MOMENTOS DE FORÇAS

a) Noção de momento.

Demonstra a experiência oficinal de cada dia que o grau de aperto de um parafuso ou de uma porca depende não só da intensidade da força que se aplica mas também da posição do ponto de aplicação dessa força e da orientação da sua linha de acção.

Suponhamos, por exemplo, que se pretende apertar o parafuso representado na fig. 17, e que para esse aperto se utiliza a chave indicada. Facilmente poderíamos verificar que para um determinado grau de aperto do parafuso há que aplicar em *A* um esforço menor do que em *B;* e que, em cada um desses pontos, o esforço será mínimo quando a força for aplicada perpendicularmente ao braço da chave e estiver situada num plano perpendicular ao eixo de rotação.

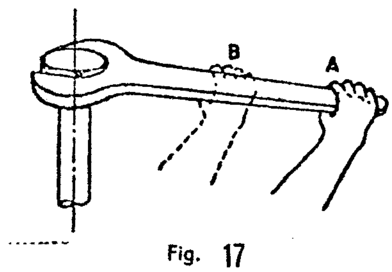


Fig. 17

Quer dizer: para além da intensidade da força aplicada, o aperto da porca depende da direcção da força e da distância a que ela se aplica.

As mesmas considerações são válidas, evidentemente, para qualquer corpo que se mova em torno de um centro ou eixo de rotação.

À grandeza que permite avaliar estes efeitos e que caracteriza, afinal, *a eficácia de uma força na produção do movimento de rotação* dá-se o nome de **momento da força.** Na prática, em ligações de responsabilidade de órgãos de máquinas, o grau de aperto dos parafusos e das porcas é definido pelo valor dos momentos das forças a aplicar. Esse valor é controlado eficazmente por chaves especiais, chamadas dinamométricas, que possuem um instrumento graduador da grandeza do momento.

b) Momento de uma força em relação a um ponto.

Desde que a um corpo móvel em torno de um dos seus pontos, como o tirante representado na fig. 18, se aplique em A uma força $\vec{F}$, o tirante rodará em torno do ponto fixo O.

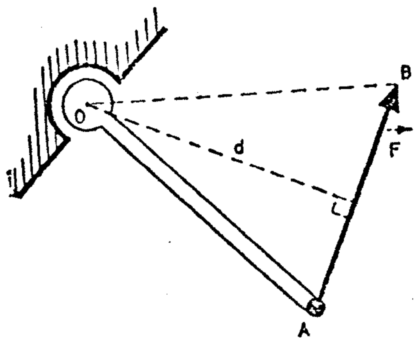


Fig. 18

O produto da intensidade da força $\vec{F}$ pela distância do ponto fixo O à sua linha de acção chama-se **momento dessa força em relação a esse ponto.**

Se $M_o(\vec{F})$ representar o momento da força $\vec{F}$ em relação ao ponto O, e d a distância da força ao mesmo ponto, poderá escrever-se:

$$\boxed{M_O(\vec{F}) = F \cdot d}$$

À distância d dá-se o nome de *braço*, e ao ponto fixo O, o de *centro do momento.*

Repare-se que o produto $F \cdot d$ é igual ao dobro da área do triângulo AOB, pelo que *o momento de uma força pode ser determinado pelo dobro da área de um triângulo* que tenha por base essa força e por altura a distância da sua linha de acção ao ponto considerado como centro do momento.

Da expressão anterior deduz-se que o momento de uma força é nulo, quando a linha de acção da força passar pelo centro do momento, ou seja, quando não houver braço ($d = 0$).

Note-se ainda que o momento de uma força em relação a um ponto se mantém constante, mesmo que se desloque o ponto de aplicação da força ao longo da sua própria linha de acção. De facto, é evidente que tal deslocação em nada altera a distância da força ao ponto e, portanto, em nada poderá alterar o valor do momento.

c) Momento de uma força em relação a um eixo.

A força está num plano perpendicular ao eixo de rotação

O valor do momento é igual ao produto da intensidade da força pela sua distância ao eixo:

$$\boxed{M_{xx'}(\vec{F}) = F \cdot d}$$

Da fig. 19 deduz-se que, se a força estiver situada num plano perpendicular ao eixo de rotação do corpo, *o valor do seu momento, em relação a esse eixo, é igual ao valor do momento em relação ao ponto de encontro O do eixo com o plano.*

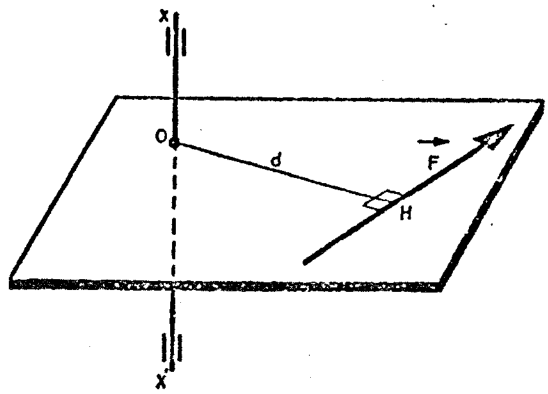


Fig. 19

Assim, se tivermos uma força $\vec{F}$, aplicada na extremidade de uma manivela e assente no plano de rotação dela (fig. 20), ter-se-á:

$$M_{XX'} (\vec{F}) = M_o (\vec{F}).$$

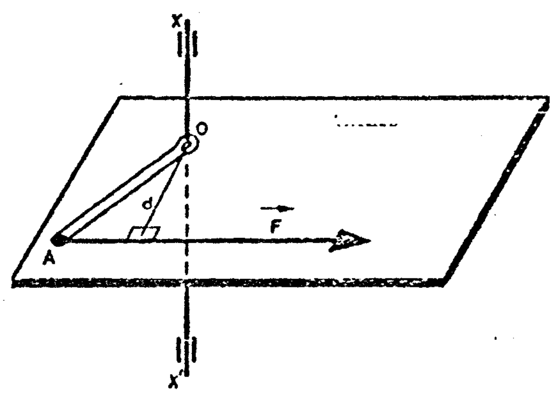


Fig. 20

A fo.ça está situada num plano oblíquo ao eixo de rotação

Neste caso, para deduzir a expressão do momento, decompõe-se a força segundo duas direcções: uma paralela ao eixo e outra perpendicular. Sejam $\vec{F_1}$ e $\vec{F_2}$ as duas forças componentes de $\vec{F}$ (fig. 21), segundo essas direcções.

A força $\vec{F_1}$ não produz qualquer efeito de rotação, sendo, por isso, nulo o momento. Então, será a componente $\vec{F_2}$ a única força que produz rotação, pelo que o momento de $\vec{F}$ em relação ao eixo é igual ao momento da sua componente $\vec{F_2}$ em relação a esse mesmo eixo, ou ao ponto O onde ele encontra o plano:

$$M_{XX'}\,(\vec{F}) = M_{XX'}\,(\vec{F_2}) = M_O\,(\vec{F_2}) = F_2 \cdot d \; .$$

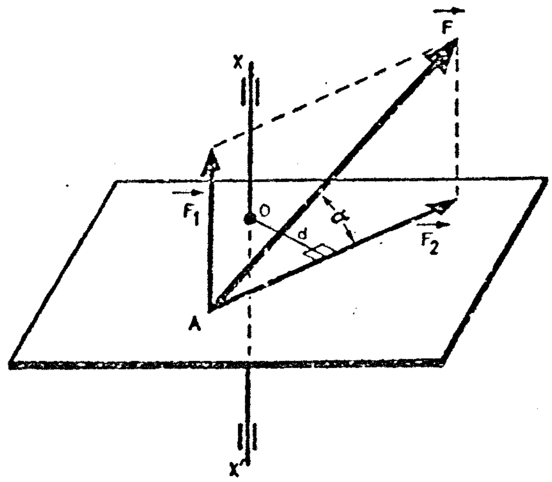


Fig. 21

Como da fig. 21 se deduz que $F_2 = F \cdot \cos \alpha$, poderá também escrever-se:

$$\boxed{M_{xx'}\,(\vec{F}) = F \cdot d \cdot \cos \alpha}$$

O momento de uma força, situada num plano oblíquo a um eixo vertical, é igual ao produto da intensidade da sua componente horizontal, pela distância a esse eixo; ou ainda igual ao produto da intensidade da força pela sua distância ao eixo e pelo co-seno do ângulo que ela faz com a sua componente horizontal.*

---

* Como é evidente, para qualquer eixo xx' não vertical a expressão anterior é ainda verdadeira.

Da expressão $M_{XX'}(\vec{F}) = F \cdot d \cdot \cos a$, deduz-se que *o momento da força $\vec{F}$ é nulo* sempre que:

— a distância d for igual a zero, o que se verifica quando a linha de acção da força passa pelo eixo de rotação XX';

— a projecção horizontal $\vec{F_2}$ (fig. 21) da força $\vec{F}$ for nula, o que acontece quando a linha de acção de $\vec{F}$ for paralela ao eixo XX', pois neste caso é $\cos \alpha = 0$, uma vez que $\alpha = 90°$.

Também se pode concluir da mesma igualdade que *o momento é máximo*, quando a componente horizontal $\vec{F_2}$ for paralela à linha de acção da força $\vec{F}$, ou seja, quando a força $\vec{F}$ for paralela ao plano. Nestas condições, é $a = 0°$, tendo o co-seno de a o seu valor máximo ($\cos a = 1$).

d) **Unidades de momento.**

Da expressão que permite calcular o valor de um momento — $M = F \cdot d$ —, facilmente se verifica que, exprimindo a intensidade de $\vec{F}$ em quilogramas e o valor de d em metros, virá para o momento a unidade *quilograma-metro* (kg.m). Para evitar a confusão desta com a unidade de trabalho *quilogrâmetro* (kgm), que mais adiante se estudará, deve indicar-se sempre em primeiro lugar a unidade de comprimento. Portanto, deverá dizer-se de preferência *metro-quilograma* (m.kg) e *não quilograma-metro* (kg.m). **Metro-quilograma** *é o momento produzido pela força de 1 kg que actua com o braço de 1 m em relação a um ponto (centro do momento).*

Esta unidade está relacionada com outras, da mesma espécie, pelas seguintes igualdades:

$$\begin{aligned} 1 \text{ m.kg} &= 9{,}8 \times 10^7 \text{ cm . dine} \\ &= 9{,}8 \quad \text{m . N .} \end{aligned}$$

e) **Sinal dos momentos.**

Conforme o sentido da força que aplicarmos no braço de uma chave, assim apertaremos ou desapertaremos uma porca. De igual modo, o momento de uma força pode produzir efeito de rotação, num ou noutro sentido, consoante a orientação da força. É, portanto, necessário arbitrar-se para os momentos um determinado sinal (mais ou menos).

