

Mecânica clássica

Jaime Villate

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Portugal

2 de dezembro de 2021

Conteúdo

1	Leis de Newton	4
1.1	Introdução	4
1.2	Lei da inércia	4
1.3	Força e aceleração	5
1.4	Lei de ação e reação	6
2	Forças	8
2.1	Peso	8
2.2	Reação normal e força de atrito	8
2.2.1	Atrito estático	9
2.2.2	Atrito cinético	9

Lista de Figuras

1.1	Cavalo a arrastar um bloco.	6
2.1	Reação normal e força de atrito	9

Lista de Tabelas

1.1 Símbolos	4
--------------------	---

Capítulo 1

Leis de Newton

1.1 Introdução

As três leis de Newton são a base da mecânica clássica, que permite estudar desde o movimento dos objetos à nossa volta, até o movimento dos planetas, estrelas e outros objetos distantes. As 3 leis foram enunciadas de forma clara numa única página do livro escrito por Newton em 1687 [1].

1.2 Lei da inércia

A primeira lei de Newton, denominada lei da inércia, foi enunciada por Newton no seu livro assim:

LEI I.

“Todo corpo mantém o seu estado de repouso ou de movimento uniforme segundo uma linha reta, se não for compelido a mudar o seu estado por forças nele impressas.

Os projéteis continuam no seu movimento, a menos que sejam retardados pela resistência do ar ou impelidos para baixo pela força da gravidade. Um pião, cujas partes, pela sua coesão, são continuamente desviadas dos seus movimentos retilíneos, não cessa de rodar se não for retardado pelo ar. Os corpos maiores — planetas e cometas — encontrando menos resistência nos

m	Massa.
\vec{v}	Velocidade.
\vec{p}	Quantidade de movimento.
\vec{F}	Força.

Tabela 1.1: Símbolos usados para as grandezas físicas.

espaços livres, continuam os seus movimentos, retilíneos ou circulares, por tempo muito maior.”

1.3 Força e aceleração

A segunda lei de Newton pode ser considerada a definição do vetor associado a uma força, medido em função do efeito que produz sobre os corpos em que atua. O texto original do livro de Newton é:

LEI II.

“A mudança na quantidade de movimento é proporcional à força motora impressa e faz-se na direção da linha reta segundo a qual a força motora é aplicada.

Se uma força gera uma quantidade de movimento, uma força dupla gerará uma quantidade de movimento dupla, uma força tripla gerará uma quantidade de movimento tripla, quer a força seja impressa de uma vez e imediatamente, quer seja impressa gradual e sucessivamente. E se o corpo já então se movia, a nova quantidade de movimento (sempre dirigida na direção da força atuante) é adicionada ou subtraída à quantidade de movimento inicial, conforme sejam concordantes ou opostas uma da outra; ou juntas obliquamente de forma a produzir uma nova quantidade de movimento composta pela determinação das duas.”

Uma das oito definições que antecedem o enunciado das três leis no livro de Newton é a definição de **quantidade de movimento**, que é o produto da massa e a velocidade de um corpo.¹ A explicação a seguir à segunda lei, sobre como somar a quantidade de movimento devida a uma força, com a quantidade de movimento que o objeto já tinha, corresponde à nossa definição atual de adição de vetores. Como tal, na notação usada atualmente a quantidade de movimento definida por Newton é um vetor \vec{p} , igual ao produto da massa do objeto vezes a sua velocidade²

$$\vec{p} = m \vec{v} \quad (1.1)$$

A “mudança da quantidade de movimento”, referida na segunda lei, é a quantidade de movimento final, \vec{p}_2 , menos a quantidade de movimento inicial, \vec{p}_1 e, como é dito no enunciado da lei, essa mudança de quantidade de movimento é um vetor com a mesma direção e sentido da força que a produz. A frase “quer a força seja impressa de uma vez e imediatamente, quer seja impressa gradual e sucessivamente” significa que a mudança na quantidade de movimento é igual ao integral da força durante o intervalo de tempo em que atua. Como tal, a expressão matemática da segunda lei de Newton é:

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \quad (1.2)$$

¹A quantidade de movimento também costuma chamar-se momento linear.

