

# Aula 8

## PRIMEIRA E SEGUNDA LEI DE NEWTON

### **META**

Introduzir os conceitos de força e da primeira e da segunda Lei de Newton.

### **OBJETIVOS**

Ao final desta aula, o aluno deverá:

- definir com segurança e precisão o que é uma força em seu caráter filosófico e em sua natureza vetorial;
- aplicar a 1ª Lei de Newton para resolver problemas simples de dinâmica;
- definir massa e calcular a aceleração que a mesma sofre quando uma dada força é aplicada sobre ela; e
- utilizar a 2ª Lei de Newton para calcular mudanças nos estados de movimentos de objetos.

### **PRÉ-REQUISITOS**

Conhecimento sobre trigonometria e vetores

**Frederico Guilherme de Carvalho Cunha**

# INTRODUÇÃO

Bem vindos à nossa primeira aula de dinâmica. Enquanto a primeira parte do curso tratou da descrição quantitativa do movimento dos objetos, agora iniciaremos o estudo dos fenômenos que causam o movimento, ou mais apropriadamente, os fenômenos que alteram o estado de movimento dos objetos. Em contraste com as idéias de Aristóteles, Galileu propôs a moderna concepção de força, mas foi Newton o responsável por seu equationamento e estabelecimento como base da física clássica. A primeira lei de Newton apresenta um conceito de fundamental importância na física: a Inércia. Este conceito é utilizado, não apenas na física clássica, mas também em uma de suas descendentes mais modernas: a relatividade. A segunda lei de Newton estabelece a relação entre a massa de um corpo e a aceleração que ela sofre quando uma dada força atua sobre ela. O conceito de massa confunde-se com o conceito de inércia: quanto maior a massa de um corpo, maior a sua inércia, ou seja, maior a força necessária para fazê-lo se mover. A aplicação de uma força sobre um corpo causa uma aceleração: essa é a dinâmica do movimento. Uma vez sujeita a essa aceleração, o estado de movimento se altera. Estes, serão, portanto, os assuntos a serem apresentados nesta aula.



(Fonte: <http://www.kaentrenosvip.hpg.ig.com.br>).

Nesta aula, iniciamos o estudo da dinâmica. Na primeira parte de nosso curso, estudamos como os objetos se movem, sem nos preocuparmos com as razões que os levam a se mover. Hoje iniciamos nossa aula com este tópico: o que é movimento? A questão, do ponto de vista da filosofia natural, foi proposta, originalmente, indagando o que causa um movimento e o que causa a mudança deste movimento. É uma pergunta complicada.

Aristóteles, um dos grandes filósofos da Grécia clássica, contribuiu para responder a esta questão. Seus estudos sobre o movimento dos corpos chegaram aos nossos dias e indicam sua crença de que um movimento qualquer necessita de uma razão, e propôs três hipóteses:

- Movimento natural – indica que os objetos buscam seu local natural, como por exemplo, uma pedra que, ao cair, busca seu local natural parada no chão.
- Movimento voluntário – seria aquele efetuado pelos seres vivos obedecendo à própria vontade.
- Movimento forçado – ocorre quando um objeto sofre a ação de outro objeto em movimento e passa assim a se mover também.

Esta abordagem manteve-se por longos 2000 anos!

Galileu iniciou uma nova era na análise do movimento quando mudou a pergunta. Segundo seu entendimento, não é importante saber o que é o movimento, mas apenas o que altera o movimento! É uma mudança e tanto!

O grande engano de Aristóteles foi atribuído ao fato de não levar em consideração a força de atrito. Galileu notou que a afirmação: “um objeto que se encontra em repouso assim continuará independentemente se nenhuma força for aplicada a ele”, é equivalente a “se um objeto se encontra em movimento, ele assim permanecerá a não ser que uma força seja aplicada sobre ele”. Notaram a diferença? Os estados de repouso ou de movimento de um objeto são equivalentes.