No nosso estudo, convencionaremos que um **momento é positivo** quando a força originar efeito de rotação no sentido dos ponteiros de um relógio; **negativo**, no caso contrário. Assim, na fig. 22 os momentos das forças $\vec{F_1}$ e $\vec{F_3}$, em relação ao ponto O, são *positivos*, enquanto os momentos das forças $\vec{F_2}$ e $\vec{F_4}$, em relação ao mesmo ponto, são negativos.

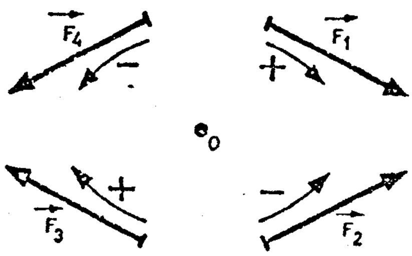


Fig. 22

f) **Momento resultante de um sistema de forças.**

Do mesmo modo que várias forças aplicadas num ponto admitem uma resultante que produz o mesmo efeito de translação que essas forças, também os momentos de várias forças em relação a um ponto admitem um **momento resultante** com um efeito de rotação equivalente à acção de todos os momentos. Pode demonstrar-se que:

> *O momento resultante de um sistema de forças, em relação a qualquer ponto do seu plano*, é igual à soma algébrica dos momentos das forças componentes em relação ao mesmo ponto.

A força igual e oposta à resultante, a *equilibrante*, tem um momento igual em grandeza, mas de sentido contrário, pelo que, em face do anteriormente exposto, se pode dizer:

> É nula a soma algébrica dos momentos de quaisquer forças (concorrentes ou paralelas) e da sua equilibrante, em relação a qualquer ponto do seu plano.

— BINÁRIO DE FORÇAS

Já vimos, ao estudar a composição de forças paralelas de sentidos contrários, que:

> *Binário de forças* é um sistema de duas forças paralelas, iguais e de sentidos contrários.

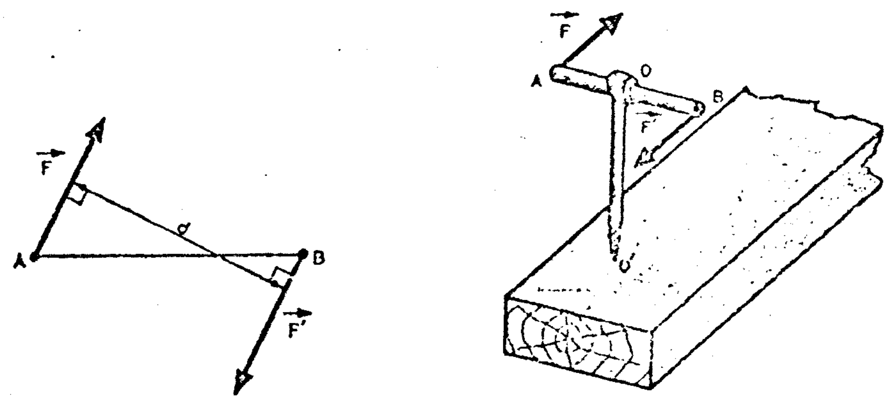


Fig. 23

Um operário, para furar uma viga de madeira com um trado (fig. 23), tem de exercer sempre nele um esforço que produza um efeito de rotação, o que consegue, normalmente, pela aplicação simultânea das forças $\vec{F}$ e $\vec{F'}$.

Estas forças que fazem rodar o trado em torno do seu eixo OO' constituem um binário, e à distância d, entre as suas linhas de acção, dá-se o nome de *braço do binário*. É fundamental não confundir o braço com o segmento $\overline{AB}$ que representa o sistema rígido ao qual está aplicado o binário.

Aplicando qualquer dos métodos gráficos estudados para a composição de forças paralelas, facilmente se verifica que a **resultante de um binário é nula.** Analiticamente, chegaríamos à mesma conclusão, pois num sistema de duas forças paralelas, de sentidos contrários, é $R = F - F'$, e como $F = F'$, será $R = O$.

a) **Momento de um binário em relação a qualquer ponto do seu plano.**

Considere-se o binário representado na fig. **24**, e seja O o ponto em relação ao qual se pretende calcular o momento.

Então, em virtude do teorema dos momentos estudado, o *momento do binário* formado pelas forças $\vec{F}$ e $\vec{F'}$ é igual à soma algébrica dos momentos das forças em relação a O. Isto é:

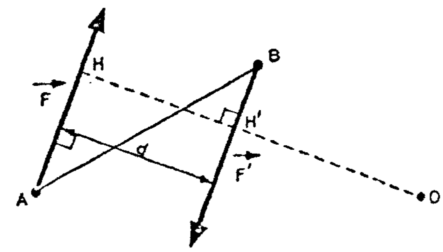


Fig. **24**

$$M_O\ (\vec{F},\ \vec{F'}) = M_O\ (\vec{F}) + M_O\ (\vec{F'}),$$

ou, atendendo à convenção de sinais estabelecida para os momentos (pág. 198):

$$M_O\ (\vec{F},\ \vec{F'}) = F \cdot \overline{HO} - F' \cdot \overline{H'O}$$

e como $F = F'$, tem-se:

$$M_O\ (\vec{F},\ \vec{F'}) = F \cdot (\overline{HO} - \overline{H'O}) .$$

Logo:

$$\boxed{M_o (\vec{F},\ \vec{F'}) = F \cdot d}$$

O *momento de um binário*, em relação a qualquer ponto do seu plano, é igual ao produto da intensidade de uma das forças pela distância entre elas.

b) **Equivalência de binários.**

Os binários de forças dizem-se equivalentes quando produzem igual efeito de rotação sobre o mesmo corpo.

Para isso, é necessário que tenham, não só os *mesmos momentos e sentidos de rotação, mas também que estejam situados no mesmo plano, ou em planos paralelos.*

Como o momento de um binário é o produto de duas grandezas, facilmente se compreende que é possível variar os valores destas sem

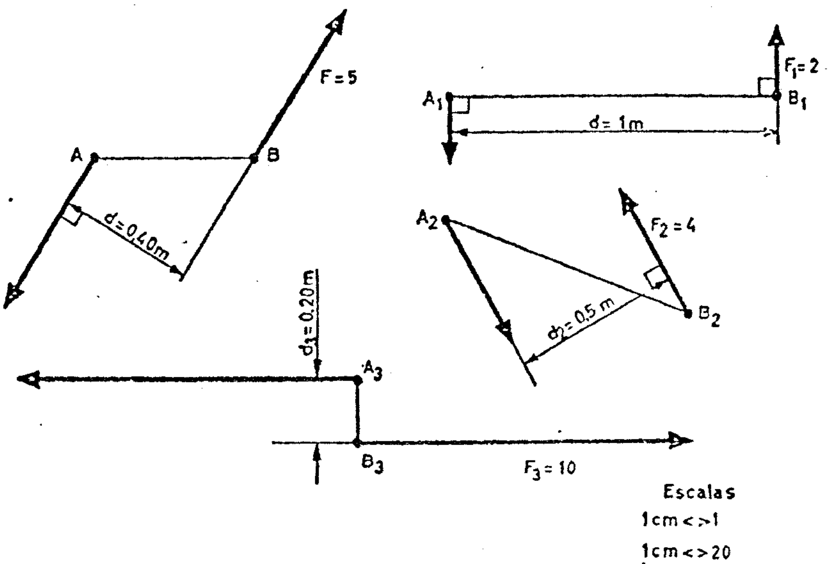


Fig. 25

alterar o efeito produzido pelo binário. Assim, os quatro binários complanares (fig. 25) têm o mesmo momento (2 m .) e o mesmo sentido, sendo por isso equivalentes.

RESUMO:

— **Binário de forças** é um sistema de duas forças paralelas, iguais e de sentidos contrários.

— **O momento de um binário** em relação a qualquer ponto do seu plano é igual ao produto da intensidade de uma das forças pela distância entre elas.

— Os binários dizem-se **equivalentes** quando, pertencendo ao mesmo plano, têm momentos iguais e do mesmo sinal.

As alavancas

Admitindo que as duas gémeas da fig. 26 têm o mesmo peso, quando sentadas à mesma distância do ponto de apoio, as duas poderão manter-se em equilíbrio ou balançar-se ora para um ora para o outro lado.

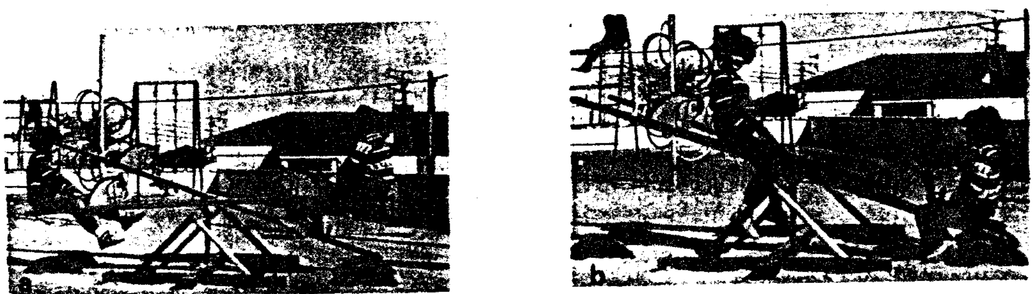


Fig. 26 As duas raparigas, com o mesmo peso, terão de fazer o mesmo esforço para se balançarem (a); (b) nesta situação seria possível as duas gémeas balançarem-se?

Observa agora a fig. 27

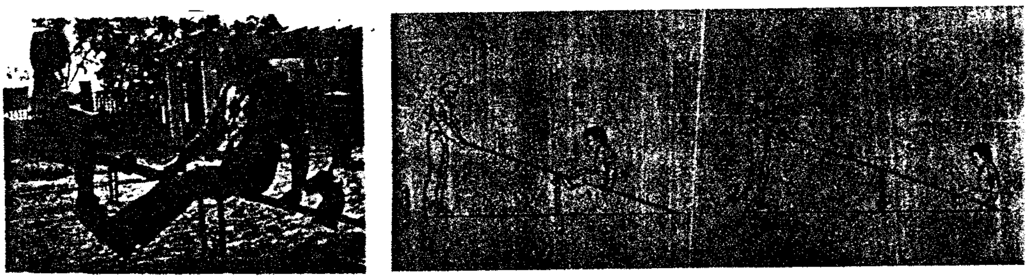


Fig. 27 O pai é mais pesado do que a filha (a). Qual te parece ser a melhor posição, (b), para o pai se sentar de modo que a pequenita o possa elevar?

