco de arroz de 5 kg, que na Terra sofre uma força de 49 *newton*, enquanto na Lua seu peso será igual a 8 *newton*. Embora o saco continue tendo 5 kg de arroz, carregá-lo na Lua causaria a mesma sensação de carregar apenas 816 gramas na Terra. Se fosse possível carregá-lo na superfície do Sol, a sensação seria equivalente a 140 kg!

Na próxima página você encontra uma tabela onde estão especificados os campos gravitacionais dos principais astros do nosso Sistema Solar.

## Garfield



Folha de São Paulo, 1994

- a) A resposta que o Garfield deu ao Jon nesta tirinha está fisicamente correta? Por quê?
- b) Quais planetas dos Sistema Solar poderiam ser escolhidos pelo Garfield para “perder” peso?

## Jim Davis

### Campo gravitacional dos principais astros do Sistema Solar



Astro do Sistema Solar	Massa (em relação à da Terra)	Campo gravitacional (N/kg)
Sol	329930	274
Lua	0.0012	1.7
Mercúrio	0.04	2.8
Vênus	0.83	8.9
<b>Terra</b>	<b>1</b>	<b>9,8</b>
Marte	0.11	3,9
Júpiter	318	25
Saturno	95	10.9
Urano	15	11
Netuno	17	10.6
Plutão	0.06	2.8

# 14

Medindo

Forças

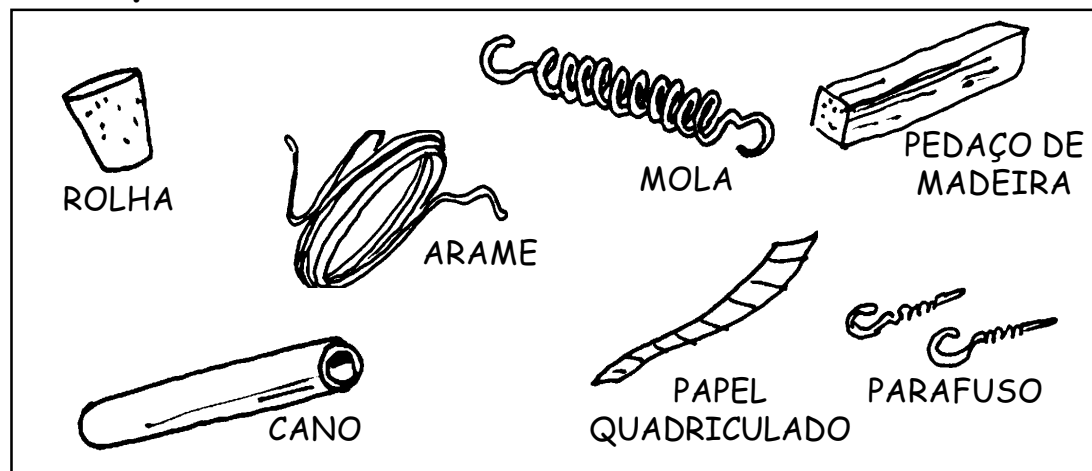
Para quem pensava que as únicas formas de medir forças eram o cabo de guerra e o braço de ferro, aqui vai uma surpresa.

## Monte um dinamômetro

Nesta atividade vamos investigar o **dinamômetro**, que é um instrumento capaz de medir forças. Apesar do nome estranho, o dinamômetro é um instrumento muito comum, conhecido popularmente como “balança de peixeiro”.

O seu princípio de funcionamento é simples: em uma mola presa na vertical, pendura-se o objeto cuja massa se quer determinar. De acordo com a deformação produzida na mola pode se determinar a força que o objeto lhe aplica, que é proporcional à sua massa.

### Eis o que você vai usar



### Eis como ficará seu dinamômetro



## O dinamômetro e as unidades de força

Quando é usado como balança, o dinamômetro possui uma escala graduada que fornece os valores em gramas, quilogramas ou outra unidade de massa.

Se for usado para medir forças essa escala será em unidades de força. Quando trabalhamos com *metros, quilogramas e segundos* (unidades do Sistema Internacional) a unidade usada é o **newton (N)**, que é a mais usada na Física. Outras unidades de força podem ser empregadas, como as listadas na tabela ao lado.

O dinamômetro pode ser usado como balança somente porque o campo gravitacional da Terra tem um valor mais ou menos igual em todos os lugares. Porém, não serve como uma balança precisa, por causa das pequenas variações do campo de um lugar para outro.

unidade	símbolo	valor em newtons	força necessária para carregar:
<b>quilograma força</b>	kgf	9,8 N	um saquinho de leite cheio
<b>libras</b>	lb	4,448 N	uma garrafinha de refrigerante
<b>newton</b>	N	1 N	uma laranja
<b>grama força</b>	gf	0,098 N	um canudo de refrigerante
<b>dina</b>	dyn	0,00001 N	força imperceptível

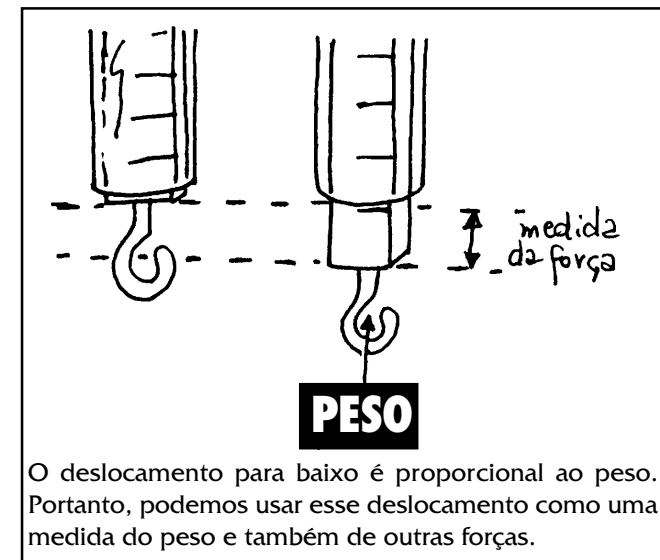
## Usando o dinamômetro

Seu dinamômetro já está pronto? Muito bem. Segure-o na vertical e pendure um objeto em seu ganchinho. Você verá que a mola estica e a madeirinha desce.

O deslocamento da madeirinha abaixo do nível do cano dá uma indicação da força com a qual a mola está sendo esticada. que neste caso será igual ao peso do objeto que está pendurado.

- Pendure diferentes objetos em seu dinamômetro e perceba os diferentes deslocamentos da mola.
- Tente usar o dinamômetro para medir outras forças, como a força dos seus próprios dedos ao puxar o gancho. Compare-as com os pesos que você mediu.

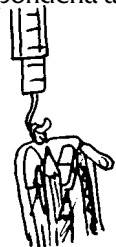
Procure anotar suas observações.





## Calibrando o dinamômetro

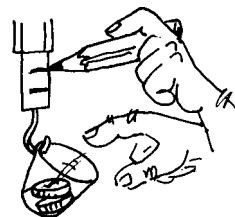
Um instrumento de medida não serve para nada se não tiver uma escala para que possamos determinar o valor da medida. Uma maneira de você fazer uma escala é simplesmente pegar um papel, dividi-lo em partes iguais e colar na medirinha do dinamômetro. Cada “risquinho” corresponderia a uma unidade.



**Tente fazer isso e use o dinamômetro para medir o peso de algumas coisas, como por exemplo, um estojo com lápis e canetas.**

Porém, aqui há um probleminha. Quem garante que o dinamômetro de um colega seu irá dar o mesmo valor para o peso? Tente e veja! Não seria mais conveniente garantir que vários dinamômetros registrem o mesmo valor para o peso de um mesmo objeto?

Para conseguir isso é preciso definir uma unidade-padrão, que pode o peso de alguma coisa bem conhecida cujo peso seja sempre o mesmo. Moedas de 1 real ou pilhas pequenas servem. Ponha uma fita de papel em branco na madeira. Pendure um copinho no gancho com barbante e vá colocando moedas.



**Faça marcas no papel, indicando o deslocamento para cada número de moedas. Você criou uma nova unidade de força. Dê-lhe um nome.**

Se outros colegas usarem o mesmo procedimento terão dinamômetros calibrados na mesma unidade, e os valores medidos com um deles devem ser iguais aos medidos pelos outros. Faça e confira!

## Criando uma escala em newtons

Você pode querer que o seu dinamômetro indique a força em newtons, ou em alguma outra unidade já conhecida. Para isso, você precisaria ter objetos como a moeda e a pilha que tivessem valores de peso conhecidos.

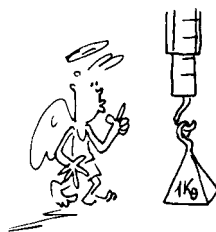
Se você souber sua massa poderá achar o peso pela fórmula  $P=m.g$ . Porém há um probleminha: uma pilha tem uma massa de 18,3 gramas, que corresponde a um peso de 0,18 newton. Mas esse é um valor quebrado!!! Fica ruim fazer uma escala com ele.

Mas há um jeito: você pode usar água para calibrar o dinamômetro. Basta saber que:

$$1 \text{ newton} = 102 \text{ ml de água}$$

Você pode fazer uma escala de décimos de newton (0,1 em 0,1), como se fosse uma régua, usando uma seringa e considerando 0,1 newton como 10 ml de água.

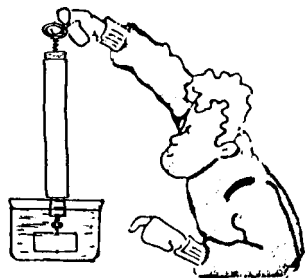
Se a sua mola for muito forte, você terá que fazer uma escala de 1 em 1 newton. Nesse caso, use uma garrafa plástica para por a água e procure um recipiente de 100 ml. E não esqueça de descontar o peso da garrafa depois!!!



**Use o dinamômetro para determinar o peso de alguns objetos. A partir dessa medida, encontre a massa desses objetos em gramas.**



## Usando seu dinamômetro para afogar coisas



Tente o seguinte: pendure um **OBJETO QUALQUER** em seu dinamômetro, para determinar o seu peso.

Depois pegue o **OBJETO QUALQUER** e coloque dentro de uma vasilha de água, pendurado pelo dinamômetro, como o figura da figura.

O que você percebe? Será que o objeto ficou mais leve? Ou não? Que coisa maravilhosa, extraordinária e diferente ocorre quando o objeto é mergulhado?

Se for possível, tente fazer um teste enchendo a vasilha com outro líquido, como álcool por exemplo. **MAS TOME CUIDADO, CRIATURA!** Não vá atear fogo na casa! Você observa algo diferente?

E agora, mais uma novidade para você: duas tabelas para você descobrir que coisas flutuam ou não nos vários líquidos. Descubra como a coisa funciona!

A partir da tabela, você é capaz de dizer que materiais sempre flutuam no álcool?  
E que materiais flutuam na água mas não flutuam no álcool?