Podemos ainda ir um pouco mais longe. Lembra-se de nossa discussão a respeito de pontos e sistemas de referência? Ótimo. Você e eu, todos nós nos encontramos sobre a face da Terra. Estamos em repouso ou em movimento? Se você está agora sentado confortavelmente lendo este texto, pode argumentar que se encontra em repouso (não dormindo!). O mesmo vale para mim. Estamos assumindo que nosso sistema de referência se encontra em algum ponto perto (ou mesmo dentro) de nós. E para este sistema de referência nós estamos de fato em repouso.

Vamos agora pegar este sistema de referência (você pode imaginar como sendo um trio de eixos cartesianos) e levá-lo para a Lua. Isto é o mesmo que colocar um observador na superfície da Lua que tenta nos ver com uma luneta. Para ele nós estamos em movimento! Um movimento muito complicado que envolve a rotação da Terra e a translação da mesma ao redor da Lua! Espere um pouco! Não é a Lua que gira em torno da Terra? Para um observador na superfície da Lua sem muita paciência para observar,

é o oposto: a Terra gira em torno da Lua. Pode até parecer loucura, mas faz muito pouco tempo que descobrimos que o Sol não gira em torno da Terra. Mas este assunto pertence à História. O que nos importa aqui, neste momento, é reconhecer que dois observadores (dois pontos de referência) podem ver um objeto de maneiras distintas. Um exemplo mais prosaico seria o de uma pessoa sentada ao lado do motorista de um automóvel que passa velozmente por uma avenida. Para o passageiro (que leva seu sistema de referência), o motorista está parado. Para o pedestre que tenta cruzar a avenida, o motorista está em alta velocidade.

A velocidade, portanto, depende do referencial e os estados de repouso ou de movimento são equivalentes. Precisamos voltar agora para nossa indagação original: o que causa mudança no estado de movimento de um objeto (a partir de agora deixaremos de enfatizar que este estado de movimento pode ser um estado de repouso)?

Ao contrário de Aristóteles, Newton percebeu que apenas a interação entre dois corpos pode ser responsável por tal mudança. O movimento natural que Aristóteles menciona, por exemplo, não faz sentido. Uma bigorna que escorrega de suas mãos não vai encontrar o seu pé por ser seu “local natural”. Se você pegar um pedaço de um meteoro encontrado na superfície da Terra e soltá-lo, ele cairá para o solo, que, dificilmente, será considerado “local natural”. O que causa estes dois movimentos é simplesmente a atração gravitacional entre o corpo em questão e a Terra. Newton reconheceu que esta alteração de movimento só pode ocorrer quando existe uma interação entre os corpos, chamada de Força.

De seus estudos anteriores, você deve ter aprendido que existem muitos tipos de forças: mecânica, elétrica, magnética, etc. Cada uma delas apresenta um tipo de interação diferente entre os corpos. As diferenças podem ser muito grandes, mas o resultado no movimento de um objeto pode ser o mesmo. Uma bola em repouso sobre o chão (no referencial do chão) pode ter seu repouso alterado por várias forças. Se ela começa a se mover em relação ao chão, podemos afirmar, com certeza, que uma força foi aplicada a ela. Podemos não conhecer a origem desta força, mas sabemos que ela está presente. Se a bola se encontrava parada e lentamente começou a se mover, aumentando gradativamente a sua velocidade, então alguma aceleração estava mudando sua velocidade (lembre-se que  $a = \frac{dv}{dt}$ ). Esta aceleração é produto de uma força...

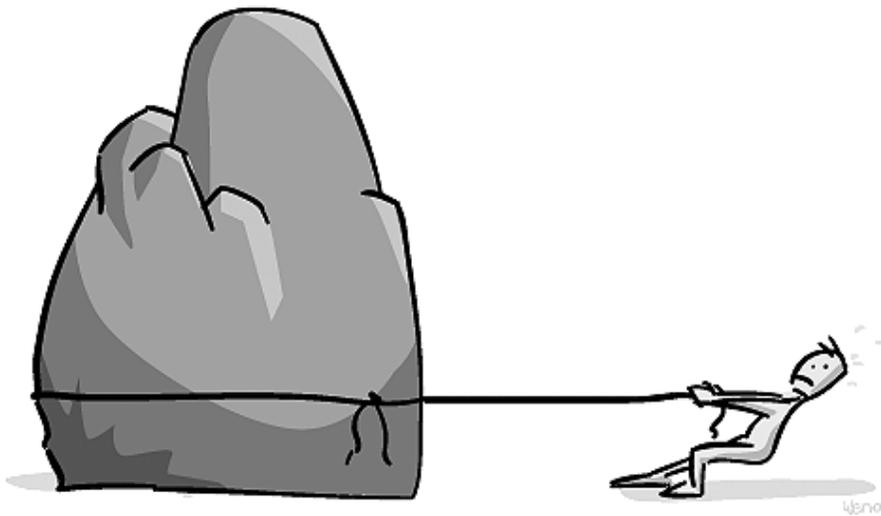
Encontramo-nos agora equipados para explorar um pouco mais este conceito de força aplicada a um corpo que tem como resultado uma aceleração que muda seu estado de movimento.