A posição **2** seria aquela onde a rapariga teria de exercer uma força de menor intensidade, para elevar o pai, devendo este sentar-se perto do eixo.

Uma máquina deste tipo é uma **alavanca**.

É constituída por uma barra apoiada num ponto, chamado **fulcro**, **F**, podendo girar em torno de um eixo que passa por esse ponto.

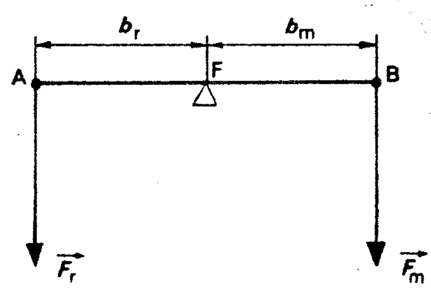


Fig. 28
Representação esquemática de uma alavanca.

Alavanca inter-resistente

No caso do quebra-nozes e do carrinho de mão, a força resistente está aplicada entre o fulcro e a força potente. São exemplos de **alavancas inter-resistentes**.

Alavanca interpotente

No caso da pinça, do braço e da pá, a força motora está aplicada entre o fulcro e a força resistente. São exemplos de **alavancas interpotentes**.

Alavanca interfixa

A tesoura, o pé-de-cabra, o baloiço e a balança são exemplos de **alavancas interfixas**.

Resumindo, existem *três* tipos de alavancas, que podemos esquematizar conforme se faz na fig. 29

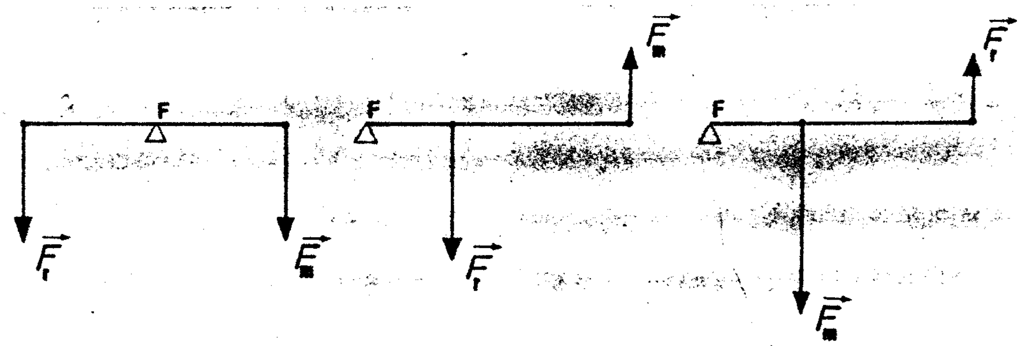


Fig. 29 Representação esquemática de uma alavanca: interfixa, inter-resistente e interpotente.

És capaz de dar outros exemplos de alavancas de cada um dos tipos indicados?
Nas alavancas representadas na fig. 31 ., a intensidade da força motora é sempre inferior à da força resistente?
No caso de isto não se verificar, parece-te que continua a haver vantagem na sua utilização? Porquê?

Numa *alavanca inter-resistente* «poupa-se» sempre força. Isto acontece porque a intensidade da força aplicada (força motora) é menor do que a da força a vencer (força resistente).

No entanto, como já referimos, «o que se ganha em força perde-se em distância», isto é, temos de aumentar o braço da alavanca correspondente à força motora, para manter constante o produto $F_m \times b_m$.

No caso de uma alavanca interpotente, «poupa-se distância, mas perde-se força».

A intensidade da força potente é igual ou superior à intensidade da força resistente, que é, geralmente, muito pequena. Para pegar num selo, facilmente, sem o danificar, utilizamos uma pinça, fig. 31 A força que exercemos é maior mas, mesmo assim, ainda é muito pequena.

Nas alavancas interfixas, caso do pé-de-cabra, por exemplo, quanto mais próximo do ponto de aplicação da força resistente estiver o fulcro, menor será a intensidade da força a aplicar.

Nos dois exemplos representados na fig. **30** (a) e (b), poderemos analisar mais detalhadamente este «jogo» entre as forças aplicadas e os braços das alavancas inter-resistente e interfixa.

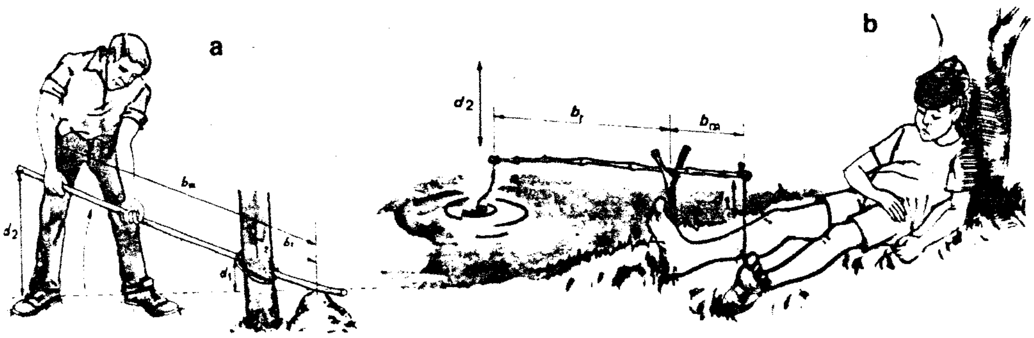


Fig. **30** (a) um homem tenta elevar um poste enterrado na terra; (b) um rapaz «pesca».

Ilustremos com um exemplo.

No caso da fig. **30** (a), se $b_r = 20$ cm, $b_m = 2{,}0$ m e o poste pesar 100 kgf, qual seria a intensidade da força que o homem teria de fazer?

Sabemos que

$$F_m \times b_m = F_r \times b_r$$

$$F_m \times 2{,}0 \text{ m} = 100 \text{ kgf} \times 0{,}20 \text{ m}$$

$$F_m = \frac{0{,}20 \text{ m} \times 100 \text{ kgf}}{2{,}0 \text{ m}}$$

$$F_m = 10 \text{ kgf}$$

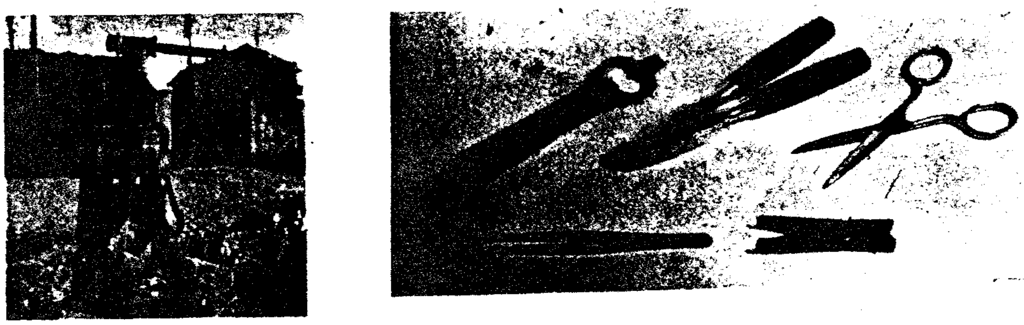
No caso da fig. **30** (b), se $b_m = 20$ cm, $b_r = 2{,}0$ m e o peixe pesar 1,0 kgf, qual a intensidade da força exercida no pé do rapaz quando o peixe der um esticão no fio?

$$F_r \times b_r = F_m \times b_m$$

$$1{,}0 \text{ kgf} \times 2{,}0 \text{ m} = F_m \times 0{,}20 \text{ m}$$

$$F_m = 10 \text{ kgf}$$

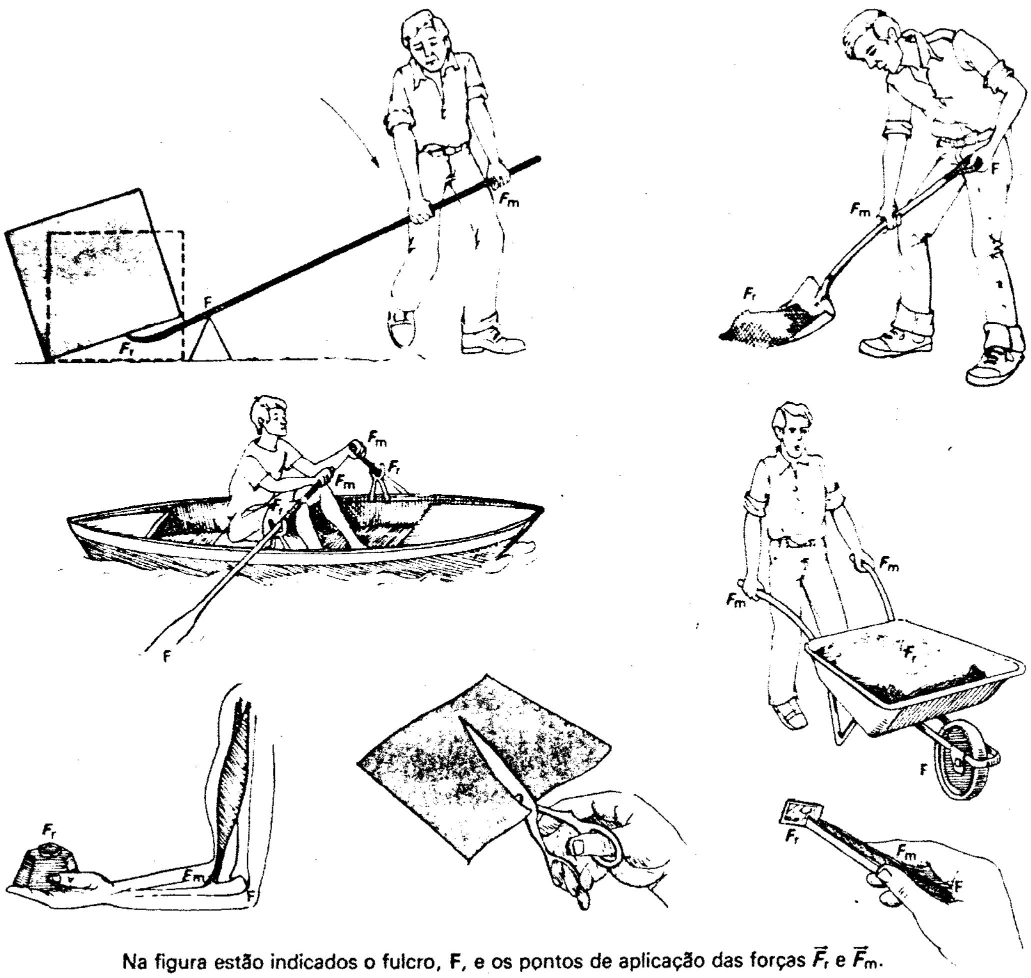
Não há dúvida de que ele acordaria com certeza!