Isto flutua ...

material	densidade (kg/m <sup>3</sup> )
isopor	10
madeira balsa	110-140
madeira cerejeira	700-900
papel	700-1.115
parafina (vela)	870-910
gelo (a 0°C)	917
borracha comum	1.100
madeira ébano	1.110-1.330
açúcar	1.590
vidro comum	2.400-2800
alumínio	2.700
chumbo	11.400

... nisto?

material	densidade (kg/m <sup>3</sup> )
gás hélio	0,18
ar quente (75°C)	1,01
ar (25°C)	1,18
gás de cozinha	2,59
gasolina	660-690
álcool	791
óleo de oliva	918
água	1.000
leite	1.028-1.035
água com sal (10%)	1.071
água com sal (25%)	1.190
mercúrio	13.600

## Estica e Puxa ...

Em situações nas quais os objetos podem ser considerados elásticos, como é o caso da mola ou do elástico do seu dinamômetro, é possível determinar o *valor* da força de uma forma bastante simples. Imagine por exemplo, um menino puxando o elástico de um estilingue.

Quanto mais o garoto puxa a borracha, maior é a força que ele tem que fazer para mantê-la esticada. Esse fato revela uma importante relação entre a força aplicada e a deformação do elástico. Na medida em que este é puxado, seu comprimento aumenta e a força por ele aplicada também aumenta.

Podemos estabelecer a seguinte relação...

QUANTO MAIOR A **DEFORMAÇÃO** MAIOR A **FORÇA**

que pode ser traduzida pela fórmula:

$$F_{\text{elastica}} = k \cdot x$$

Nessa fórmula, a letra **k** representa as propriedades elásticas do objeto, ou seja, se ele se deforma facilmente ou não. Esse valor é chamado de *constante elástica*. Quanto maior for o valor de **k**, mais rígido será o objeto. Por exemplo, um colchão de espuma mole possui um valor de constante elástica pequeno, ao passo que um colchão ortopédico tem um grande valor de **k**.

O valor **x** representa a deformação sofrida pelo objeto. É preciso lembrar que a força será sempre no sentido oposto ao da deformação: se você forçar um colchão com as mãos para baixo ele irá forçar suas mãos para cima.

# 15

Quando é difícil  
parar

Se você está no comando  
de uma espaçonave e  
passa um cachorro  
espacial na sua frente, o  
que você faz?

Quadrinhos de Jim Davis,  
extraídos da Folha de São  
Paulo e da revista "Garfield na  
Maior"

## A lei da inércia segundo Garfield

**Newton disse que um corpo permanece em repouso ...**



se não houver nada que possa tirá-lo deste estado, ou seja, alguma interação com qualquer outro corpo.

**Mas também permanece em movimento ...**



constante, sem alteração de sua quantidade de movimento até que encontre algo com que interagir.

**Às vezes não percebemos que estamos em movimento ...**



porque quando o movimento é uniforme, não podemos senti-lo ou distingui-lo do estado de repouso.

**Mas uma mudança brusca pode nos lembrar disso!**



Somente quando estamos acelerados realmente sentimos algo que nos permite dizer que estamos em movimento.

## Barcos e espaçonaves .....

O que existe de semelhante entre o movimento de um barco a remo e o de uma espaçonave? Tanto em um como no outro, algo tem que ser lançado para trás para que o veículo avance. A pessoa exerce força no remo jogando água para trás, provocando com isso, um impulso no barco. Na espaçonave é a força de ejeção dos gases combustíveis para trás que produz um impulso no veículo para frente.

Porém, no momento de parar, existe uma diferença fundamental entre estas duas situações: É muito fácil parar um barco (se não houver correnteza, é claro!) Basta a pessoa parar de remar. Se ela quiser parar mais rápido, pode simplesmente mergulhar a pá do remo na água.

Parar uma espaçonave já é mais difícil. Quando, em pleno espaço, seus “motores” são desligados, ela continua seu movimento sem diminuir sua velocidade, a menos que encontre algo em seu caminho. Por que existe essa diferença?

Quando paramos de remar um barco, deixamos de exercer a força que o impulsiona. Assim, no atrito com a água o barco transfere aos poucos toda sua quantidade de movimento para ela. Já uma espaçonave, mesmo sem a força para impulsioná-la, permanece em movimento por centenas de milhares ou até por milhões de quilômetros praticamente sem modificar sua velocidade, até se aproximar de outro planeta ou de um satélite. Isso acontece porque no espaço não há nada para a nave transferir o seu

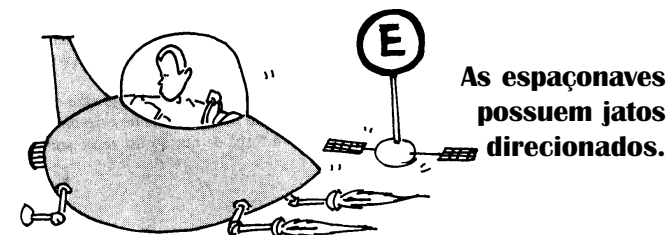
movimento. Não existe ar ou qualquer outra coisa para interagir com ela. Dessa forma, ela mantém constante a sua quantidade de movimento.

Isso mostra que se um objeto em movimento não contar com algo que possa “segurá-lo”, ou seja, aplicar um impulso contrário ao movimento, sua tendência será permanecer em movimento para sempre. Essa tendência em continuar o movimento mantendo constante sua velocidade é chamada na Física de **inércia**.

### Se no espaço uma nave se desloca por inércia, como é possível pará-la?

Para conseguir parar ou manobrar, os módulos espaciais possuem jatos direcionados para a frente e para os lados. Uma nave se aproximando de uma estação espacial por exemplo, pode lançar jatos para a frente, impulsionando o veículo para trás até que ele pare. Através de cálculos feitos por computador, os operadores podem realizar manobras com bastante precisão, sem risco para os tripulantes.

Mesmo o barco precisa de uma força contrária ao seu



movimento para conseguir parar. Embora aparentemente isso não seja necessário, mesmo quando paramos de remar um barco, ele não pára sozinho: é a água que o “segura”: é o que chamamos de força de resistência da água.



## Por que não percebemos a Terra se mover? .....

Galileu Galilei quase foi para a fogueira porque dizia que a Terra estava em movimento. E, realmente, este fato não parece algo razoável, porque não sentimos o movimento da Terra.

Se você estiver em um trem, em um barco ou no metrô, de olhos fechados, às vezes terá dificuldade de dizer se está ou não em movimento, mas quando olha para fora e vê a paisagem em movimento logo se dá conta de que está se deslocando.

Na verdade, se o movimento do trem, barco ou metrô for uniforme, ou seja, sua velocidade se mantiver sempre a mesma, em linha reta e se não houver trepidações e vibrações, tudo se passa como se estivéssemos parados. Se não olharmos para fora e não ouvirmos o som dos motores é impossível saber se estamos em movimento ou não.

Galileu percebeu que esta era a explicação para o fato de não sentirmos o movimento da Terra. Mas isso tem conseqüências ainda mais fortes: significa que os movimentos são relativos.

O que quer dizer isso? Uma pessoa sentada no outro banco do trem está parada em relação a você que está lá dentro, mas está em movimento do ponto de vista de quem está fora do trem. Qual é ponto de vista mais correto? O seu, ou o da pessoa que vê tudo de fora? A resposta é: nenhum! Afinal, quem estivesse "de fora" da Terra também veria a pessoa "parada" fora do trem em movimento.

Todos que estejam em movimento uniforme em relação aos outros podem dizer que seu ponto de vista é o correto. A isso chamamos de referencial.

Tudo isso está intimamente ligado à Primeira Lei de Newton, também conhecida como Lei da Inércia. Dê mais uma olhada nela. O estado de repouso de uma bola no chão do trem em movimento uniforme equivale ao estado de movimento de quem vê esta mesma bola de fora do trem.

Para tirá-la do repouso alguém dentro do trem pode dar um cutucão na bola. Quem está de fora verá que a bola, que estava em movimento constante junto com o trem, *mudar* seu movimento, ou seja alterar o seu estado de movimento.

E o que acontece se o trem breca de repente? Bem neste caso sim podemos sentir o efeito. Parece que estamos sendo jogados para a frente. Agora o trem deixa de ser um referencial equivalente aos outros, porque ele mesmo está variando seu movimento.

Nestas condições, uma bola no piso do trem pareceria iniciar um movimento para a frente. Na verdade, que está de fora terá condições de dizer que o trem está parando e a bola simplesmente tendeu a continuar o movimento que possuía antes. O mesmo aconteceria a todos nós se a Terra freasse de repente o seu movimento: nos sentiríamos sendo "jogados", e isso certamente causaria grandes catástrofes, dependendo da intensidade desta "freada".

Se a Terra se move, e também os outros planetas, há algo que pode ser considerado realmente "em repouso"? A resposta é não! Mesmos as estrelas, como o Sol, estão em movimento quase uniforme uma em relação a todas as outras. Portanto, a velocidade de algo no espaço sempre tem que ser indicada em relação a alguma outra coisa, porque não há nada que possa ser considerado realmente "parado".

### 1ª lei de Newton

"*Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas a ele*".

# A Teoria da Relatividade

A leitura das páginas anteriores estão bastante ligada à chamada Teoria da Relatividade de Einstein, que possivelmente você já ouviu falar.

Na verdade, foi Galileu que começou esta história quando percebeu que as leis da Física não dependem do referencial. Nunca poderemos saber se estamos em repouso ou se nos movemos em velocidade uniforme. Tudo o que acontece é exatamente idêntico.

Albert Einstein, ainda muito jovem, pensou muito sobre isso quando ouviu dizer que a velocidade da luz era de 300.000 km/s. Ora, pensou ele, quer dizer que seu eu corresse a essa mesma velocidade poderia ver a luz parada? Mas a velocidade da luz é medida em relação a quê?

Acreditando que seria absurdo a luz "parada", procurou uma solução para o problema, e chegou à conclusão que a velocidade da luz era sempre a mesma independente do referencial. Quer dizer, se fosse possível, ao ligar uma lanterna, correremos muito, mas muito mesmo, sempre veríamos a luz se afastar de nós a 300.000 km/s. Mesmo que conseguíssemos atingir 299.990 km/s!

Como isso é possível? Para Einstein, conforme nossa velocidade fosse aumentando, o nosso tempo passaria mais devagar e o nosso espaço encolheria, para quem nos visse de fora de nosso veículo.

Assim, a luz, para quem visse de fora, a luz poderia ter percorrido 600.000 km/s em 2 segundos. Mas o mesmo espaço para nós teria 300.000 km e teria se passado apenas 1 segundo. De qualquer forma, a velocidade da luz seria a mesma: 300.000 km/s.

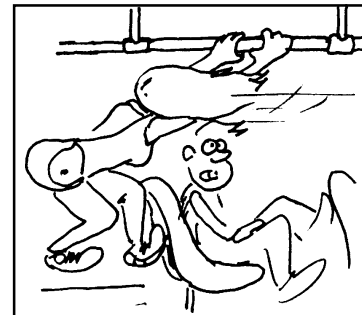
Porém isso também quer dizer que para quem se desloca a velocidades altas em relação a nós, o tempo passa mais devagar. A pessoa não percebe, mas quando ela volta, passou menos tempo para ela!