²Usaremos setas por cima das variáveis que representam vetores.

A força \vec{F} na equação 1.2 deverá ser interpretada como a força resultante que atua sobre o objeto, ou seja, a **soma vetorial** de todas as forças aplicadas sobre o objeto

O integral da força resultante, no lado esquerdo da equação 1.2, dá como resultado um vetor \vec{I} chamado **impulso**. Como tal, se uma força atua durante um intervalo de tempo $[t_1, t_2]$ sobre um corpo com quantidade de movimento inicial \vec{p}_1 , a sua quantidade de movimento no instante t_2 será $\vec{p}_2 = \vec{p}_1 + \vec{I}$.

A equação 1.2 pode ser escrita de forma diferencial, ou seja,

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (1.3)$$

E quando a massa do corpo permanece constante, substituindo \vec{p} por $m\vec{v}$ conduz à seguinte equação

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1.4)$$

onde \vec{a} é a aceleração do corpo, igual à derivada da sua velocidade em ordem ao tempo. Esta é a forma mais habitual de escrever a segunda lei de Newton.

1.4 Lei de ação e reação

A terceira lei, conhecida como **lei de ação e reação**, é:

LEI III.

“A toda a ação opõe sempre uma igual reação. Isto é, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e opostas.”

Aquilo que puxa ou comprime outra coisa é puxado ou comprimido da mesma maneira por essa coisa. Se premir uma pedra com um dedo, o dedo

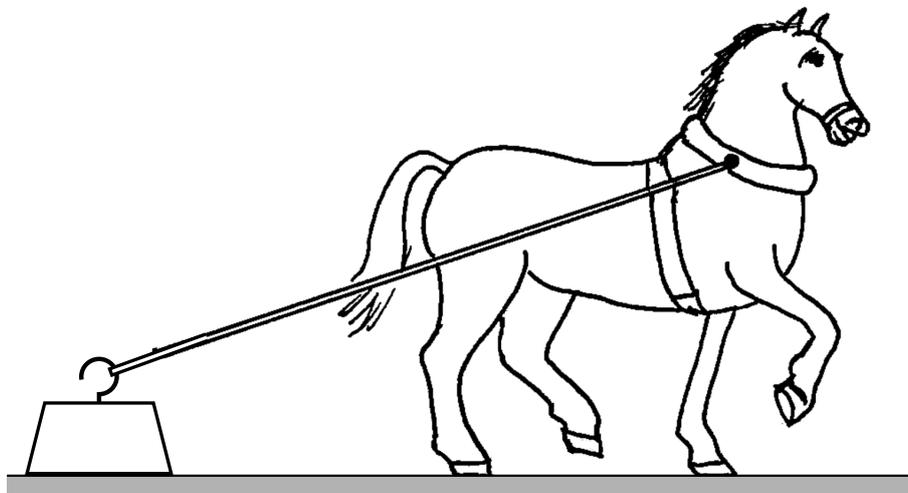


Figura 1.1: Cavalo a arrastar um bloco.

é igualmente premido pela pedra. Se um cavalo puxar uma pedra por meio de uma corda, o cavalo será puxado para trás igualmente em direção à pedra. Pois a corda esticada tanto puxa o cavalo para a pedra como puxa a pedra para o cavalo, tanto dificulta a progressão do cavalo como favorece a progressão da pedra. Se um corpo bater noutro e pela sua força lhe mudar a quantidade de movimento, sofrerá igual mudança na sua quantidade de movimento, em sentido oposto. As mudanças feitas por estas ações são iguais, não nas velocidades, mas nas quantidades de movimento dos corpos. Isto, suposto que os corpos não são retidos por outros impedimentos. Portanto, se as quantidades de movimento são mudadas de igual, as mudanças de velocidades em sentido contrário são inversamente proporcionais às massas dos corpos.”