Aparelhos simples de uso vulgarizado cujo funcionamento é o de uma alavanca.

Encontras algumas diferenças na posição relativa dos pontos de aplicação das forças motora e resistente em relação ao fulcro?

Vejamos alguns exemplos, fig. **31**



Na figura estão indicados o fulcro, **F**, e os pontos de aplicação das forças $\vec{F}_r$ e $\vec{F}_m$.

As roldanas

Outro tipo de máquinas muito utilizado no dia-a-dia, são as *roldanas*

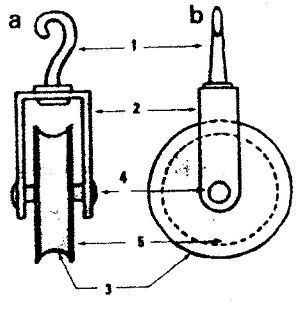
Fig. 32
Roldanas aplicadas em variadíssimas situações.

Como já referimos, a roldana era utilizada na Antiguidade e, embora não se saiba ao certo a data do seu aparecimento, há 2300 anos apareceu na Grécia, e pode ver-se em desenhos de monumentos assírios, no Médio Oriente, datados de 800 a. C.

Ainda hoje se podem encontrar, embora raramente, modelos muito primitivos deste tipo de máquinas.

Existem vários tipos de roldanas, conforme o fim a que se destinam.

Na fig. 32 algumas das roldanas utilizadas nos barcos servem para *modificar a direcção* e, às vezes, o *sentido* de actuação de forças ao longo de cabos e cordas.



Representação esquemática da constituição de uma roldana: (a) de perfil; (b) de frente.

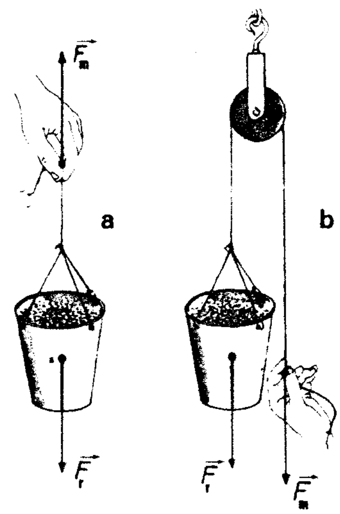
LEGENDA

1 — gancho
2 — alça
3 — gola
4 — eixo
5 — roda ou disco

Condição de equilíbrio numa roldana fixa

Poderemos então dizer que, *numa roldana fixa, a intensidade da força motora, F_m, é igual à da força resistente, F_r, independentemente da direcção e sentido de aplicação das forças.*

$$F_m = F_r\ , \qquad \text{ou seja,} \qquad \frac{F_r}{F_m} = 1$$



Nota: A força $\vec{F}_m$ exercida pela mão na extremidade livre do fio, fig. 3. 32 (**b**), é transmitida por este ao balde, fazendo-o subir.

Fig. 33
As forças $\vec{F}_m$ e $\vec{F}_r$ têm a mesma intensidade, a mesma direcção e sentidos contrários em (**a**), e o mesmo sentido em (**b**).

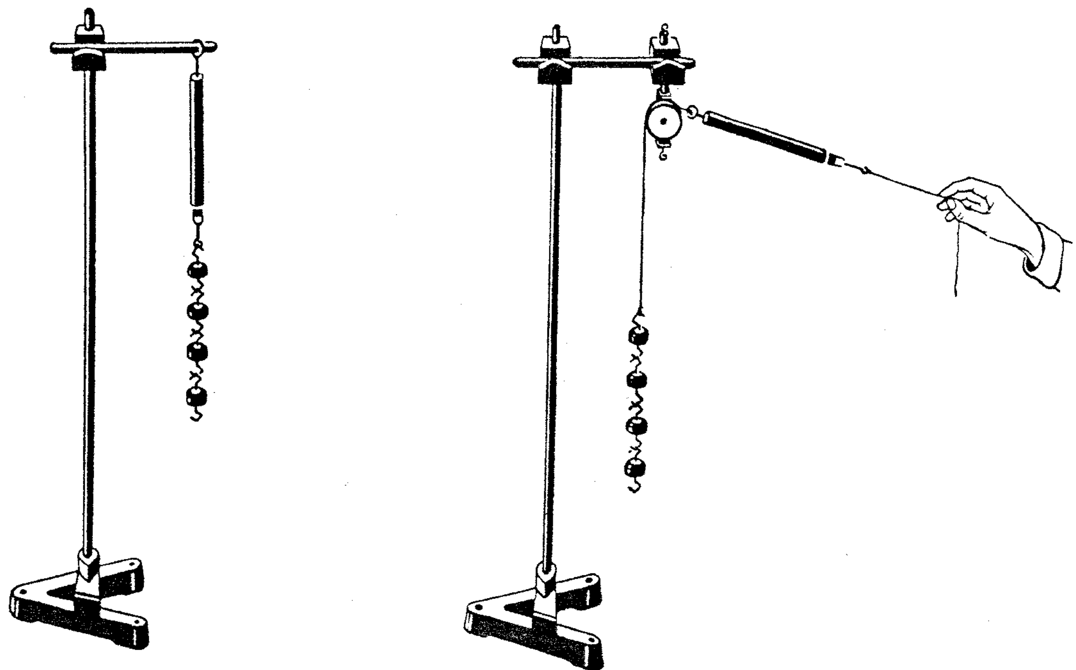
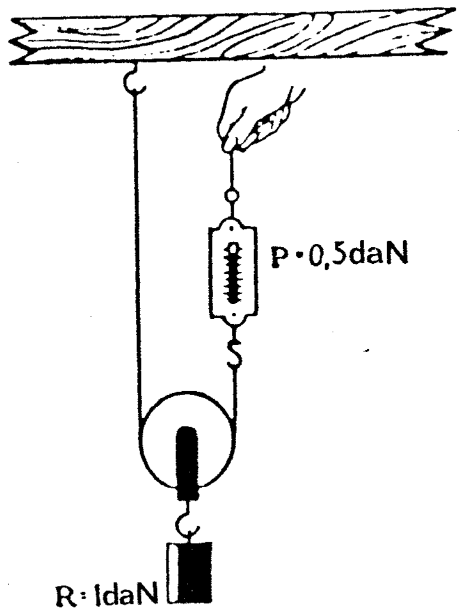


Fig. 34

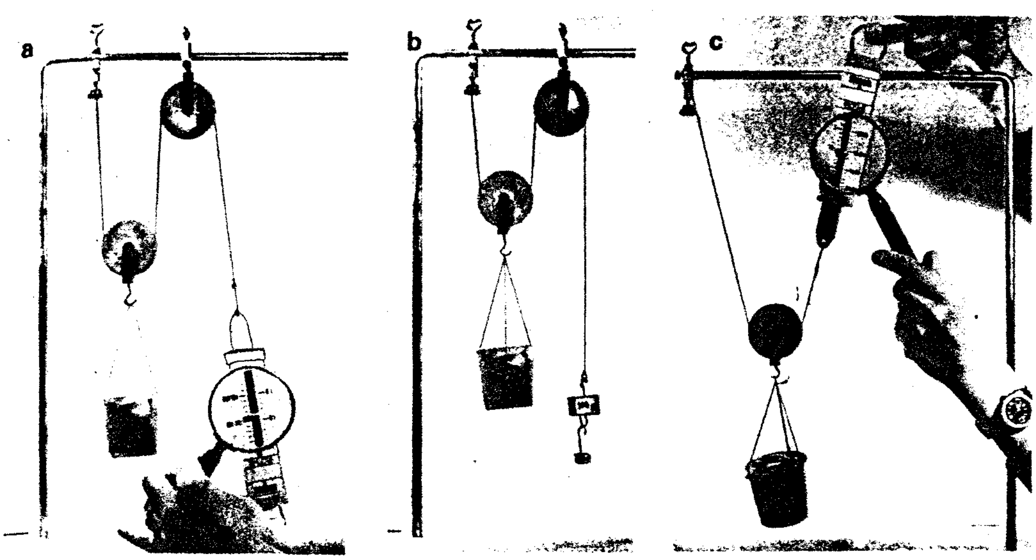
Resumindo, *uma roldana fixa não modifica a intensidade da força motora a exercer para manter um corpo em equilíbrio ou elevá-lo, mas permite modificar a direcção e o sentido dessa força.*

Condição de equilíbrio numa roldana móvel

que *a intensidade da força motora é metade da intensidade da força resistente, o peso da carga a elevar.*

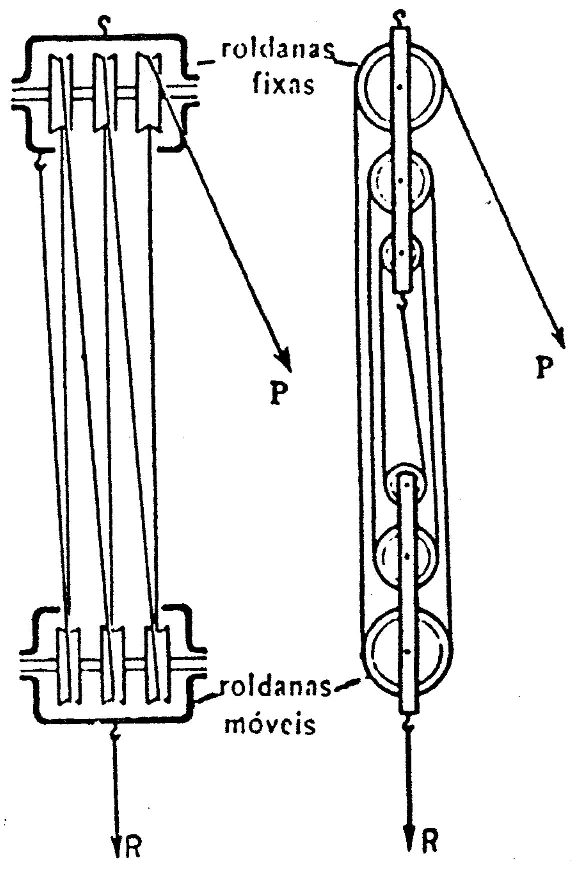


— A roldana está em equilíbrio quando a potência é igual a metade da resistência.