Como assim? Imagine que fosse possível fazer uma espaçonave que se movesse com velocidade próxima à velocidade da luz. Os tripulantes poderiam ir até um sistema solar a alguns trilhões de quilômetros e voltar. Aqui na Terra poderiam se passar, por exemplo 20 anos para eles irem e voltarem. Mas, dentro de sua nave poderiam se passar apenas 5 anos, dependendo da velocidade!

Isso quer dizer que eles envelheceriam apenas 5 anos, e que todo o tempo para eles seria absolutamente normal, como sendo de cinco anos. Mas para quem ficou na Terra, se passaram 20 anos. Todos envelheceram 20 anos, tudo se passou normalmente no tempo de 20 anos. Para os astronautas, é como se fosse uma viagem para o futuro!

Vejamos porque. Imagine que em 1998 você tenha 18 anos e possua uma irmã de 6 anos de idade. Se fizesse esta viagem, para você se passariam 5 anos, e todos os relógios da nave indicariam isto perfeitamente. Você voltaria à Terra com 23 anos, com aparência e físico de 23 anos. Mas na Terra seria o ano 2018 e sua irmã já teria 26 anos, com tudo o que tem direito.

Como você vê, isto é algo impressionante e parece mentira! Mas, se até hoje não experimentamos estes fatos é porque nossos veículos ainda são muito lentos. Se um dia formos capazes de viajar a essas velocidades incríveis, estes problemas certamente surgirão e alguns pais poderão vir a ter filhos que sejam mais velhos do que eles. Quem viver, verá!

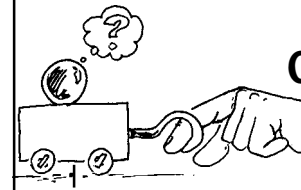


## Para fazer no ônibus!

O que ocorre aos passageiros quando um ônibus dá uma freada brusca? Como você explica este fato?

Quando o ônibus dá uma arrancada repentina, o que ocorre? Explique baseado nas discussões da página anterior.

Por que é tão perigoso saltar de um ônibus em movimento?



## O que acontece à bolinha?

**A**  
Uma bolinha de aço está apoiada sobre um carrinho que possui uma superfície muito lisa. Quando uma pessoa puxar o carrinho para a direita, a bolinha irá:

- ( ) cair à direita do ponto A.
- ( ) cair sobre o ponto A.
- ( ) cair à esquerda do ponto A.
- ( ) cair em local imprevisível.

Justifique a sua resposta.

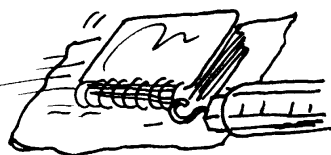
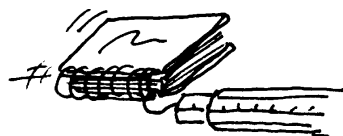
# — 16 —

Batendo, ralando e  
esfregando ...

Você viu que é o atrito  
que faz tudo parar.  
Agora vamos parar para  
ver o que mais o atrito  
faz.

## Medindo o atrito

### experimente:



Procure aquele dinamômetro que você fez outro dia: você vai usá-lo agora (não era para jogar fora ...) Usando um caderno você irá investigar a força de atrito entre a capa do caderno e a mesa:

### Primeiro:

Enganche um dinamômetro no arame de um caderno e arraste-o sobre a mesa por uma certa distância, com velocidade mais ou menos constante. Anote a medida.

### Segundo:

Repita a experiência, colocando outros objetos sobre o caderno antes de arrastá-lo. Anote novamente a medida.

### Terceiro:

Observe o efeito que ocorre quando colocamos objetos embaixo do caderno para arrastá-lo. Tente com lápis, borracha ou um pano, por exemplo. Já anotou a medida?

Essa experiência mostra fatos que observamos na prática. A força de atrito depende das superfícies que estão em contato. Em geral, o papel em contato com a madeira da mesa provoca mais atrito do que um pano, mas por outro lado resulta em menos atrito do que a borracha. Para expressar esse fato inventou-se um valor chamado coeficiente de atrito, indicado geralmente pela letra grega  $\mu$  (mi) . E quanto maior o peso sobre o objeto, maior a força necessária para arrastá-lo. Isso ocorre porque quanto mais forte o contato (força normal) entre as duas superfícies, também maior o atrito.

Materiais		$\mu$
gelo	gelo	0,05 a 0,15
roupa de nylon	roupa de nylon	0,15 a 0,25
madeira	madeira molhada	0,2
madeira	couro	0,3 a 0,4
roupa de algodão	roupa de algodão	0,6
madeira	tijolo	0,6
borracha	sólidos limpos e secos	1,4

Os valores dessa tabela representam quanto um material tem de atrito no contato com outros.

É importante saber que esses valores variam muito com as condições dos materiais.

## Entre tapas e beijos .....

Na Física, a idéia de contato está relacionada à interação que surge quando objetos se tocam. Podemos entender essa idéia se pensarmos em nosso próprio corpo. Ele está equipado para sentir estas interações, que podem se manifestar sob as mais diferentes formas, produzindo uma grande variedade de sensações em nossa pele.

Uma boa bofetada, por exemplo, corresponde a uma interação entre a mão de quem bate e a face de quem recebe, assim como um carinho. Do ponto de vista da Física essas duas interações são de mesma natureza. Uma diferença básica entre elas é a *intensidade da força* aplicada: um tapa, em geral, significa uma força muito mais intensa do que um carinho.

Porém há outra diferença importante entre o tapa e o carinho: a direção da força aplicada. Em um tapa, a força é na direção perpendicular à face da vítima e no carinho, em geral, essa força ocorre numa direção paralela à pele.

## Uma força muito normal .....

Como vimos, as forças normais de contato aparecem quando um corpo toca outro. Um chute em uma bola, um cutucão, uma pedra atingindo uma vidraça são exemplos de interações nas quais ocorre esse tipo de força. Em todos esses exemplos é fácil perceber a presença da força, pelos efeitos evidentes que ela produz.

Mas as forças normais de contato também aparecem em situações onde sua presença não é tão visível. Quando algum objeto ou pessoa, se apóia sobre uma superfície, ela força esta superfície para baixo. Por outro lado, a superfície sustenta a pessoa aplicando em seus pés uma força para cima: essa é a força normal.

As forças sempre causam alguma deformação nos objetos, que dependendo de suas características podem ser temporárias ou permanentes.

Essa distinção também ocorre em outras situações em que existe o contato entre os objetos. Em batidas, chutes, pancadas, beijos, espetadas, ou mesmo simplesmente quando um objeto se apóia sobre outro, temos forças que agem na direção *perpendicular ou normal* à superfície dos objetos por isso são denominadas *forças normais*.

Em outros casos, a força aparece na direção paralela à superfície. É o que ocorre em situações como arranhões, raspadas, esfregadas, deslizamentos, etc. Em geral, essas forças recebem o nome de *forças de atrito*.

Portanto, os efeitos das forças de contato entre objetos dependem da maneira como são aplicadas, paralela ou perpendicular à superfície. Mas não é só isso que influi. Também são importantes: a intensidade da força, as características dos objetos e de suas superfícies, e o tempo em que eles permanecem em contato.

Vamos discutir essas características a partir de dois fenômenos físicos bastante conhecidos, mas que em geral são confundidos: **a pisada na bola e a pisada no tomate**.

As diferenças observadas entre as duas pisadas revelam as diferentes características de cada material. As forças aplicadas provocam deformações na bola e no tomate. A bola volta ao normal após a pisada, e o tomate não.

O material da bola é relativamente elástico, ou seja, as deformações sofridas por ela no momento da pisada são temporárias.

Quando as forças cessam, sua tendência é retornar à forma original. Quanto ao tomate, podemos dizer que é quase completamente inelástico, uma vez que a deformação por ele sofrida é permanente. Pense em outros exemplos de materiais elásticos e inelásticos.

SEER ELÁSTICO  
significa  
voltar à forma original

Nem sempre é fácil dizer o que é ou não é elástico. Na realidade, não há um objeto que seja totalmente elástico ou inelástico. Algumas bolas sofrem deformações permanentes depois de muitas pisadas, perdendo sua forma.

Por outro lado, mesmo um tomate tem sua elasticidade: uma "apertadinha" bem leve lhe provoca uma pequena deformação, que desaparece assim que o soltamos.



O atrito está presente em diversas situações do nosso dia-a-dia. Ele surge sempre que tentamos deslizar uma superfície sobre outra. Ao passar a mão na cabeça de um cachorro, ao apagar uma bobagem escrita na prova ou ao lixar uma parede, a força de atrito é a personagem principal. Quanto mais ásperas as superfícies, maior o atrito entre elas: arrastar um móvel sobre um carpete é bem diferente do que sobre um piso de cerâmica.

Em determinadas situações é fundamental que o atrito seja o menor possível, como no caso da patinação no gelo, onde os movimentos ocorrem graças ao reduzido atrito entre as lâminas dos patins e a superfície do gelo. O peso do patinador, concentrado todo nas lâminas, exerce uma pressão sobre o gelo derretendo-o e formando uma pequena camada de água entre as lâminas e a superfície do gelo. Dessa forma o atrito torna-se muito pequeno, facilitando o movimento do patinador.

## O atrito ao microscópio .....

Mesmo objetos aparentemente lisos, como um vidro, uma mesa envernizada ou a superfície de um automóvel, possuem muitas saliências e "buracos" no nível microscópico.

Quando um objeto é colocado sobre uma superfície (um tijolo sobre a mesa, por exemplo), ele tem na verdade, somente alguns pontos de contato com ela, devido a essas saliências. A figura ao lado ilustra numa escala muito ampliada a existência de tais saliências e o que acontece quando as superfícies de dois objetos entram em contato.

Uma teoria que explica a existência do atrito afirma que nos pontos onde as saliências se justapõem, ocorrem fortes adesões superficiais, semelhante a uma espécie de "solda" entre os dois materiais. Desse modo a força de atrito está associada à dificuldade em romper essas soldas quando um corpo é arrastado sobre o outro. Durante o movimento, as soldas se refazem continuamente, em novos pontos de contato, de forma

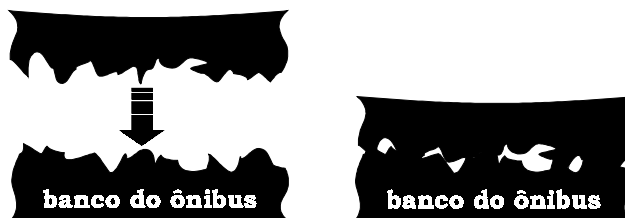
Mas se em muitos casos o atrito atrapalha, em outras situações pode ser totalmente indispensável. É ele que garante que ao empurrarmos o chão para trás seremos impulsionados para frente. Sem atrito, ficaríamos deslizando sobre o mesmo lugar. A tirinha abaixo ilustra bem uma situação onde o atrito faz falta.