- Um objeto pode estar sujeito a mais de uma força ao mesmo tempo. Estas forças são grandezas vetoriais (têm módulo, direção e sentido) e podem ser somadas vetorialmente para se obter a Força Resultante.

- Como grandezas vetoriais, as forças podem ter sinais positivos ou negativos, dependendo sempre do sistema de referência adotado.
- As forças podem ser aplicadas quando os corpos estão em contato ou à distância. A Terra e a Lua não estão em contato físico, mas a força de atração entre elas é evidente.

Podemos agora enunciar a 1ª Lei de Newton:

“Se a força resultante aplicada sobre um objeto é igual a zero, então o seu estado de movimento não se altera”



(Fonte: <http://www.weno.com.br>)

## SISTEMAS INERCIAIS DE REFERÊNCIA

É importante saber que a primeira lei de Newton não vale em todos os sistemas de referência. Se você coloca o seu sistema de referência grudado a um automóvel e ele é acelerado, todos os objetos dentro do automóvel podem começar a se mover na direção oposta àquela do automóvel. Se a velocidade do automóvel fosse constante, todos os objetos estariam estacionários em relação ao automóvel. Pense especificamente em uma lata de guaraná sobre o painel: quando você acelera o carro faz com que o guaraná seja derramado em seu colo. Mas, nenhuma força foi aplicada sobre o guaraná! Então o seu movimento (ou repouso) foi alterado sem uma força ser aplicada, o que corresponde a dizer que a primeira lei de Newton foi violada... Os sistemas de referência onde a primeira lei de Newton é válida são conhecidos como sistemas inerciais. Quase sempre podemos assumir que os sistemas de referência acoplados à Terra são inerciais. Isto não é totalmente correto devido ao movimento de rotação da Terra, mas chega muito perto. Qualquer sistema de referência que esteja em repouso ou em

movimento com velocidade constante em relação a um referencial inercial também será um referencial inercial. Quando um sistema de referência está sendo acelerado em relação a um sistema de referência inercial, dizemos que ele é não inercial. A primeira lei de Newton é então utilizada para definir se um sistema é ou não inercial.

Esta é conhecida como a lei da Inércia. Vejamos algumas aplicações.



### ATIVIDADES

- I. Imagine-se correndo em volta de um campo de futebol com um copo cheio de água. Descreva o movimento do copo, da água e discuta as diferenças.
- II. Um engradado que pesa cerca de 100 N é levantado do chão a uma velocidade constante de 10 m/s. Chegando a uma altura de 10 m, fica parado por cerca de 10 s. Em seguida, é novamente baixado a uma velocidade de 10 m/s até o chão. Em qual destes três casos o guindaste precisa aplicar uma força maior?

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

I. Vejamos primeiramente o que acontece com o copo. É apenas um corpo sólido que está firmemente atado ao seu corpo. Neste sentido, ele pode ser considerado como fazendo parte do seu corpo. Quando você começa a correr, faz uma curva ou mesmo quando pára de correr, o copo não experimenta qualquer aceleração. O que acontece é que o seu sistema de referência está acoplado ao seu corpo e, portanto, não nota qualquer diferença nestes pontos do trajeto. A água, por outro lado, experimenta algo diferente. Todas as vezes em que você muda a sua velocidade, quando começa a correr, quando faz uma curva e quando pára, você também muda a velocidade do copo. A água então sofre forças aplicadas pelas paredes do copo nesses momentos de variação de velocidade e, então, é derramada. Quando está correndo a uma velocidade constante, a água não sofre qualquer força e se mantém estável (tirando é claro o movimento de sobe e desce natural de uma corrida).