Na prática usa-se a montagem (a) ou (b), cuja vantagem sobre a (c) está na utilização duma roldana fixa. Esta torna mais cómoda a tarefa de puxar, embora não «poupe força».

TALHA

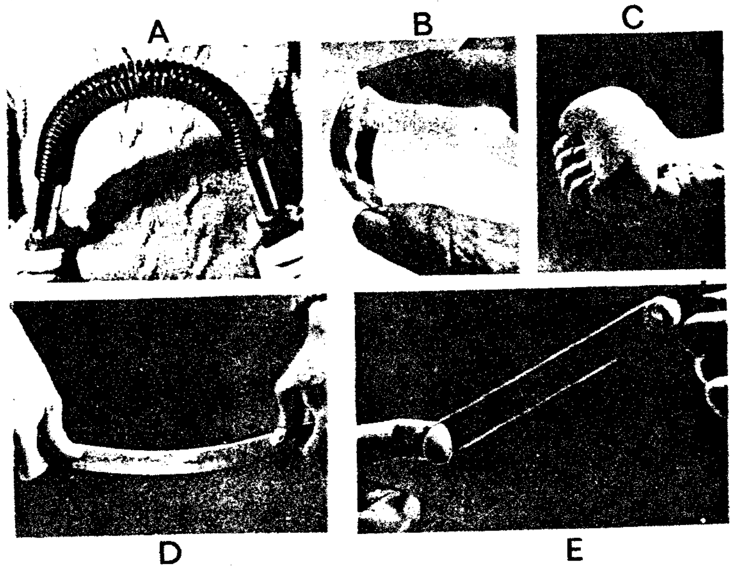


ESFORÇOS E DEFORMAÇÕES

deformação por flexão

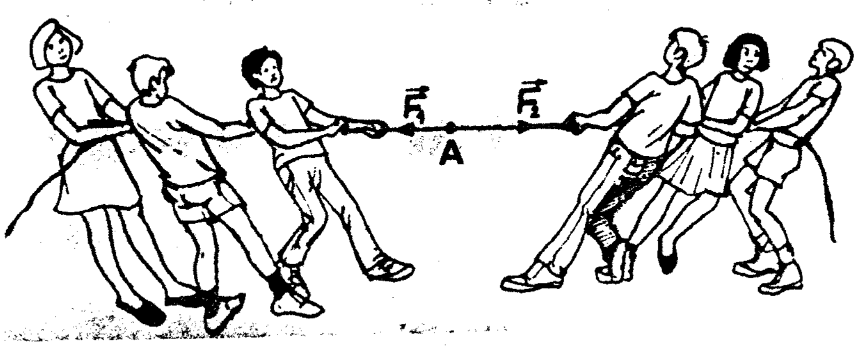
... ao saltar à vara.

DEFORMAÇÕES
A flexão
B flexão
C compressão
D flexão
E tracção



Sob a acção de forças, os corpos podem ser flectidos, comprimidos, de um modo geral, deformados.

esforço de tracção na corda

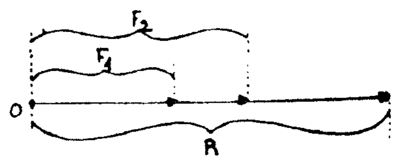


$\vec{F}_1$ representa a força exercida pelo grupo da esquerda no ponto **A**; $\vec{F}_2$ representa a força exercida pelo grupo da direita, no mesmo ponto.

ESTÁTICA

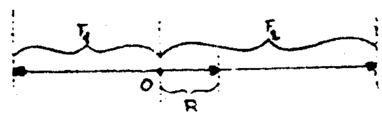
Composição de forças com o mesmo ponto de aplicação

I) **A resultante R de duas ou mais forças com o mesmo ponto de aplicação (fig.), com a mesma direcção e sentido,** *é uma força com o mesmo ponto de aplicação, a direcção e sentido das componentes, e cuja intensidade* R *é igual à soma das intensidades das componentes:*



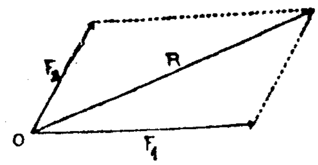
$$R = F_1 + F_2$$

II) **A resultante de duas forças com o mesmo ponto de aplicação, a mesma direcção, e sentidos contrários,** *é uma força com o mesmo ponto de aplicação e a mesma direcção das componentes, o sentido da maior e cuja intensidade* R *é igual à diferença das intensidades das componentes:*



$$R = F_2 - F_1$$

III) **A resultante de duas forças concorrentes F_1 e F_2 (fig.), é representada em intensidade, direcção e sentido pela diagonal do paralelogramo construído sobre os vectores representativos das duas forças considerados como lados.**

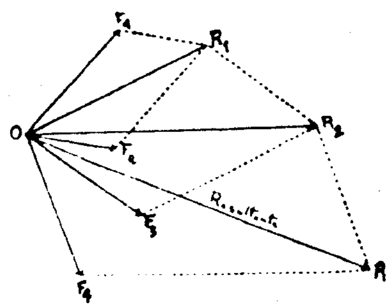


Se as direcções das duas forças forem perpendiculares, pelo teorema de Pitágoras, tem-se:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

IV) Caso de **várias forças concorrentes.** Consideremos, por ex., as forças F_1, F_2, F_3 e F_4, aplicadas no mesmo ponto O (fig.).

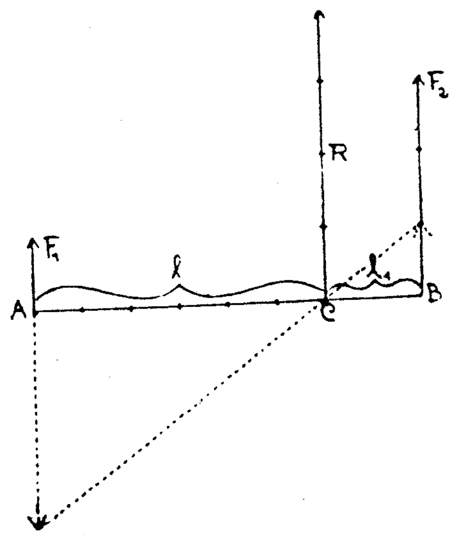
Para achar a resultante deste sistema de forças, compõem-se as duas primeiras, F_1 e F_2, substituindo-as pela resultante R_1. Compõe-se em seguida o sistema formado por esta resultante e por F_3. Procede-se da mesma maneira para todas as forças restantes. A última resultante encontrada, R, representa a *resultante do sistema dado.*



Composição de forças paralelas

Do mesmo sentido

1) **A resultante** R **de duas forças** F_1 **e** F_2, **paralelas e do mesmo sentido,** é uma força com a mesma



direcção e sentido e cuja intensidade é igual à soma das intensidades das componentes. Isto é:

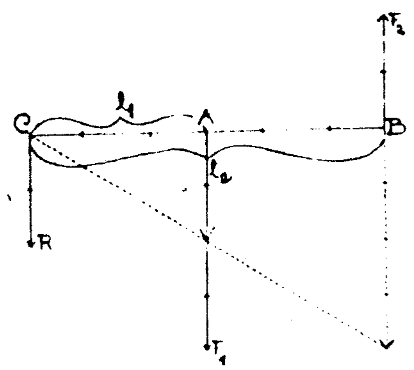
$$R = F_1 + F_2.$$

2 — As distâncias l_1 e l_2 que vão do ponto de aplicação de cada uma das componentes ao ponto de aplicação da resultante são inversamente proporcionais às intensidades das componentes. Isto é:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{ou} \quad \boxed{F_1\, l_1 = F_2\, l_2}$$

De sentidos contrários

1) **A resultante** R **de duas forças** F_1 **e** F_2, **paralelas e de sentidos contrários,** é uma força paralela



às componentes, com o sentido da maior e cuja intensidade é igual à diferença das intensidades das componentes. Isto é:

$$R = F_1 - F_2$$

2) As distâncias l_1 e l_2 que vão do ponto de aplicação de cada uma das componentes ao ponto de aplicação da resultante são inversamente proporcionais às intensidades das componentes. Isto é:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{ou} \quad F_1\, l_1 = F_2\, l_2$$

MÁQUINAS SIMPLES

A — Alavancas

1) Atendendo às posições relativas do fulcro e dos pontos de aplicação da potência e da resistência, podemos classificar as alavancas em:

Interfixas (fig. 1) — quando o fulcro C está situado entre o ponto de aplicação da potência e o da resistência;

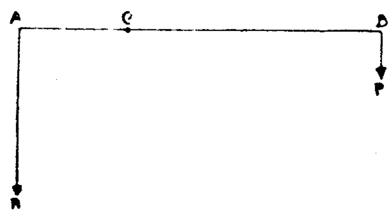


Fig. 1

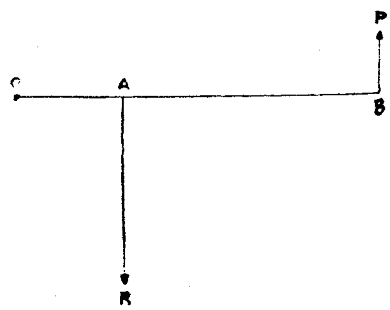
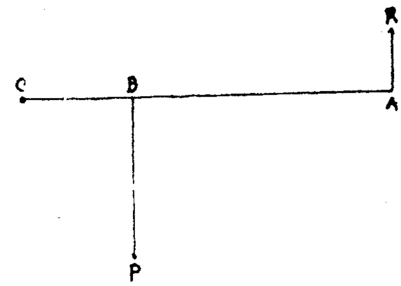


Fig. 2

Inter-resistentes (fig. 2) — quando o ponto de aplicação da resistência está situado entre o fulcro C e o ponto de aplicação da potência;

Inter-potentes (fig.   ) — se o ponto de aplicação da potência está situado entre o fulcro e o ponto de aplicação da resistência.