**Fernando Gonsales**  
**Folha de S. Paulo**

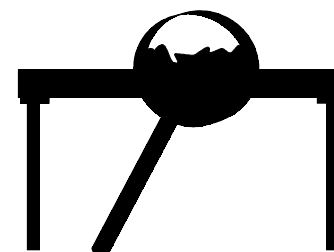


que durante o arrastamento existe sempre uma força de resistência ao movimento: é a força de atrito.

Para ter uma idéia de como essas soldas ocorrem imagine o que acontece quando você senta no banco de um ônibus. O atrito entre sua calça e o banco, poderia ser representado, a nível microscópico, da seguinte forma:



Essa teoria das soldas nos permite entender o efeito dos lubrificantes que têm a função de diminuir o atrito, ao preencher as reentrâncias existentes entre as superfícies e dificultar a formação das soldas.



**Vistas de perto, as superfícies mais lisas são cheias de imperfeições**

## Uma fórmula para a força de atrito

Na última festa junina ocorrida na sua escola, o professor de Física, meio alterado após o árduo trabalho na barraquinha do quentão, decide comprovar algumas teorias físicas para uma platéia estarecida. Sua façanha: subir no pau-de-sebo. Para diminuir o vexame, que sugestões você daria para aumentar a força de atrito e facilitar a escalada do mestre?



Em primeiro lugar, provavelmente você irá sugerir ao professor que agarre bem forte no pau de sebo. Com isso você estará garantindo que a força normal seja grande, o que irá causar maior atrito.

Mas também é possível tentar alterar um pouco os materiais em interação, talvez passando areia na roupa e na mão. Ou seja, estamos sugerindo um coeficiente de atrito maior.

Uma maneira matemática de expressar essas possibilidades é através da seguinte fórmula:

$$F_{\text{atrito}} = \mu \cdot F_{\text{normal}}$$

A letra grega  $\mu$  (mi) indica o coeficiente de atrito entre as superfícies (aquela história da areia) e  $F_{\text{normal}}$  indica o valor da força normal entre as duas superfícies, quer dizer, a agarrada forte que o professor deve dar. Pela fórmula, você pode ver que quanto maior forem esses valores, maior será o atrito.

## Atrito de rolamento



Jim Davis, Folha de São Paulo.

Nem todos os atritos são iguais! Como o atrito é uma força de contato, ele depende essencialmente de como é este contato entre os objetos. No quadrinho acima, temos um exemplo de rolamento: as bolinhas rolam sob o sapato de Jon e sobre o assoalho. Quando os objetos rolam uns sobre os outros a força de atrito é bem menor, porque não há o arrastamento. Quanto maior for a roda ou da bola que estiver rolando, menor será o atrito de rolamento. Por isso é mais fácil empurrar carrinhos que possuem rodas maiores.



### No boliche

No jogo de boliche, a pista por onde as bolas correm deve ser bem plana e lisa.

- Depois de lançada, a bola mantém a mesma velocidade até atingir o fim da pista? Por quê?
- Enquanto rola na pista em direção aos pinos, a bola sofre alguma força? Qual? Explique.
- Quando atinge os pinos, a bola sofre alguma força? Explique.
- Explique de que forma o tipo de piso influencia no desempenho da bola ao longo do trajeto.
- Se fosse possível construir uma pista absolutamente lisa, sem qualquer atrito, como ficariam as respostas dos itens a e b?

### Atrito nos esportes!

Cada esporte possui suas peculiaridades e, dependendo delas, as forças de atrito desempenham papéis diferentes.






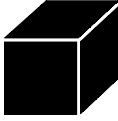








- Em quais deles o atrito atrapalha o desempenho dos atletas?
- Em quais deles depende-se do atrito para a prática dos esportes?
- Aponte e discuta as características especiais dos calçados de alguns esportes, destacando sua relação com o atrito.
- Que outros tipos de interações, além do atrito, aparecem nos esportes que você mencionou?

# — 17 —

O ar que te  
segura

Você já reparou nos diferentes formatos dos carros existentes no mercado? Será que isso faz alguma diferença?

Na tabela ao lado você pode ter uma idéia da resistência provocada pelo ar a que cada formato está sujeito em seu movimento.

forma	descrição	C	forma	descrição	C
	Formato mais aerodinâmico	$< 0,1$		Caminhão	0,8-1,0
	Carro esporte	0,2-0,3		Bicicleta de corrida com ciclista	0,9
	Semi-esfera (abertura para trás)	0,38		Cubo	1,05
	Carros de passeio	0,4-0,5		Placa quadrada	1,2
	Esfera	0,47		Motociclista	1,8
	Ônibus	0,6-0,8		Semi esfera (abertura para frente)	1,42
	Cilindro	0,7-1,3		Seção em C (abertura para frente)	2,30

Líquido	Viscosidade*
Acetona	0,00032
Água	0,0010
Álcool	0,0012
Ketchup	0,083
Creme de barba	0,26
Mostarda	0,29
Margarina	0,78
Óleo de rícino	0,99
Mel	12

\* em N.s/m<sup>2</sup>, a 20 graus Celsius

**A viscosidade pode ser quantificada através de uma grandeza denominada coeficiente de viscosidade. A tabela acima mostra alguns valores desse coeficiente. Através dela, você poderá ver que, com algumas exceções, quanto mais “espesso” o fluido, maior sua viscosidade.**

## Movimentos dentro d'água.....

### e outros líquidos

Quem já andou dentro da água sabe que é necessário um esforço maior do que para andar fora dela, porque a água resiste ao movimento. Fisicamente, interpretamos tal resistência como uma força que a água aplica nos objetos, opondo-se aos movimentos dentro dela

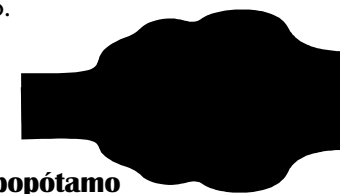
Essa força depende do formato do objeto que nela se move. De um modo geral os peixes e outros animais aquáticos são estreitos e alongados. Trata-se de uma adaptação necessária para se mover mais facilmente dentro da água, através da diminuição da força de resistência.

Animais como um hipopótamo não têm muita mobilidade dentro da água pois seu corpo bojudado faz com que sofra grande resistência. Os peixes possuem o formato ideal para se mover dentro da água sofrendo um mínimo de resistência. O formato do casco das embarcações em geral

levam em conta essa dificuldade de movimento dentro da água, sendo em geral projetados para “cortar” a água de modo a minimizar o atrito.



peixe



hipopótamo

Uma das causas da força de resistência da água é uma coisa chamada viscosidade. Cada líquido tem uma viscosidade diferente, que indica o quanto o líquido é espesso. Você acha que é mais fácil se mover dentro do mel ou dentro da água? Certamente o mel dificulta muito mais o movimento do que a água, pois é mais “grosso” e “grudento” do que ela: dizemos que ele tem maior viscosidade.

## A resistência no ar .....

O ar e outros gases também resistem a movimentos realizados “dentro” deles. É graças a isso que o pára-quedas funciona. Quando o paraquedista salta, ele é submetido a uma força de resistência exercida pelo ar. Ela se manifesta como um vento forte para cima que vai aumentando a medida que ele cai. A velocidade de queda também aumenta até atingir um valor limite. Sabe-se que um paraquedista em queda livre atinge uma velocidade de no máximo 200 km/h. Porém, sem a força de resistência do ar eles atingiriam velocidades muito maiores: saltando de uma altura de 1000 metros ele chegaria ao chão com uma velocidade de 508 km/h.

Quando ele abre o pára-quedas, a força de resistência se torna muito maior devido ao formato e ao tamanho do pára-quedas. Com isso sua velocidade cai rapidamente atingindo valores menores que 10 km/h, seguros o suficientes para uma aterrissagem tranqüila.

Se neste caso a força de resistência é útil, há outras situações em que procuramos evitá-la. É o caso do projeto de carrocerias de automóveis. Talvez você já tenha ouvido frases do tipo “*tal automóvel é mais aerodinâmico*”. O que quer dizer isso? Quer dizer que, dependendo do formato que um veículo tiver, ele sofre uma força de resistência do ar maior ou menor. Os veículos mais modernos têm um formato mais aerodinâmico, ou seja, de cortar o ar de uma maneira mais eficaz, diminuindo a resistência. Isso melhora o desempenho do veículo (velocidade final atingida) e economiza combustível, pois o motor não precisa de tanta força para manter a velocidade.



formato antigo:  
maior força de resistência.



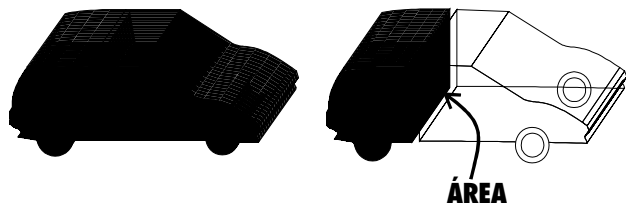
formato moderno:  
menor força de resistência.

## Calculando a força no carro

O formato de um carro é caracterizado por um número chamado *coeficiente de arrasto aerodinâmico*, indicado por  $C_x$ . Quanto menor o coeficiente melhor a aerodinâmica. Normalmente o  $C_x$  dos veículos varia entre 0,3 e 0,9. A tabela da primeira página mostra o valor de  $C_x$  para vários formatos diferentes.

Quanto maior for a velocidade do carro, maior é a força de resistência que ele sofre. Se um passageiro colocar o braço para fora, sente um pequeno vento na mão quando a velocidade é baixa. Mas quando ela é alta, o vento empurra fortemente sua mão para trás. Essa é a força de resistência do ar, que aumenta com a velocidade.

A área do objeto voltada para o movimento também tem uma influência importante na resistência do ar. Para entender o que área é essa, observe a figura abaixo:

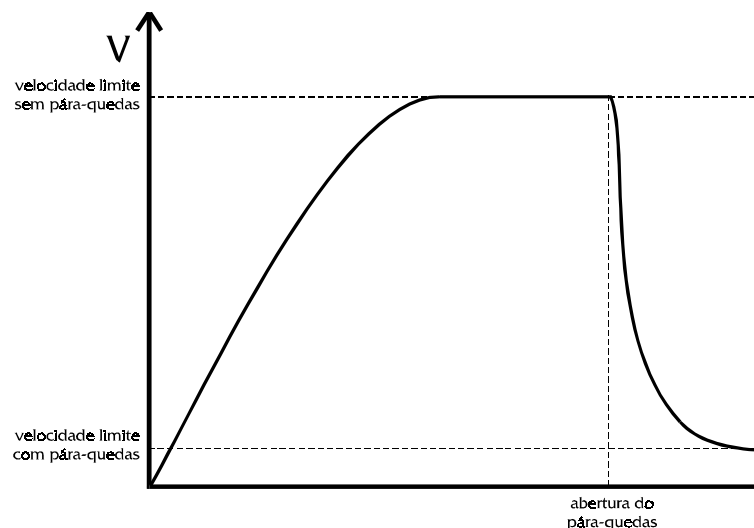


Isso indica que a resistência do ar também está ligada ao tamanho do objeto: um pára-quadras grande por exemplo, funciona melhor do que um pequeno. Há uma fórmula que resume todas as características que discutimos até aqui e que expressa o valor da força de resistência no ar e na água para a maioria das situações:

$$F_{res} = -\frac{1}{2} \cdot C_x \cdot d \cdot A \cdot v^2$$

Nessa fórmula há apenas uma coisa que não comentamos: a densidade do meio indicada por  $d$ . Quanto maior for essa densidade também maior será a força de resistência.