Você, provavelmente, apostou suas fichas no movimento de subida, certo? Se assim o fez, errou. Se você apostou na descida, também errou. Aliás, não era possível acertar. Em todos os três intervalos de tempo:

subida, descida e espera, a velocidade foi constante ou nula. Ou seja, não havia qualquer força resultante sobre o container que o fizesse ser acelerado e, conseqüentemente, mudar de velocidade. Em todos os casos, a força aplicada pelo guindaste foi a mesma. Naturalmente que, por um breve instante, houve um desequilíbrio de forças que iniciou o movimento, mas, em seguida, o equilíbrio foi restaurado, e a velocidade se manteve constante. Você pode estar se perguntando para que serviram os valores da velocidade, tempo de espera e altura alcançada. Infelizmente, eles não fazem nenhuma diferença.

## SEGUNDA LEI DE NEWTON

Como pudemos ver na 1ª Lei, os objetos têm uma tendência a manter seu estado de repouso ou de movimento. Isto é o mesmo que dizer que os objetos são resistentes às mudanças, todos eles têm inércia. Mas alguns corpos têm uma inércia maior que os outros? Com certeza, sim, e o que determina a quantidade de inércia de um corpo é a sua Massa.

Um corpo mais massivo resistirá mais à força aplicada quando comparado a um corpo menos massivo. Imagine um barquinho de papel boiando em uma piscina. Assopre este barquinho. Ele se moverá? Com certeza, sim. Agora se imagine em um atracadouro e tente empurrar um navio cargueiro de 50 toneladas... Isto é inércia; isto é massa; isto é resistência ao movimento.

Se uma mesma força é aplicada a dois corpos, aquele com menor massa sofrerá uma maior aceleração e, conseqüentemente, adquirirá uma maior velocidade. É o caso de um pai e filho se empurrando com as mãos sobre o gelo. A força será a mesma em ambos os corpos e corresponderá à força aplicada pelo pai mais a força aplicada pelo filho. Como o filho tem massa menor, será mais acelerado e sairá escorregando rapidamente. O pai, com sua maior massa, será pouco acelerado e mal sairá do lugar (o que lhe dará tempo de correr atrás do filho e evitar um desastre...).



(Fonte: <http://www.dancanogelobastidores.globolog.com.br>).

No sistema internacional, a massa tem unidade de quilogramas, a força tem unidade de Newton e a aceleração de metros por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ ). Vejamos como podemos determinar a relação entre estas três variáveis para compreender a segunda lei de Newton.

Através de alguns experimentos, podemos determinar que a força é diretamente proporcional à aceleração: se dobramos a força, dobramos a aceleração; se triplicamos a força, triplicamos a aceleração; e assim por diante. Com a massa é diferente: se dobramos a massa, dividimos a aceleração por dois, se triplicamos a massa, dividimos a aceleração por três. Isto nos diz que a massa e a aceleração são inversamente proporcionais:

$$F \propto a; m \propto \frac{1}{a} \rightarrow F = ma$$

Temos, então, a estrutura funcional da segunda lei de Newton. Lembremos naturalmente que a força e a aceleração são grandezas vetoriais, e a massa é escalar.

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

Nesta equação, estamos assumindo que apenas uma força atua sobre o corpo. Em um sistema real, várias forças atuam simultaneamente e a sua somatória vetorial é que define a resposta do corpo. Desse modo, podemos enunciar a segunda lei de Newton:

“A aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força resultante que atua sobre ele e inversamente proporcional à sua massa. A direção da aceleração é a mesma da força resultante”.