2) **Condições de equilíbrio nas alavancas:**

1.ª — A potência, a resistência e o fulcro devem estar situados no mesmo plano.

2.ª — *Devem ser iguais os produtos de cada força pelo respectivo braço.* Designando a intensidade da potência por P, da resistência por R, e por b_p e b_r os respectivos braços, temos para qualquer alavanca:

$$\boxed{P \times b_p = R \times b_r}$$

Esta expressão pode, também, escrever-se do modo seguinte:

$$\boxed{\frac{P}{R} = \frac{b_r}{b_p}}$$

Isto é, *para que haja equilíbrio, as intensidades da potência e da resistência devem estar entre si na razão inversa dos respectivos braços.*

ESTÁTICA

Composição de forças com o mesmo ponto de aplicação

I) **A resultante R de duas ou mais forças com o mesmo ponto de aplicação** (fig. 53), **com a mesma direcção e sentido,** *é uma força com o mesmo ponto de aplicação, a direcção e sentido das componentes, e cuja intensidade* R *é igual à soma das intensidades das componentes:*

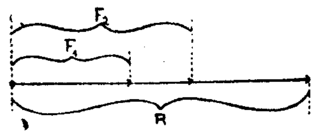


Fig. 53

[redacted]

II) **A resultante de duas forças com o mesmo ponto de aplicação, a mesma direcção, e sentidos contrários,** *é uma força com o mesmo ponto de aplicação e a mesma direcção das componentes, o sentido da maior e cuja intensidade* R *é igual à diferença das intensidades das componentes:*

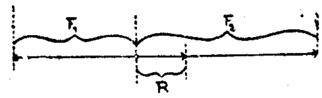


Fig. 54

[redacted]

III) **A resultante de duas forças concorrentes F_1 e F_2** (fig. 55), é representada em intensidade, direcção e sentido pela diagonal do paralelogramo construído sobre os vectores representativos das duas forças considerados como lados.

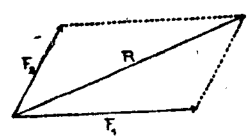


Fig. 55

Se as direcções das duas forças forem perpendiculares, pelo teorema de Pitágoras, tem-se:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

IV) Caso de **várias forças concorrentes**. Consideremos, por ex., as forças F_1, F_2, F_3 e F_4, aplicadas no mesmo ponto **O** (fig. 56).

Para achar a resultante deste sistema de forças, compõem-se as duas primeiras, F_1 e F_2, substituindo-as pela resultante R_1. Compõe-se em seguida o sistema formado por esta resultante e por F_3. Procede-se da mesma maneira para todas as forças restantes. A última resultante encontrada, R, representa a *resultante do sistema dado*.

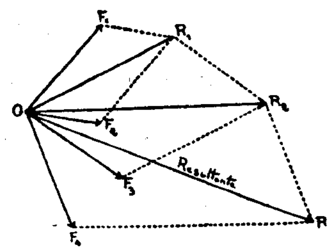


Fig. 56

— Composição de forças paralelas

A) Do mesmo sentido

1) **A resultante** R **de duas forças F_1 e F_2, paralelas e do mesmo sentido,** é uma força com a mesma

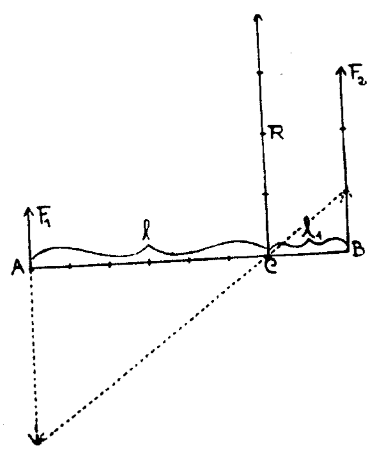


Fig. 60

direcção e sentido e cuja intensidade é igual à soma das intensidades das componentes. Isto é:

$$R = F_1 + F_2.$$

2 — As distâncias l_1 e l_2 que vão do ponto de aplicação de cada uma das componentes ao ponto de aplicação da resultante são inversamente proporcionais às intensidades das componentes. Isto é:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{ou} \quad \boxed{F_1\, l_1 = F_2\, l_2}$$

B) **De sentidos contrários**

1) **A resultante** R **de duas forças** F_1 **e** F_2, **paralelas e de sentidos contrários,** é uma força paralela

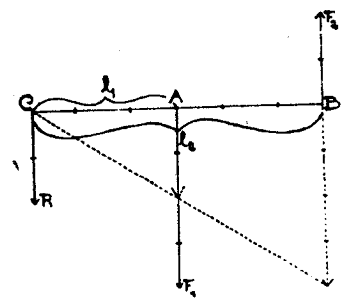


Fig. 61

às componentes, com o sentido da maior e cuja intensidade é igual à diferença das intensidades das componentes. Isto é:

$$R = F_1 - F_2$$

2) As distâncias l_1 e l_2 que vão do ponto de aplicação de cada uma das componentes ao ponto de aplicação da resultante são inversamente proporcionais às intensidades das componentes. Isto é:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{ou} \quad F_1\, l_1 = F_2\, l_2$$

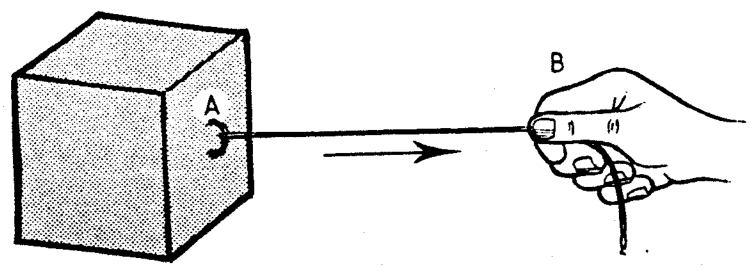
Nota: As figuras 60 e 61 representam os processos gráficos de determinação do ponto C de aplicação da resultante.

1 - FORÇAS

- ELEMENTOS DE UMA FORÇA

Uma força é qualquer causa capaz de alterar o estado de movimento dos corpos materiais ou de introduzir deformações nesses corpos

Analisemos os elementos que definem uma força. Se quisermos, por exemplo, deslocar um corpo, podemos fixar-lhe um fio e exercer uma tracção.



O ponto onde a força é aplicada ao corpo (ponto A) é o chamado **ponto de aplicação da força.**

A linha recta, em parte materializada pelo fio, é a **direcção** da força.

O sentido de deslocação do corpo (de A para B) representa o **sentido** da força. Numa direcção há, evidentemente, dois sentidos.

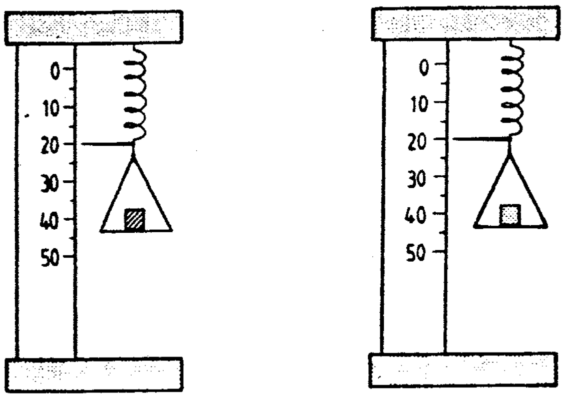
A força aplicada pode ser maior ou menor. A grandeza ou amplitude da força (que pode ser medida com o dinamómetro) designa-se por **intensidade da força.**

Resumindo, para se conhecer completamente uma força são necessários quatro elementos: **ponto de aplicação, direcção, sentido e intensidade.**

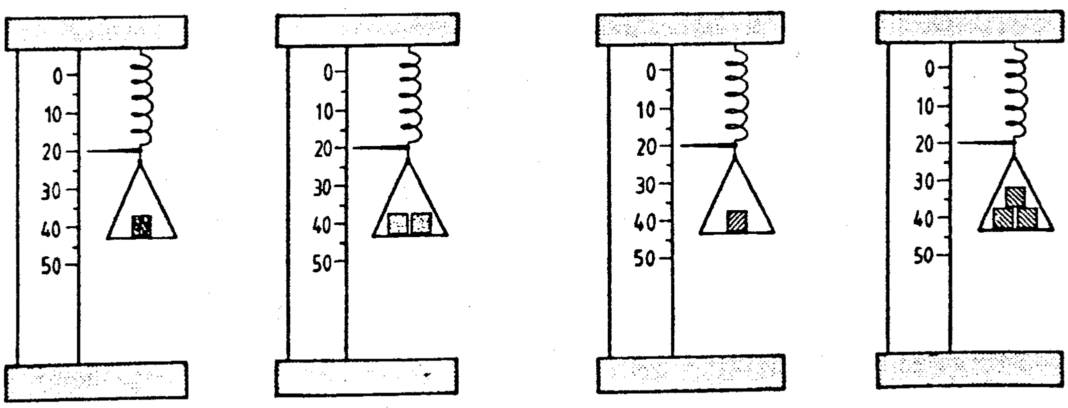
- MEDIÇAO DE FORÇAS

Vejamos a medição de forças com auxílio de corpos elásticos:

- Quando dois pesos, ou seja, duas forças quaisquer são aplicadas a uma mesma mola, produzem a mesma deformação, se têm intensidades iguais.



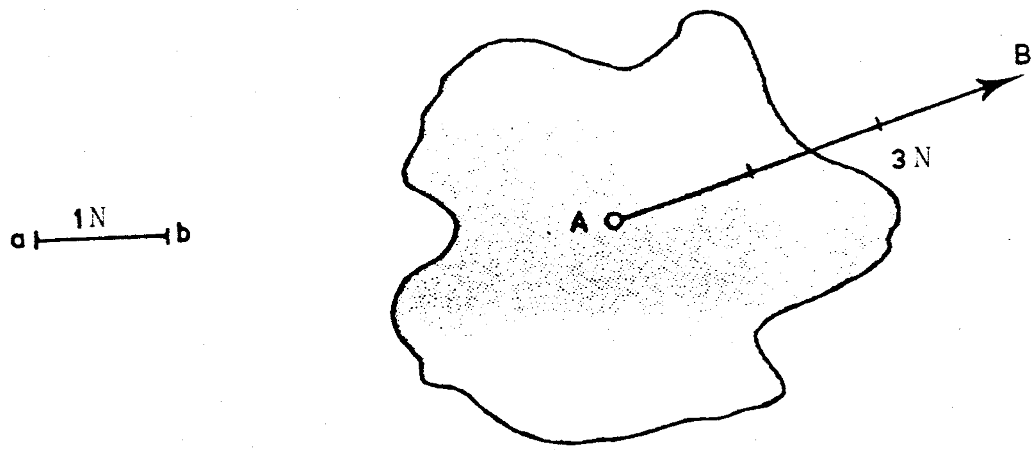
- Se uma força produz a mesma deformação que duas, três, etc. forças iguais entre si, é porque a intensidade dessa força é dupla, tripla, etc. de cada uma das outras.