## Leia e entenda tudo isto antes de saltar de pára-quadras



O gráfico acima mostra como a velocidade de um paraquedista varia enquanto ele cai. No começo, sua velocidade aumenta por que a resistência do ar é bem menor que o peso. Conforme a velocidade vai aumentando, a resistência do ar aumenta, e com isso a força resultante diminui (Por quê?).

Quando a resistência se iguala ao peso, a velocidade pára de aumentar. Agora, a força resultante é nula. De repente, ele abre o pára-quadras, e a força de resistência aumenta brutalmente, ficando bem maior que o peso. A resultante agora é para cima. O que vai acontecer com o camarada?

Sua velocidade diminuirá rapidamente, e com ela, também a força de resistência, até que ela se iguale novamente à força peso.

Mais uma vez a velocidade se torna constante. Só que agora o seu valor é bem pequeno: o paraquedista passa a ter uma queda suave até tocar o solo.

**Para responder durante o salto:**

1. Explique o que ocorre ao paraquedista em cada trecho do gráfico.
2. Indique o sentido da força resultante em cada trecho.
3. Se o pára-quadras não abrisse, como ficaria o gráfico?

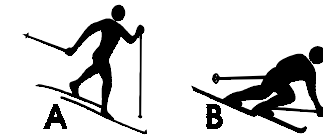
## Tartarugas e jabutis

As figuras acima representam um jabuti e uma tartaruga. Qual deles é um animal marinho? Quais as diferenças no corpos dos dois que permitem afirmar isso? Explique.



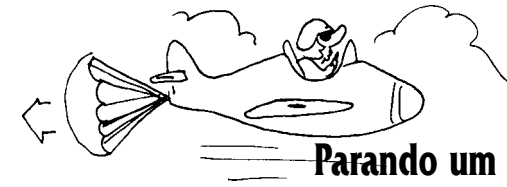
## Caminhão chifrudo

A figura acima lado mostra um acessório hoje em dia muito comum, colocado sobre a cabine de caminhões com o objetivo de economizar combustível. Explique como funciona esse equipamento.



## O esquiador

Durante a descida de uma montanha o esquiador sofre uma grande força de resistência do ar. Sendo assim, em qual das posições (A ou B) um esquiador deve descer para atingir a velocidade mais alta? Explique.



Para conseguir parar aviões usa-se recursos como o de acionar flaps, para-quadras ou inverter as posições das pás das hélices de turbinas. Explique, em termos de impulso, como isso funciona.

Esses recursos são utilizados pois o atrito dos pneus com o chão é muito pequeno. Se para parar o avião dependêssemos só dessa força de atrito, necessitaríamos de uma pista muito extensa!

Tanto os flaps localizados nas asas como os para-quadras acionados na traseira do avião, freiam o veículo devido ao atrito com o ar. No caso do turbojato, ao mudar a posição das pás das hélices, invertemos o sentido do jato. O jato dirigido para a frente produz no avião um impulso para trás. Em todos os recursos utilizados sempre existe uma força oposta ao movimento.

# — 18 —

## A acelera!

Por que um carro acelera mais do que outro? A resposta está na Segunda Lei de Newton.

### ..... Que carro acelera mais? .....

carro	motor	massa	tempo de aceleração (0 a 100 km/h)
Trave Plus	PowerRanger 1.0	848 kg	10,0 s
Trave GTi 16 V	NoPower 2.0	848 kg	8,3 s
Paramim	PowerRanger 1.0	967 kg	12,5 s

**A tabela mostra o desempenhos de modernos veículos nacionais. Você é capaz de dizer por que uns aceleram mais rápido do que os outros?**



Jim Davis  
Garfield na maior  
Ed. Cedibra

## A aceleração do carro e a Segunda Lei .....

Você pode observar pela tabela da página anterior que alguns modelos atingem mais rapidamente a velocidade de 100 km/h. Se compararmos os dois primeiros carros, veremos que seus motores são diferentes, mas que eles possuem a mesma massa. Na verdade, a principal diferença entre eles é o motor, que é o responsável pela força.

O segundo carro possui um motor mais potente, o que significa que ele é capaz de exercer uma força maior. Isso explica o menor tempo para se atingir a marca dos 100 km/h.

Por outro lado, o primeiro e o terceiro carros (Trave Plus e Paramim) têm o mesmo motor, porém seus tempos de aceleração são diferentes. Por que será?

Se você observar bem, verá que o carro que possui maior massa é o que acelera menos (maior tempo), o que nos leva a concluir que uma massa maior provoca uma aceleração menor.

Tudo isso está de acordo com a Segunda Lei de Newton:

**“A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.”**

Como poderíamos expressar isso (argh!) matematicamente? Já vimos que podemos “medir” o movimento de um corpo pelo produto da massa pela velocidade:  $m \cdot v$ . A mudança do movimento, seria então o produto da massa pela mudança da velocidade, que é o que chamamos de aceleração:  $m \cdot a$ . Podemos, então escrever assim:  $m \cdot a = F$ . Ou, como é melhor conhecida:

$$F = m \cdot a$$

Podemos dizer que essa fórmula expressa a Segunda Lei de Newton

## Calculando a aceleração .....

A aceleração, portanto mede a rapidez com que se muda a velocidade. Observe a tabela da página que abre este tópico. O automóvel Trave Plus, demora 10 segundos para atingir a velocidade de 100 km/h. Isso quer dizer que, em média, sua velocidade aumenta 10 km/h por segundo.

Por que “em média”? Por que ele pode acelerar mais nos primeiros 5 segundos e menos nos 5 segundos restantes, por exemplo. De qualquer forma, dizemos que sua aceleração média foi de 10 km/h/s.

É chato mas é verdade: para poder fazer cálculos de forças você terá que passar todos os valores de velocidade para metros por segundo. É realmente chato. Mas, afinal, o que é dividir por 3,6? Em vez de 100 km/h teremos algo perto de 27,8 m/s.

Isso quer dizer que a velocidade do Trave Plus aumentará de 2,78 m/s em cada piscada do seu relógio digital. Ou seja sua aceleração será de 2,78 m/s/s, ou de forma abreviada, 2,78 m/s<sup>2</sup> (metros por segundo ao quadrado). Sabe como chegamos ao valor 2,78? Adivinhou: dividindo 27,8 m/s (que é a variação da velocidade do carro) por 10 segundos (que é o intervalo de tempo em que medimos essa variação). Formulisticamente, isso se escreve assim:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Na Física o  $\Delta$  (delta) representa variação. Então estamos dizendo que a aceleração média é a variação da velocidade dividida pela variação (intervalo) do tempo!

Use-a para achar a aceleração dos outros carros!

**Tente calcular a aceleração dos outros dois modelos. E leia mais para saber obter o valor da força resultante em cada um.**



# Subidas, descidas & areia .....

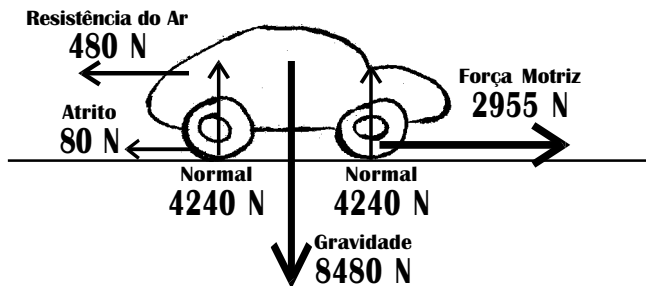
carro	situação	tempo de aceleração
		(0 a 100 km/h)
Trave Plus	Asfalto Pista Horizontal	10,0 s
Trave Plus	Areia Pista Horizontal	16,7 s
Trave Plus	Asfalto Subida	20,0 s
Trave Plus	Asfalto Descida	8,3 s

Se você observa a tabela ao lado, percebe que na subida um carro acelera menos, enquanto na descida acelera mais do que na pista horizontal. Isso porque nestes casos, parte do peso (força gravitacional) do carro atua no sentido de ajudar ou atrapalhar o movimento. Na descida o carro conta com a ajuda da força gravitacional, enquanto na subida essa mesma força representa um empecilho. Além disso irão contar outras forças, como o atrito com a estrada, que irá depender da pista e do estado dos pneus, e a resistência do ar que dependerá do formato do carro, da velocidade dele e do vento e assim por diante.

Em todos os casos, é possível atingir os 100 km/h. Porém, às vezes ele o faz mais rápido, ou seja, tem aceleração maior, e às vezes o faz mais devagar, o que significa uma aceleração menor.

Quanto maior for o resultado dessas forças, maior será a aceleração, ou seja, a mais rápida a mudança de velocidade. E quanto maior for a massa, menor será essa aceleração. Um caminhão de muita massa demora para atingir altas velocidades, embora a força a que está sujeito seja bem maior que a de um carro.

O que conta, portanto não é somente a força motriz que o motor proporciona às rodas, mas também as demais forças. Por isso falamos em força resultante, ou seja, o resultado de todas as forças que estão agindo. Numa pista horizontal, por exemplo, teríamos as forças:



Na vertical temos a força gravitacional (peso), que é equilibrada pela força que o chão faz nos pneus. Veja que a soma das normais traseira e dianteira é igual ao peso.

Como essas forças estão em sentidos opostos, elas se anulam. Na horizontal, há a força motriz de 2955 N para a frente, mas também há um total de 560 N para trás, somando atrito e resistência. "Sobram" apenas 2395 N para acelerar o carro. Você pode encontrar sua aceleração dividindo essa força resultante pela massa do carro.

Na subida as forças são praticamente as mesmas de antes, mas estão todas "inclinadas", exceto o peso, que continua sendo "para baixo". Como o peso fica inclinado em relação ao piso, ele passa a ter dois efeitos: puxar o carro contra o piso e puxá-lo na direção da descida. Para saber de quanto é cada um desses efeitos temos que fazer como no esquema ao lado, intitulado "Os efeitos do peso".

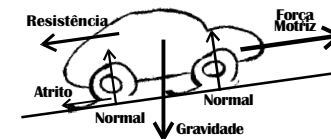
A inclinação da subida na tabela desta página é de 8 graus, semelhante à da figura "forças na subida". Isso provoca algo em torno de 1178 newtons, na componente do peso que força o carro ladeira abaixo. Quanto maior for a inclinação maior será a parte do peso na direção da ladeira. Para 30 graus, como na figura "Os efeitos do peso" esse valor seria próximo de 4240 newtons. Você acha que o carro conseguiria subir? Por quê?