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m}$$

É importante aqui estabelecer uma distinção que é corriqueiramente ignorada: massa e peso não são a mesma coisa! Você nunca vai à farmácia para se “pesar”. Você vai até lá para verificar se aquela feijoada aumentou a sua inércia. Sim, a sua massa é a sua inércia. É a sua resistência à uma força aplicada. Seria muito mais fácil carregá-lo no colo antes da feijoada, pois sua inércia aumentou muito depois dela. Então, simplificando, vamos à farmácia para medir a nossa massa. O peso é outra coisa completamente diferente. Se nós estivéssemos em um universo vazio, o nosso peso seria igual a zero. Se nós estivéssemos na Lua, o nosso peso seria muito menor que o nosso peso na Terra. Mas a massa seria a mesma em todos estes lugares. O peso depende de uma força! E esta força é a força gravitacional que nos atrai para este planeta. A força peso corresponde à massa do corpo multiplicado pela aceleração da gravidade, algo em torno de  $10 m/s^2$ .



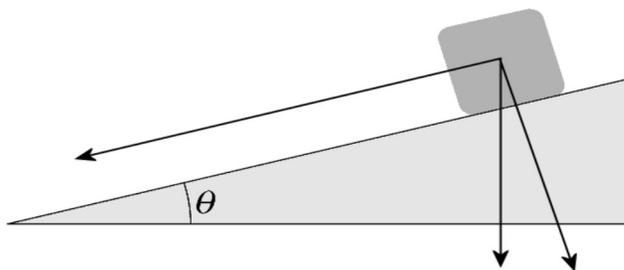
## ATIVIDADES

I. Um ônibus de cerca de 3500 kg de massa é acelerado de 0 a 30 m/s em 10 segundos. Qual é o valor desta aceleração e qual é a força necessária para alcançá-la?

II. Uma bola com massa igual a 3kg sofre uma aceleração dada por:

$\vec{a} = \frac{(2,00\hat{i} + 5,00\hat{j})m}{s^2}$  Determine a força resultante sobre esta bola, assim como a magnitude dela.

Considere a figura abaixo:



O corpo mostrado está apoiado em um plano inclinado ( $\theta=30^\circ$ ). A altura do plano é de 20 metros, e a massa do corpo é de 35 kg. Levando em consideração que apenas a componente do peso, paralela ao plano inclinado, contribui para a sua aceleração, determine a velocidade com que o corpo chega ao final do plano. Qual é o valor da força resultante neste bloco?

Um elétron tem massa de repouso igual a  $9,11 \times 10^{-31}$  kg. Partindo de uma velocidade inicial de  $3,00 \times 10^5$  m/s, tem sua velocidade aumentada para  $7,00 \times 10^5$  m/s em uma distância de apenas 5 cm. Assumindo que a aceleração sofrida seja constante, calcule a força necessária para provocar esta aceleração. O peso do elétron é relevante?

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

I. Para resolver esse problema, teremos que assumir que a aceleração é constante. Se este é o caso, então o seu cálculo é muito simples:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{30 - 0}{10 - 0} = 3 \frac{m}{s^2}$$

E a força aplicada é obtida com a simples aplicação da segunda lei.

$$F = ma = 3500 \times 3 = 10500 \text{ N}$$

II. Esse problema difere do primeiro apenas no que diz respeito ao caráter vetorial da aceleração. Não sabemos se a bola está em repouso e também não sabemos se ela se moverá sobre um plano. Não sabemos nem mesmo quais são as direções x e y. Na realidade, isto não importa. Vamos apenas utilizar a álgebra vetorial para resolver o problema:

$$\vec{F} = m\vec{a} = 3,00 \times (2,00\vec{i} + 5,00\vec{j}) = (6,00\vec{i} + 15,00\vec{j})N$$

E, para a sua magnitude:

$$|\vec{F}| = \sqrt{(6,00)^2 + (15,00)^2} = 16,16 N$$

III. Este problema já apresenta uma pequena complexidade, mas apenas em sua formulação. Poderíamos resolvê-lo vetorialmente ou somente através das componentes. Vamos trabalhar com as componentes. Primeiramente, notemos que a aceleração da gravidade faz um ângulo teta com uma linha perpendicular à face do plano inclinado. Sendo assim, podemos determinar facilmente qual é a componente paralela à face:

$$a_p = a \sin \theta = g \sin \theta = 10 \sin 30 = 5 \frac{m}{s^2}$$

Se sabemos que o corpo parte do repouso e não tem atrito com a superfície, então podemos simplificar este problema para o caso de um movimento uniformemente variado, onde tudo se passa na superfície do plano. Usamos então a equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2a_p \Delta s.$$