- REPRESENTAÇAO VECTORIAL

A representação vectorial duma força deve representar, duma maneira simples, os seus quatro elementos.

Uma força representa-se graficamente por um **segmento de recta orientado** AB.



O seu **comprimento** AB é proporcional à **intensidade** da força. (Se o comprimento ab representa 1N a força de 3N será representada por um segmento AB = 3ab).

A sua **direcção** é a recta a que pertence o segmento AB.

O seu **sentido** é o indicado pela seta desenhada em B.

O seu **ponto de aplicação** é A.

Um tal segmento orientado é um **vector** cuja origem é A e a extremidade é B.

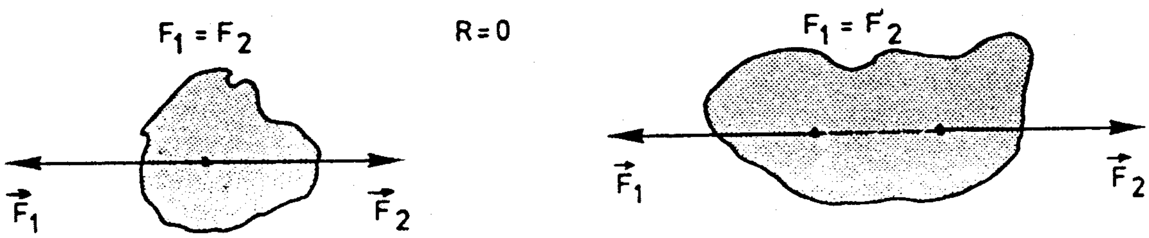
- SISTEMA DE FORÇAS PARALELAS

Um conjunto de várias forças aplicadas a um corpo designa-se **sistema de forças.** Um sistema de forças pode ser substituído por uma força única capaz de produzir o mesmo efeito mecânico. A esta força dá-se o nome de **resultante** do sistema de forças.

Analisemos a determinação da resultante do sistemas de forças, em casos simples:

Resultante de um sistema de duas forças com a mesma intensidade e a mesma direcção mas de sentidos contrários

Os pontos de aplicação podem coincidir ou ser distintos: em ambos os casos, a resultante tem um intensidade nula, R = 0.



$$R = F_2 - F_1 = 0$$

Resultante de um sistema de duas forças de intensidades diferentes, com a mesma direcção e sentidos contrários

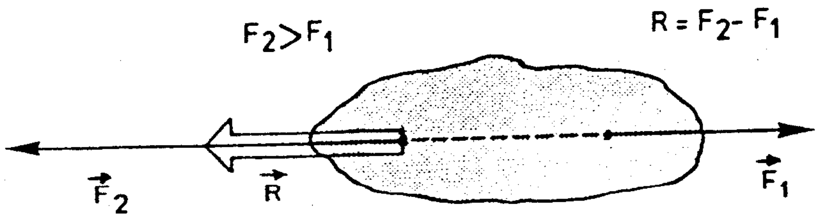
Neste caso, os elementos da resultante são os seguintes:

Direcção - a mesma das duas forças

Sentido - o sentido da força maior

Ponto de aplicação - qualquer ponto sobre a linha de acção das forças

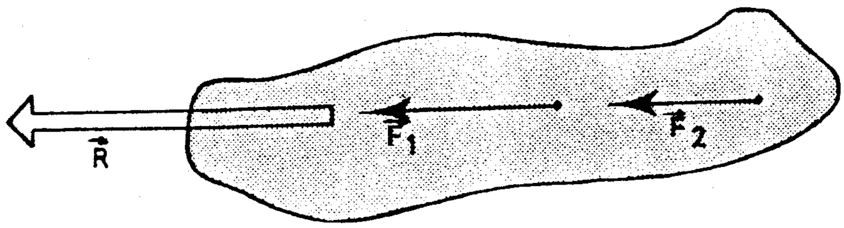
Intensidade - igual à diferença das intensidades das duas forças: $R = F_2 - F_1$.



Resultante de duas **forças com a mesma direcção e com** o mesmo sentido

A resultante tem a direcção e o sentido das forças do sistema. A sua intensidade obtem-se adicionando as intensidades das duas forças: $R = F_1 + F_2$. O ponto de aplicação pode ser qualquer ponto sobre a recta de acção.

$$R = F_1 + F_2$$



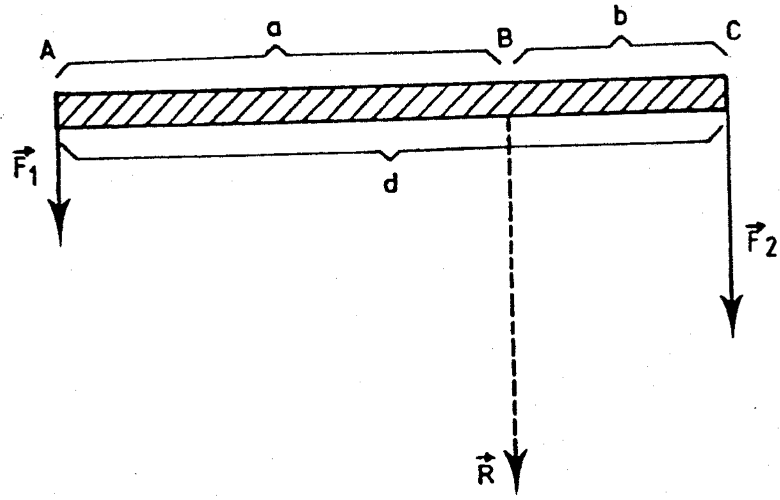
Vamos analisar agora o caso de forças paralelas, mas com **linhas de acção não coincidentes.** Admitamos que as forças se aplicam nos extremos de barras rígidas.

Resultante de duas forças paralelas e com o mesmo sentido, mas com linhas de acção não coincidentes

A intensidade da resultante é igual à soma das intensidades das duas forças componentes: $R = F_1 + F_2$.

O ponto de aplicação pode determinar-se por **processo gráfico** ou **analiticamente** (isto é, usando equações matemáticas).

Processo analítico - Numa barra rígida AC estão aplicadas nos extremos duas forças de intensidade F_1 e F_2.



- SISTEMAS DE FORÇAS CONCORRENTES

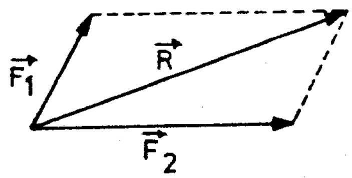
As forças aplicadas a um corpo podem não ser paralelas.

Consideremos apenas os casos simples, nos quais as forças do sistema se situam todas num mesmo plano.

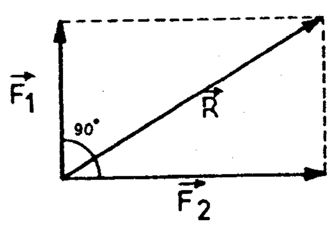
Resultante de duas forças concorrentes

Os sistemas de forças concorrentes aparecem às vezes aplicados aos órgãos mecânicos de instrumentos de medida e controlo.

Se o sistema tiver apenas duas forças F_1 e F_2 com o mesmo ponto de aplicação, o vector resultante de dois vectores concorrentes é a diagonal do paralelogramo.



No caso das forças formarem um ângulo de 90°, pode utilizar-se o teorema de Pitágoras.

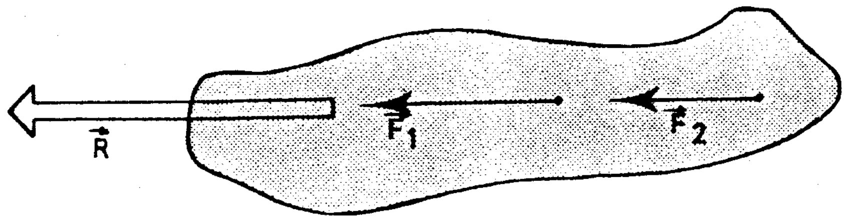


$$R^2 = F_1^2 + F_2^2$$

Resultante de duas **forças com a mesma direcção e com o mesmo sentido**

A resultante tem a direcção e o sentido das forças do sistema. A sua intensidade obtem-se adicionando as intensidades das duas forças: $R = F_1 + F_2$. O ponto de aplicação pode ser qualquer ponto sobre a recta de acção.

$$R = F_1 + F_2$$



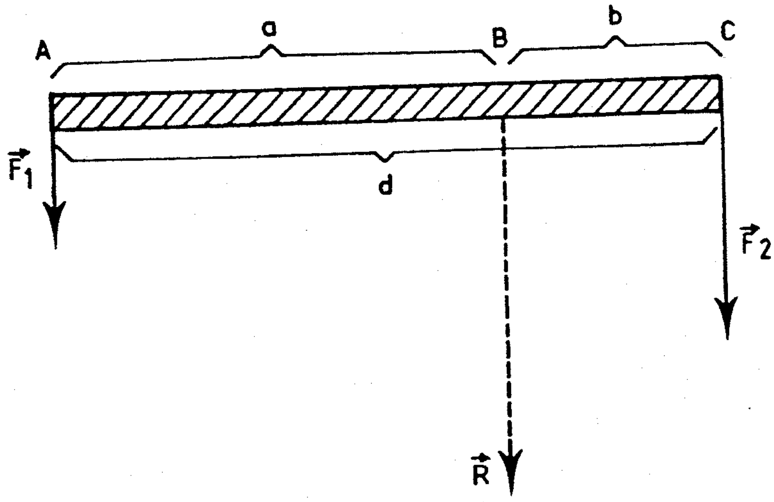
Vamos analisar agora o caso de forças paralelas, mas com **linhas de acção não coincidentes.** Admitamos que as forças se aplicam nos extremos de barras rígidas.

Resultante de duas forças paralelas e com o mesmo sentido, mas com linhas de acção não coincidentes

A intensidade da resultante é igual à soma das intensidades das duas forças componentes: $R = F_1 + F_2$.