Tente calcular a força resultante e chegue a uma conclusão.

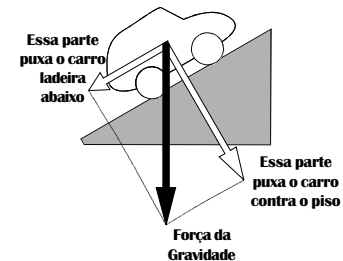
**Responda rápido:**  
**Por que na pista com areia o tempo de aceleração do carro é maior?**

Deixa eu ver:  
Se  $F = m \cdot a$  então  $a = \frac{F}{m}$   
Calculando temos:  
 $a = \frac{2395 \text{ N}}{848 \text{ kg}} \approx 2,8 \text{ m/s}^2$   
É isso aí!

### Forças na subida:



### Os efeitos do peso:



# As forças que ouvimos por aí

## Força!

Você que nunca imaginou que poderia ouvir alguma coisa nesse livro, terá agora a oportunidade de continuar sem ouvir. Porém, poderá imaginar as situações abaixo e seus barulhos. Mais do que isso, aproveitar sua incansável sede de saber e tentar calcular o valor da força resultante em cada uma dessas situações. Para isso você pode calcular as acelerações e multiplicá-las pela massa dos objetos. Que a força esteja com você!

## Mas cuidado e atenção!!

As unidades de medida precisam ser transformadas para o SI. (O que é isso mesmo? Quilograma - Metro - Segundo )

## E mais!

Se você colocar os resultados em ordem crescente de força poderá tirar conclusões interessantes. Professor de Física acha tudo interessante ...

### Ptchisssss .... Pououffff!

Um canhão anti-aéreo dispara projéteis de 3 kg a 210 m/s. Sua bala leva em torno de 3 milésimos de segundo para sair do cano da arma.

### Uóóóóóóóóóuuuummmm ...

Um super petroleiro com massa total de 200 mil toneladas, a 36 km/h, demora meia hora para conseguir parar, percorrendo uma distância aproximada de 9 quilômetros.

### Scriiinnch .... Crás!

Um automóvel de 1 tonelada colide contra um muro a uma velocidade de 12 m/s. O tempo de colisão é de aproximadamente 3 décimos de segundo.

### Aaaaaah... Puffff!

Em um acidente automobilístico, com o carro colidindo contra um muro a 12 m/s, o tempo de colisão de uma pessoa sem cinto de segurança com o painel do veículo é de 1 décimo de segundo. Considere que a pessoa tem 60 kg.

### Quebrando um galho ... (Crec!)

*Não se desespere, vamos ajudá-lo. Mas não é para acostumar! Resolveremos o problema do canhão anti-aéreo, que é mais fácil. Neste caso, a velocidade varia de 0 a 210 m/s, a massa da bala é de 3 kg, a massa da bala é 3 kg e o tempo é de 0,003 segundos.*

Então a quantidade de movimento é  $q = m \times v = 3 \times 210 = 630 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ .

A aceleração é:  $a = \Delta v / \Delta t = 210 / 0,003 = 70.000 \text{ m/s}^2$ .

A força resultante será:  $F = m \times a = 3 \times 70.000 = 210.000 \text{ N}$ .

*É fácil e indolor!*

### Vruuummm....

Uma pessoa de 57 kg acelera um automóvel de 843 kg, em 1ª marcha, do repouso até a velocidade de 5 m/s. O carro leva 20s para atingir essa velocidade.

### Tchibum!

Em um salto sobre uma piscina, o tempo que uma pessoa de 60 kg leva para atingir o repouso dentro da água aumenta para 0,4 s. Considere que a pessoa atinge a água a 15 m/s de velocidade.

### Miaaaauuuu ....

O animal terrestre mais veloz é o guepardo, um felino que pesa em torno de 60 kg. Ele consegue acelerar de zero a 72 km/h em apenas 2 segundos.

### Mãããnhééééé!!!!!!

Um looping possui massa de 900 kg. Com capacidade para 24 pessoas, ele desce de uma altura de 78,5 metros chegando ao ponto mais baixo em apenas 3 segundos com uma velocidade de 97,2 km/h.

### Ops! Uaaaaahhhhhh!!!!

Ao saltar do avião, um pára-quedista de 85 kg (incluindo os equipamentos) leva cerca de 10 segundos para atingir a velocidade de 50 m/s.

### Bang! Bang! .... ai!

Uma bala de revólver de 10 gramas atinge uma pessoa a uma velocidade de 150 m/s, ficando alojada em seu corpo. Ela leva um centésimo de segundo até parar.

### Vrooooooaaaaaaarrrrrr!!!!!!

Em 5 segundos, um avião a jato de 40 toneladas ejeta 100 kg de gás, que sofre uma variação de velocidade de 500 m/s.

### Zuuiimmm .... Cataplof!

Para uma pessoa de 60 kg que cai em pé de uma altura 12 m o tempo de colisão é algo em torno de 0,12 s. Nessas condições, ela chega ao solo a uma velocidade próxima de 15 m/s.

### Taaaaaac!

Em uma tacada de golfe, o contato entre a bola e o taco dura em torno de 1 milésimo de segundo. A bola, de 45 g, atinge 150 km/h após a tacada.

### Zuuuuuuiiiiiimmmm!

O metrô é composto de 6 vagões que ao todo somam 180 toneladas. Controlado por um sistema especial, ele sempre acelera de 0 a 44 km/h em 10 segundos.

### Tlim! Tlom! ... Estação Sé

Estando a 100 km/h, um metrô de seis carros com 30 toneladas cada um, gasta 24,8 segundos para atingir o repouso.

### Vromm! Vromm! Vromm!

O Dragster é o carro de competição mais veloz que existe. Pesando apenas 250 kg, ele percorre uma pista de 402 metros, atingindo a velocidade de 403,2 km/h em apenas 3,5 segundos.

### Fluuuup! ... Ufa!

Antes de abrir um pára-quedas a velocidade de um paraquedista de 85 kg (incluindo equipamentos) vale 50 m/s. Após abrir o pára-quedas sua velocidade cai rapidamente, atingindo o valor de 4 m/s em apenas 1 segundo.

### Pim! Sobe?

Um elevador, partindo do repouso no térreo, demora 3 segundos para atingir a velocidade de 180 metros por minuto. Sua massa total é de 1000 kg.

### Aaaaaaaaai!

A partir do repouso, a mão de um praticante de caratê leva 14 décimos de segundo para atingir a pilha de blocos, a 14 m/s. Podemos considerar massa da mão como de 700 gramas.

### Senhores passageiros ...

Um avião Jumbo 747 de 80 toneladas, atingindo a pista de pouso a 270 km/h percorre 1,2 km em meio minuto até a parada total.

### Prrriiiii! Tchouff! Uh, tererê!

Após o chute para a cobrança de uma penalidade máxima, uma bola de futebol de massa igual a 0,40 kg sai com velocidade igual a 24 m/s. O tempo de contato entre o pé do jogador e a bola é de 0,03 s.

### Yááááá!!!!

Um carateca (praticante de caratê) atinge uma pilha de blocos de madeira, rompendo-os. Ao entrar em contato com a pilha, a mão do esportista possui uma velocidade de 13 m/s, levando apenas 5 milésimos de segundo para partir os blocos. A massa da mão, para esta situação, pode ser considerada de 700 gramas.

# 19

Quem com ferro  
fere...

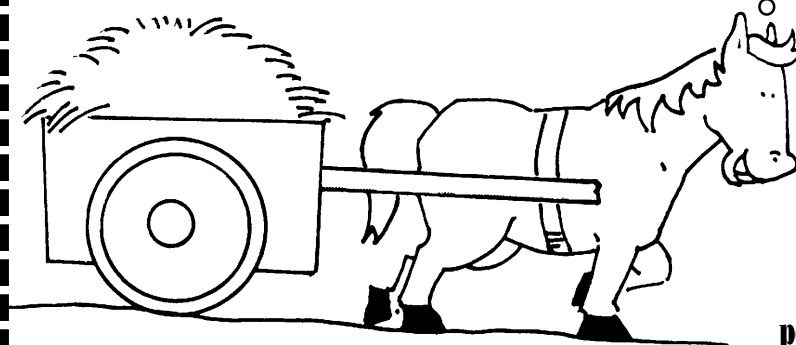
... com ferro será ferido.  
Será que esse ditado  
popular tem algo a ver  
com a Física? Pergunte  
ao cavalo ...

Êta, cavalinho filho  
duma égua!

## Um problema cavalari

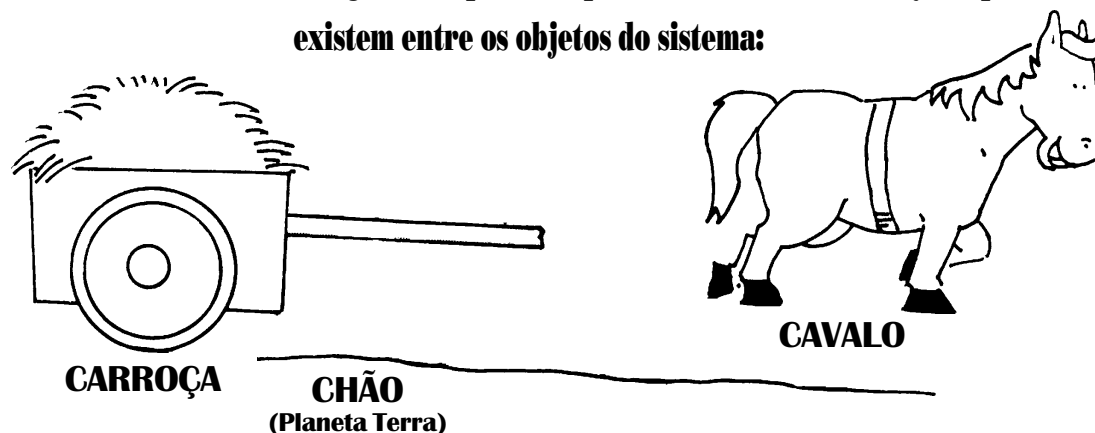
Um estudioso cavalo, ao ler *Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, de Isaac Newton, na sua versão original em latim, passou a questionar seu papel na sociedade. Como poderia puxar uma carroça, se de acordo com a Terceira Lei, esta o puxa para trás com a mesma força?

SE A CARROÇA ME PUXA PARA TRÁS COM A MESMA FORÇA QUE EU FAÇO PARA A FRENTE, COMO É QUE EU VOU MOVÊ-LA?



Cabe a nós o triste papel de convencer o cavalo a permanecer na árdua tarefa de puxar a carroça.

Antes de mais nada, sugerimos que você pense em todas as interações que existem entre os objetos do sistema:



## Quem com ferro fere ...

... com ferro será ferido. Esse agressivo ditado popular é muitas vezes traduzido pelo enunciado da lei que provavelmente é a mais conhecida da Física: a **lei da ação e reação** ...