No exemplo dado por Newton, em que um cavalo arrasta um bloco pesado por meio de uma corda (figura 1.1). O cavalo exerce uma força para a direita sobre o bloco, através da corda, e o bloco exerce uma força igual e oposta sobre o cavalo, para a esquerda. opostos.

Capítulo 2

Forças

2.1 Peso

No vácuo todos os objetos em queda livre são acelerados com a **aceleração da gravidade**, que na superfície terrestre tem um valor g constante [2].

Como tal, de acordo com a segunda lei de Newton o peso de qualquer objeto (força gravítica exercida pela Terra) é diretamente proporcional à sua massa:

$$\vec{P} = m \vec{g} \quad (2.1)$$

em que \vec{g} é um vetor constante na direção vertical, com sentido de cima para baixo e módulo igual à aceleração da gravidade, g , que é aproximadamente igual a 9.8 m/s^2 .

2.2 Reação normal e força de atrito

A força de contacto entre as superfícies de dois objetos podem apontar em qualquer direção, mas o sentido é sempre no sentido em que as duas superfícies tendem a se afastar. É habitual separar essas forças de contacto em duas componentes, uma componente perpendicular às superfícies em contacto, chamada **reação normal** e outra componente tangente às superfícies, denominada **força de atrito**.

A força de contacto entre superfícies é realmente uma força distribuída em vários pontos da superfície. A resultante de todas essas forças será representada num ponto da superfície, separando as componentes normal e tangencial (figura 2.1). A reação normal, R_n terá sempre o sentido que faz separar os dois corpos em contacto. A força de atrito, \vec{F}_a , pode ter qualquer um dos dois sentidos na direção tangencial.

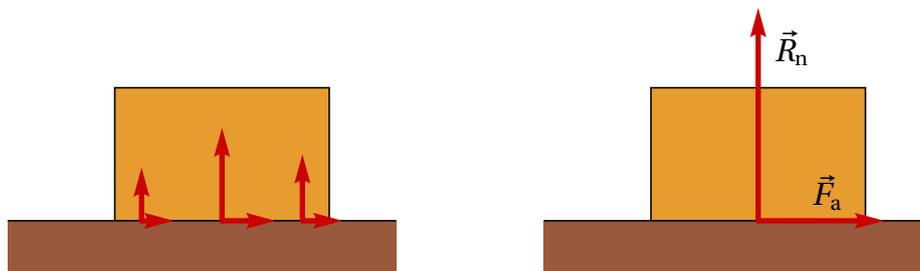


Figura 2.1: Reação normal R_n e força de atrito \vec{F}_a sobre um bloco na superfície de uma mesa.

2.2.1 Atrito estático

Quando não existe movimento relativo entre as duas superfícies em contacto, a força de atrito designa-se de atrito estático. A força de atrito estático pode ser nula, ou pode estar orientada em qualquer dos dois sentidos na direção tangente às superfícies em contacto.

No exemplo do cavalo e o bloco (figura 1.1 na página 6) as forças de atrito nas ferraduras do cavalo são de atrito estático e apontam no sentido em que o cavalo está a andar.

2.2.2 Atrito cinético

Quando as duas superfícies em contacto deslizam entre si, a força de atrito designa-se de atrito cinético. No exemplo do cavalo e o bloco (figura 1.1) a força de atrito que atua no bloco é atrito cinético e aponta no sentido oposto ao movimento. A força de atrito cinético é sempre oposta ao movimento e tem módulo constante, diretamente proporcional à reação normal.

O texto para este exemplo de relatório em $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ foi extraído de <https://villate.org/dinamica/index.html>.

Bibliografia

- [1] Newton, Isaac (1687). *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*. Tradução de J. R. Rodrigues, 2010, Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian.
- [2] French, Anthony P. (1971). *Newtonian Mechanics*. New York, NY, USA: W. W. Norton & Company.