onde  $\Delta s$  indica a distância percorrida. Sendo a altura do plano igual a 20 metros, temos:

$$\sin 30 = \frac{20}{\Delta s} \rightarrow \Delta s = 40m$$

Substituindo, então, na equação anterior, obtemos:

$$v = \sqrt{2 \times 5 \times 20} = 14,1 \frac{m}{s}$$

O valor da força resultante é trivial:  $F=ma=35 \times 5 = 175 N$  (que corresponde exatamente à metade do peso do corpo)

IV. Esse problema é muito interessante para a comparação da magnitude de forças totalmente desproporcionais. Vejamos a força necessária para provocar tal aceleração. Para determinar a aceleração só precisaremos utilizar a equação de Torricelli (mantendo as unidades no SI):

$$v^2 = v_0^2 + 2a \Delta s \rightarrow (7,00 \times 10^5)^2 = (3,00 \times 10^5)^2 + 2a \times 0,05$$

$$a = 4000000000000 \frac{m}{s^2}$$

Quatro trilhões de metros por segundo ao quadrado! Isto é uma aceleração estupenda, mas qual é a força necessária para consegui-la?

$$F = ma = 9,11 \times 10^{-31} \times 4000000000000 = 0,0000000000000000003611 \\ = 3,611 \times 10^{-18} \text{ N}$$

Podemos ver que a força necessária é muito pequena. Mas, pequena em relação a quê? Vamos compará-la com seu peso:

$$P = mg = 9,11 \times 10^{-31} \times 10 = 9,11 \times 10^{-31} \text{ N}$$

Este último resultado nos informou que a força necessária para acelerar o elétron é 12 ordens de magnitude maior que o peso do elétron. Podemos, portanto, ignorar totalmente a força gravitacional neste cálculo.

## CONCLUSÃO

O estudo das causas das alterações do estado de movimento dos corpos pertence à dinâmica. A primeira lei de Newton pode ser utilizada para definir a massa de um objeto. Enquanto o senso comum nos indica que massa é o mesmo que quantidade de matéria, a abordagem newtoniana nos fornece uma definição muito mais precisa e elegante para a massa: é a quantidade de oposição imposta a uma força externa. A segunda lei de Newton nos permitiu relacionar a dinâmica com a cinemática quando relacionou a força aplicada a um corpo com a aceleração resultante sobre ele, mediada pela inércia do mesmo. Através destas duas leis, é possível descrever o movimento de qualquer objeto se soubermos o seu estado de movimento original e as forças aplicadas sobre o mesmo. Naturalmente, esta descrição não é simples na maioria dos sistemas reais, mas, para pequenos modelos, é possível a sua solução.



## RESUMO

Nesta aula estudamos a primeira e segunda Lei de Newton. A massa é descrita como inércia de um corpo, e a relação entre uma força aplicada sobre um corpo e a respectiva aceleração podem ser equacionadas utilizando a massa como elemento mediador. Fazemos um breve histórico das idéias de força através dos tempos e oferecemos alguns problemas resolvidos para a fixação do conteúdo.



### PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, estudaremos a terceira e última lei de Newton. O conceito de ação e reação será abordado em profundidade propiciando ferramentas para o estudo posterior da estática dos corpos.

### REFERÊNCIAS

GIANCOLI, Douglas C. **Physics for Scientists and Engineers**. 3ed. New Jersey: Editora Prentice Hall, 2000.

YOUNG, Hugh D. & FREEDMAN, Roger A. **Física I- Mecânica**. 10ed. São Paulo: Addison Wesley, 2003. Tradução: Adir Moysés Luiz.

KELLER, Frederick J.; GETTYS, Edward & SKOVE, Malcolm J. Física. São Paulo: Makron Books, 1997. Trad. Alfredo Alves de Farias. Vol. 1.

RESNOCK, Robert; HALLIDAY, David & KRANE, Kenneth S. Física 1. 5ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003. Trad. Pedro M. C. L. Pacheco, Marcelo A. Savi, Leydervan S. Xavier, Fernando R. Silva.