Mas o significado desta lei, conhecida na Física como **3ª lei de Newton**, não é tão drástico nem tão vingativo como seu uso popular leva a crer. O uso do ditado reflete a *decisão de revidar* uma ação. Esse direito de escolha não está presente, porém, na **3ª lei de Newton**.

Um exemplo bastante comum é a batida entre dois veículos: neste tipo de incidente, ambas as partes levam prejuízo, mesmo que um deles estivesse parado, pois os dois carros se amassam. Não é necessário portanto, que o

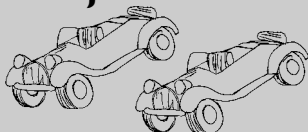
motorista do carro parado decida *revidar* a ação, pois a *reação ocorreu simultaneamente à ação*.

Da mesma forma, quando chutamos uma bola, a força exercida pelo pé empurra a bola para a frente, enquanto a bola também age no pé, aplicando-lhe uma força no sentido oposto. Se não fosse assim, poderíamos chutar até uma bola de ferro sem sentir dor.

A bola recebe um impulso que a faz “ganhar” uma certa quantidade de movimento. Já o pé do jogador “perde” essa quantidade de movimento que foi transferida para a bola, ou seja, sofre um impulso equivalente ao da bola, mas em sentido oposto.

## Faça & Explique

### Arranje:



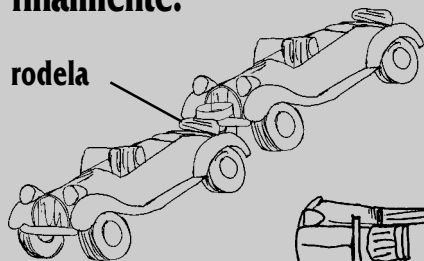
Dois Carrinhos de Fricção

### Depois Pegue ... e Faça:



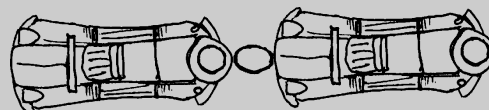
Um Copinho Plástico      Fita Adesiva      Uma Rodela

### E finalmente:



rodela

Conecte os dois carrinhos usando a rodela:



### Primeiro:

Acione a fricção apenas do carrinho da frente e coloque-os em movimento.

1. A aceleração dos carrinhos é igual à de quando temos apenas um carrinho? Por quê?
2. Durante o movimento, o que ocorre com a rodela? Como você explica isso?

### Segundo:

Agora acione a fricção apenas do carrinho de trás e coloque-os em movimento.

1. E agora, como é a aceleração dos carrinhos? Por quê?
2. O que ocorre com a rodela agora? Como você explica isso?

### Terceiro:

Acione a fricção dos dois carrinhos.

1. Como é a aceleração agora? Por quê?
2. O que acontece com a rodela? Explique.

Como você relaciona essas observações com a Segunda e a Terceira Leis de Newton?

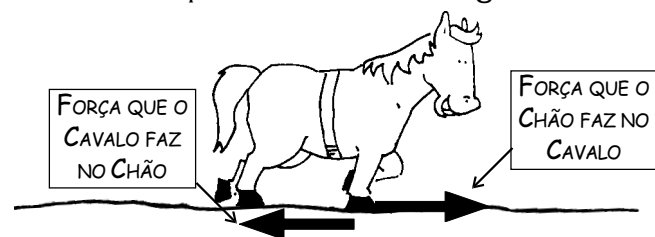
# O cavalo que sabia Física

Na interação entre objetos as forças de ação e reação atuam ao mesmo tempo, **mas uma em cada corpo**, possuindo mesma intensidade e direção e sentidos contrários. O fato da força de ação agir em um objeto e a de reação em outro, é a idéia básica da 3ª lei de Newton.

Isso está diretamente ligado à história do cavalo. A desculpa do nosso esperto quadrúpede para não ter que puxar a carroça não é válida. Vejamos porque, analisando o que acontece a carroça e o cavalo.

## Como o cavalo se move?

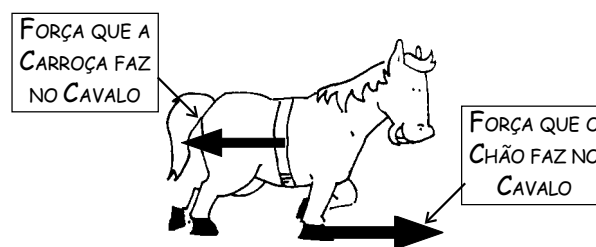
Se você disser que o cavalo empurra o chão está absolutamente certo. Mas o que *faz realmente* o cavalo andar é a força de reação que o chão faz no cavalo. Poderíamos esquematizar tudo isso da seguinte forma:



Mas o cavalo tem que puxar a carroça. Como ficaria o esquema das forças com a carroça? É preciso lembrar que da mesma forma que o cavalo "puxa", ela "segura" o cavalo, ou seja, aplica nele uma *força de reação*, para trás. Observe o esquema:



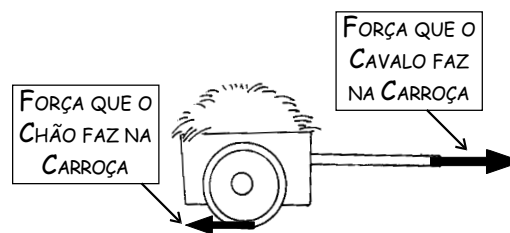
Essa discussão mostrou dois pares de forças de ação e reação. O primeiro representando a interação entre o cavalo e o chão e o segundo mostrando a interação entre o cavalo e a carroça. Mas para entender o movimento do cavalo que puxa a carroça, podemos fazer um esquema somente com *as forças que são aplicadas nele*. Observe:



Se o cavalo consegue se mover para a frente é porque a força que o chão faz no cavalo é maior que a força que a carroça faz no cavalo. Portanto, o cavalo tem que aplicar uma grande força no chão, para que a reação deste também seja grande. Se não for assim, ele "patina" e não consegue arrastar a carroça.

## E a carroça, como se move?

É claro que ela se move porque o cavalo a puxa. Mas não podemos nos esquecer, que além do cavalo, a carroça também interage com o chão, que a segura através do atrito. Evidentemente, a força que o cavalo faz na carroça tem que ser maior do que força que o chão faz na carroça.



## Faça & Explique:

### Uma atração à distância

Uma menina resolve fazer a seguinte experiência: em uma vasilha com água coloca dois “barquinhos” de isopor, um com um prego e outro com um ímã, posicionados a uma pequena distância entre si. O que você acha que ela observou? Explique.

### Barquinho movido à ímã

A mesma menina tem a seguinte idéia: se eu colocar um ímã na frente de um prego, ambos sobre o mesmo barquinho, a atração fará o barquinho se movimentar. Discuta essa questão.

## Quem faz mais força?

Um menino puxa seu companheiro preguiçoso de uma cadeira tentando levá-lo para dar um passeio. Aparentemente, esta é uma situação que viola a terceira lei de Newton, uma vez que só um dos garotos fazem força. Isso é mesmo verdade? Discuta.

resolução:

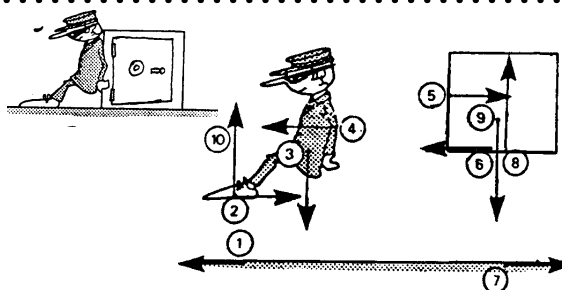
Essa situação é enganosa, pois nos leva a confundir força com esforço muscular, que são coisas diferentes. De fato, somente o garoto que puxa o companheiro realiza um esforço muscular, que pode ser fisicamente identificado como um consumo de energia dos músculos do seu braço. Mas em relação à força que ele aplica, a situação é diferente: ao mesmo tempo que suas mãos puxam o braço do companheiro para cima, este resiste, forçando as mãos do garoto no sentido oposto. Portanto, o braço do menino sentado também aplica uma força nas mãos do outro menino, embora esta força não esteja associada a um esforço muscular.

## Mentira pantanosa

Um personagem conhecido como Barão de Munchausen, é considerado o maior mentiroso da literatura internacional. Em uma das suas aventuras, o simpático barão conta que, ao se ver afundando em um pântano, conseguiu escapar puxando fortemente seus próprios cabelos para cima. Mostre que essa história é uma mentira usando a terceira lei de Newton.

### Boletim de ocorrência

Um amigo do alheio, não obtendo êxito em sua tentativa de apropriação indébita do conteúdo de um cofre, decide que a melhor solução é arrastá-lo até o recesso de seu lar. O diagrama de forças ao lado indica as várias interações presentes nessa delicada operação executada pelo meliante.



Sua tarefa:

Copie a tabela e coloque o número correto na descrição de cada força.

Quais forças possuem a mesma intensidade?

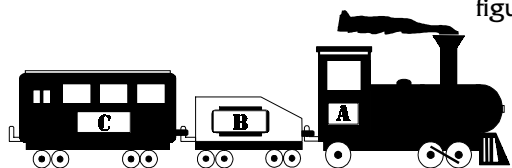
Que forças constituem pares de ação e reação?

Quais forças deixaram de ser incluídas na tabela?

Número	Força
	Atrito do pé aplicado ao chão
	Atrito do chão aplicado ao pé
	Normal do ladrão aplicada ao cofre
	Normal do cofre aplicada ao ladrão
	Atrito do cofre aplicado ao chão
	Atrito do chão aplicado ao cofre
	Peso do cofre
	Normal do chão aplicada ao cofre
	Peso do ladrão
	Normal do chão aplicada ao ladrão

### DESAFIO

Se você se divertiu com o exercício acima, poderá desfrutar agora de um prazer ainda maior: desenhar todas as forças a que estão sujeitos cada uma das partes do trenzinho da figura abaixo.



1

2

3

Explique o que é cada uma dessas forças. Diga quais possuem o mesmo valor. Indique todos os pares de ação e reação.

# —20—

## Pit Stop para um Test Drive

Você irá agora realizar sofisticados testes automobilísticos para refletir melhor sobre a 2ª Lei de Newton.

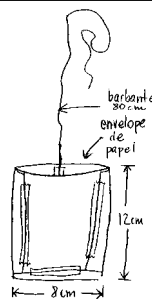
## Fazendo um *Test-Drive* na mesa da cozinha

### material necessário



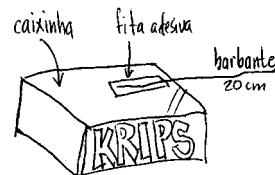
### montando o equipamento

- 1 Gravitômetro de Alta Precisão**  
Hi-accuracy Gravittometer

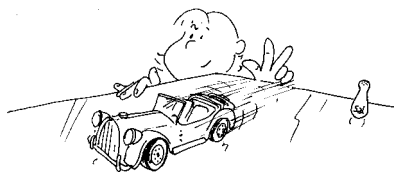


Para montar esse equipamento de última geração, faça um envelope com o papel, conforme mostra a figura. Usando a fita adesiva prenda a ele 80 cm de barbante.

- 2 Atritor Horizontal Multifacial**  
Multifacial Horizontal Frictioner

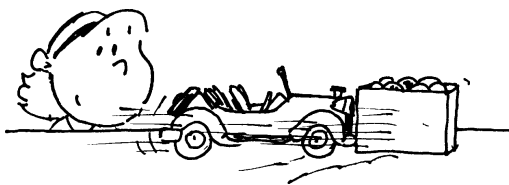


Esse sofisticado instrumento é configurado a partir de um barbante de 20 cm colado à face superior de uma caixinha de papelão, de tamanho próximo ao do carrinho.



Você fará agora uma bateria de testes para avaliar o desempenho do seu carrinho de fricção e o seu conhecimento sobre as Leis de Newton. Antes de começar, faça os carrinhos se moverem livremente para ter uma idéia de quanto ele corre.

## Test One



Agora, antes de soltar o carrinho encoste em sua frente uma caixinha contendo cliques grandes, bolinhas de gude ou alguma outra coisa que aumente seu peso.

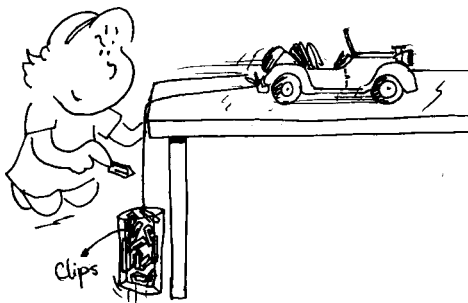
**Quantos cliques seu carrinho consegue arrastar?**

Faça um esquema das forças que agem no carrinho neste teste. Explique a interação que dá origem a cada uma.

Desenhe também as forças que agem na caixa e explique qual é a interação correspondente a cada uma.

Baseado no que você respondeu, explique porque o carrinho não empurra a caixa quando há muitos cliques.

## Test Two



Faça agora o carrinho elevar um certo número de cliques, colocados dentro do envelope, conforme o esquema.

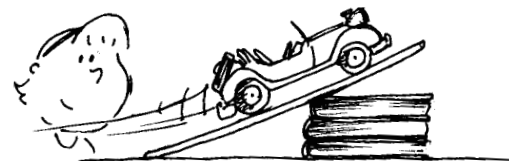
**Quantos cliques seu carrinho consegue erguer?**

Faça um esquema das forças que agem no carrinho neste teste. Explique a interação que dá origem a cada uma.

Desenhe também as forças que agem no envelope e explique qual é a interação correspondente a cada uma.

Baseado no que você respondeu, explique porque o carrinho não puxa o envelope quando há muitos cliques.

## Test Three



Coloque o carrinho para subir uma rampa feita com uma tábua ou placa de papelão e alguns livros, como mostra a figura.

**Que inclinação seu carrinho consegue vencer?**

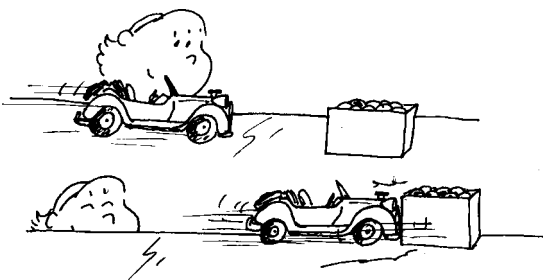
Faça um esquema das forças que agem no carrinho neste teste. Explique a interação que dá origem a cada uma.

Baseado em sua reposta, diga porque quando a inclinação é muito grande o carrinho não consegue subir.

Explique o que mudaria na situação se o carrinho tivesse que empurrar a caixa com cliques rampa acima?



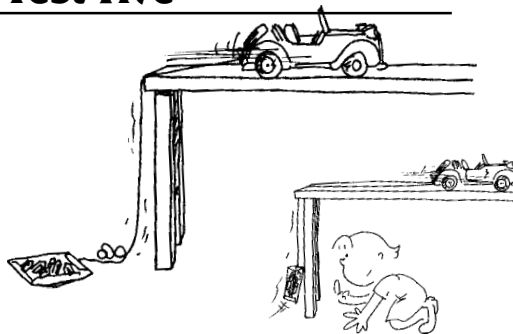
## Test Four



Faça o carrinho já em movimento atingir uma caixa cheia de bolinhas ou clips.

**Depois de bater na caixa, a velocidade do carrinho aumenta ou diminui?**

## Test Five



Use uma linha comprida, de forma que o carrinho já esteja com uma certa velocidade quando os clips começarem a subir.

**Após os clips saírem do chão a velocidade do carrinho aumenta ou diminui?**

O resultado acima depende do número de clips ou bolinhas? Por quê?

“Desenhe” e explique as forças horizontais que agem no carrinho nesta situação.

Quando o movimento é acelerado (velocidade aumentando) qual destas forças deve ser maior?

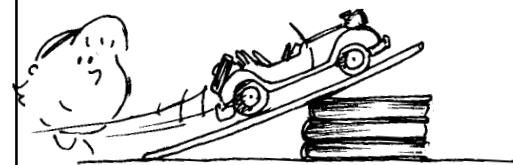
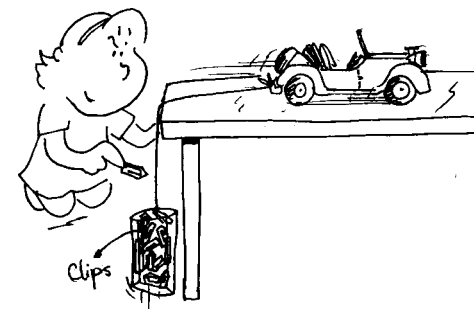
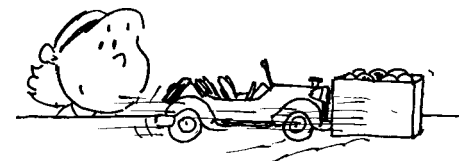
Como se alteram esses valores quando o movimento é retardado (velocidade diminuindo)?

## DESAFIO

Em uma viagem normal de automóvel pela cidade, em que momentos o movimento é acelerado e em quais momentos ele é retardado? Dê pelo menos dois exemplos de cada e citando as forças que aparecem em cada situação.

## DESAFIO

### Testes Lunáticos

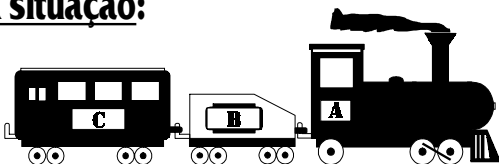


Que diferença observaríamos se os três testes acima fossem efetuados em uma base na lua?

E o que ocorreria se porventura tais testes fossem feitos em um lugar onde não existisse nenhuma forma de atrito?

# Coisas para pensar da próxima vez que você andar de trem

## A situação:



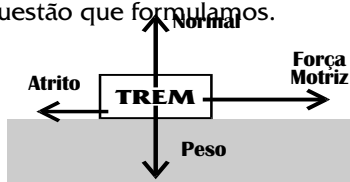
Uma locomotiva de 30.000 kg é utilizada para movimentar dois vagões, um de combustível de 5.000 kg e outro de passageiros de 25.000 kg, conforme mostra a figura. Sabe-se que a força de tração sobre a locomotiva é de 30.000 N

## Problema 1: O trem acelerando ...

Quanto tempo este trem leva para atingir uma certa velocidade? Digamos que a norma é que ele trafegue a 21 m/s (= 75,6 km/h). Quanto tempo demora para ele chegar a essa velocidade?

Na Física, para resolver um problema precisamos eliminar aqueles detalhes que não nos interessam no momento e trabalhar com um modelo simplificado. Não iremos nos importar com as janelas, portas, cadeiras e passageiros do trem, uma vez que na prática, essas coisas pouco influem no seu movimento como um todo.

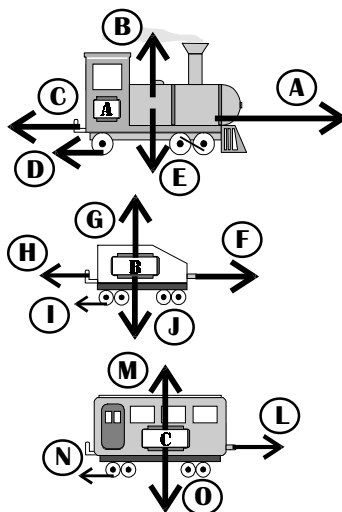
Como nosso objetivo é apenas calcular a aceleração do trem, um modelo bem simples como o representado a seguir é suficiente. Nele só entra o que é essencial para responder à questão que formulamos.



ISTO É UM TREM?!

## Problema 2: ...

Se você fez o desafio da leitura anterior, deve ter encontrado um esquema de forças parecido como estes:



Agora é novamente com você! Siga a seqüência:

1. Encontre o valor de todas as forças. Considere que o coeficiente de atrito é igual 0,008.
2. Encontre a força resultante.
3. Encontre a aceleração.
4. Calcule o tempo que ele leva para atingir 21 m/s.

## Pequenas Ajudas

(Não é para acostumar!)

- a) Para achar o peso, há a fórmula  $P = m \cdot g$ . O valor da Normal deverá ser igual ao do peso neste caso (por quê? Em que casos ela não é igual ao peso?). O atrito é calculado pela fórmula  $F_{\text{atrito}} = \mu \cdot N$ .
- b) As forças na vertical (peso e normal) se anulam. A resultante será a Força Motriz menos a Força de atrito (Por que menos e não mais?)
- c) Você sabe a força resultante e a massa. Basta usar  $F = m \cdot a$ . Que valor você tem que usar para a massa?
- d) Agora você tem que saber que  $a = \Delta v / \Delta t$  (que significam esses  $\Delta$ ?). O valor  $\Delta v$  é a variação da velocidade e  $\Delta t$  é o tempo que leva para o trem atingir a tal velocidade.

## Aceleração da gravidade

UM OBJETO EM QUEDA DE PEQUENAS ALTURAS AUMENTA SUA VELOCIDADE CONTINUAMENTE ENQUANTO CAI. CONFORME DISCUTIMOS, ISSO REPRESENTA UMA ACELERAÇÃO. GALILEU CONCLUIU QUE ESTA ACELERAÇÃO É IGUAL PARA TODOS OS OBJETOS, SE DESCONSIDERARMOS O EFEITO DA RESISTÊNCIA DO AR, E QUE TEM UM VALOR PRÓXIMO A  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

A) CALCULE QUE VELOCIDADE UM OBJETO EM QUEDA ATINGE EM 1 E EM 5 SEGUNDOS DE QUEDA.

B) MANTENDO ESSA ACELERAÇÃO, TEMPO UM OBJETO LEVARIA PARA ATINGIR 100 KM/H?

Muito bem, agora é com você! Siga a seqüência:

1. Encontre o valor de todas as forças. Considere que o coeficiente de atrito é igual 0,008.
2. Encontre a força resultante.
3. Encontre a aceleração.
4. Calcule o tempo que ele leva para atingir 21 m/s.