O ponto de aplicação pode determinar-se por **processo gráfico** ou **analiticamente** (isto é, usando equações matemáticas).

Processo analítico - Numa barra rígida AC estão aplicadas nos extremos duas forças de intensidade F_1 e F_2.



Verifica-se que o ponto de aplicação da resultante. divide a barra em dois segmentos a e b. que são inversamente proporcionais às forças aplicadas.

$$\frac{a}{F_2} = \frac{b}{F_1}$$

Podemos agora aplicar uma das propriedades das proporções: a soma dos antecedentes está para a soma dos consequentes assim como qualquer antecedente está para o seu consequente.

$$\frac{a + b}{F_1 + F_2} = \frac{a}{F_2}$$

Notemos agora que $a + b$ é o comprimento da barra **d** e que $F_1 + F_2$ é a intensidade da resultante R.

$$\frac{d}{R} = \frac{a}{F_2}$$

Desta expressão pode obter-se o valor de **a**:

$$a = \frac{F_2}{R} \times d$$

Se pretendermos calcular a distância **b**:

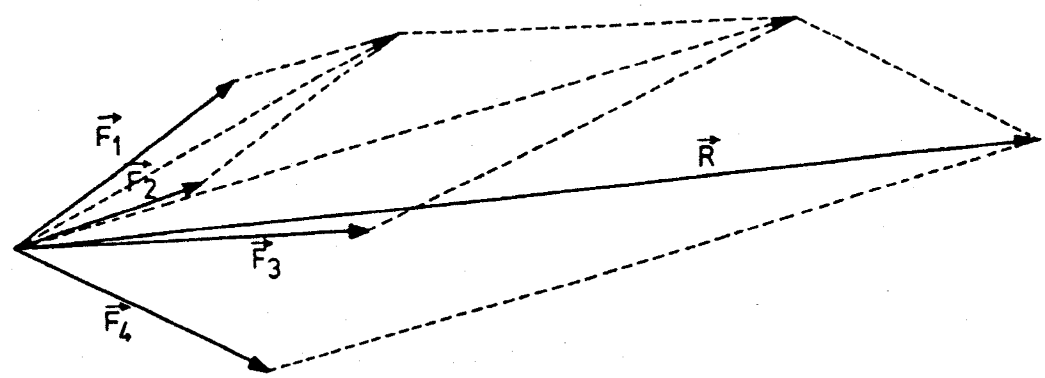
$$\frac{a + b}{F_1 + F_2} = \frac{b}{F_1}$$

$$\frac{d}{R} = \frac{b}{F_1}$$

$$b = \frac{F_1}{R} \times d$$

Deve notar-se que, como F_1 é menor que F_2, a distância **b** é menor que **a**. Assim, a resultante está aplicada entre as duas forças e mais perto da maior.

Se as forças concorrentes são mais de duas, a resultante determina-se pela regra do polígono de forças.



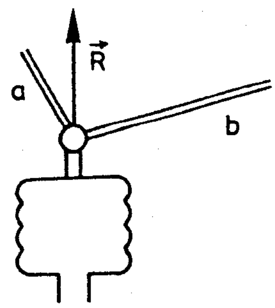
$$\vec{R} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3} + \vec{F_4}$$

- DECOMPOSIÇÃO DE UMA FORÇA SEGUNDO DUAS DIRECÇÕES

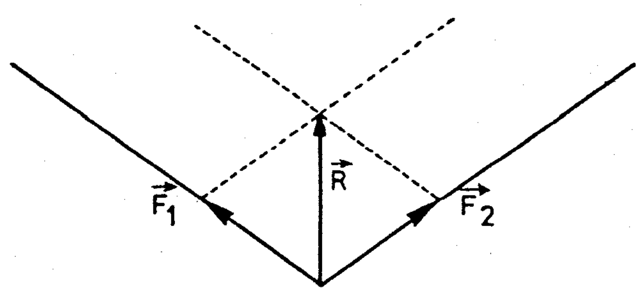
É o problema inverso da composição de forças. Conhecida a resultante de um sistema de duas forças, pretende determinar-se a intensidade dessas forças, desde que se conheçam as suas direcções.

Decomposição segundo direcções concorrentes

Na figura representa-se um fole pneumático que aplica uma força R na junção de duas alavancas. Queremos saber quais as forças F_1 e F_2 aplicadas às barras (cujo conjunto é equivalente à força R).



Para determinar graficamente as componentes da resultante, pelo extremo do vector $\vec{R}$, tiram-se paralelas às rectas **a** e **b**, obtendo-se assim extremos de $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$.



Unidades de peso

As unidades de peso são as unidades em que se exprime qualquer força, pois o *peso é uma força*.

Para além do *newton* (N), unidade do *Sistema Internacional*, temos o *quilograma força* (kgf), que, apesar de ser uma unidade de um sistema que tem vindo a cair em desuso (*Sistema Métrico* gravitatório), é ainda muito utilizada na prática.

O newton será definido·

O *quilograma-força* pode definir-se como a *força com que a massa de um quilograma é atraída para a Terra*.

Convém não confundir:

1.º — O *quilograma-força* (kgf), unidade de *força* (e, portanto, também de *peso*) do Sistema Métrico, com o *quilograma* (kg), unidade de *massa* do Sistema Internacional.

O quilograma-força (kgf) é a força com que o quilograma-padrão — fig. A — é atraído para a Terra, ou qualquer outro corpo de massa igual a 1 kg.

O quilograma (kg) é a massa do quilograma padrão (fig. A), ou de qualquer corpo de igual massa.

O *quilograma* é uma unidade cujo *valor* é *universal*, isto é, *não varia de lugar para lugar*.

Um corpo cuja massa é 1 kg, por exemplo no Equador, também tem a massa de 1 kg nos Pólos ou noutro qualquer lugar — já que não se alterou nem o número das suas partículas, nem o tipo das partículas,nem a massa atómica relativa das partículas.

Ao contrário, o **quilograma-força varia de lugar para lugar.** Trata-se da força com que é atraído para a Terra o quilograma padrão ou um corpo de massa igual. Ora, essa força depende da *massa* (1 kg), que é *invariável*, mas depende também da *intensidade do campo gravítico*, a qual *varia* quer com a latitude quer com a altitude, entre outros factores.

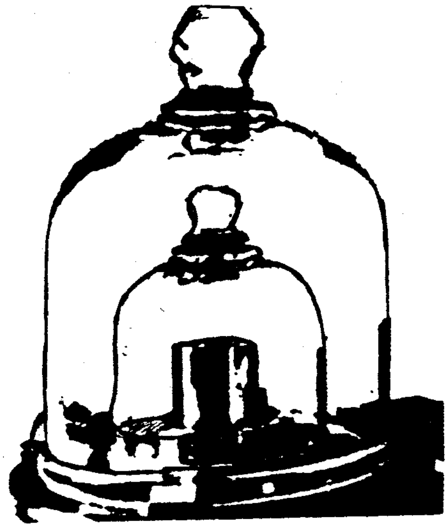


Fig. A O *quilograma-padrão internacional* é um cilindro de platina iridiada com 39 mm de diâmetro e 39 mm de altura. Está guardado no Arquivo Internacional de Pesos e Medidas, em Sèvres, perto de Paris. Existem cópias distribuídas por vários países, incluindo Portugal.

O Sistema Internacional de Unidades

Se reunirmos unidades das várias grandezas físicas, obtemos um *sistema de unidades*. Dessas unidades, umas são *fundamentais* e outras *derivadas*, definindo-se as primeiras por meio de *padrões* e as segundas a partir das *equações de definição*.

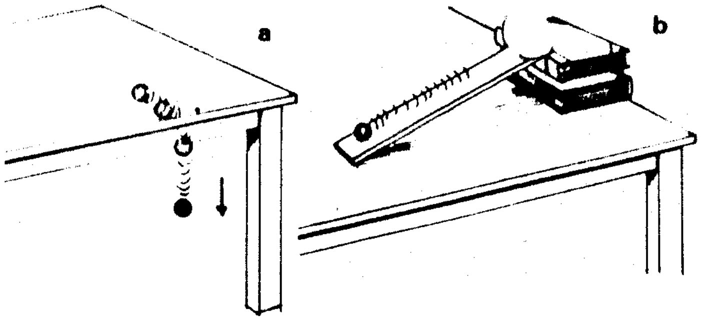
Um sistema de unidades diz-se **coerente** quando essas unidades são escolhidas de modo que:

1.º — As relações entre as várias grandezas resultam tão simples quanto possível.

2.º — As unidades derivadas estão relacionadas com as fundamentais e com outras derivadas apenas por meras operações de *multiplicação* e *divisão*, sem intervenção de factores numéricos $\neq 1$.

Um exemplo de um bom sistema coerente de unidades é o *Sistema Internacional de Unidades*, adoptado na 10.ª Conferência Internacional de Pesos e Medidas, em Paris (1954), e consagrado na Conferência seguinte.

1
ıda situação (a) como
uação (b), o berlinde
por cair.



Experimenta com berlindes iguais de vidro, de borracha e de metal.

Com a ajuda de um cronómetro anota, para cada experiência (diferentes inclinações e substâncias), o tempo que o berlinde demora a chegar a um ponto de referência sobre a mesa.
O que observas?

Porque é que os berlindes caem, tanto na situação (a) como na situação (b)?
Existirá alguma força actuando sobre eles que os faz cair?
Será o peso do ar por cima deles que os faz cair?
Qual dos dois corpos, um berlinde ou um pedacinho de papel, pensas que atingirá primeiro o solo, se os deixarmos cair da mesma altura?

ıeriência 1
ıbo de Newton

saac Newton
2 1727).

Para responderes às questões anteriores, vamos realizar uma experiência utilizando um tubo de vidro fechado numa das extremidades por meio duma torneira, de forma que se possa extrair o ar do seu interior, com o auxílio de uma máquina de fazer vácuo (máquina pneumática).
A este tubo chama-se, geralmente, tubo de Newton, em honra do físico inglês Isaac Newton.
Este tubo tem dentro três corpos diferentes: uma pena, uma moeda e uma pequena bola de papel.

Invertamos o tubo e verifiquemos como caem os corpos.

Em seguida extrai-se o ar, ligando a extremidade do tubo com a torneira a uma máquina de vazio.

Invertamos o tubo de forma a que os corpos caiam.
O que é que se nota na queda dos corpos dentro do tubo com ar e sem ar?

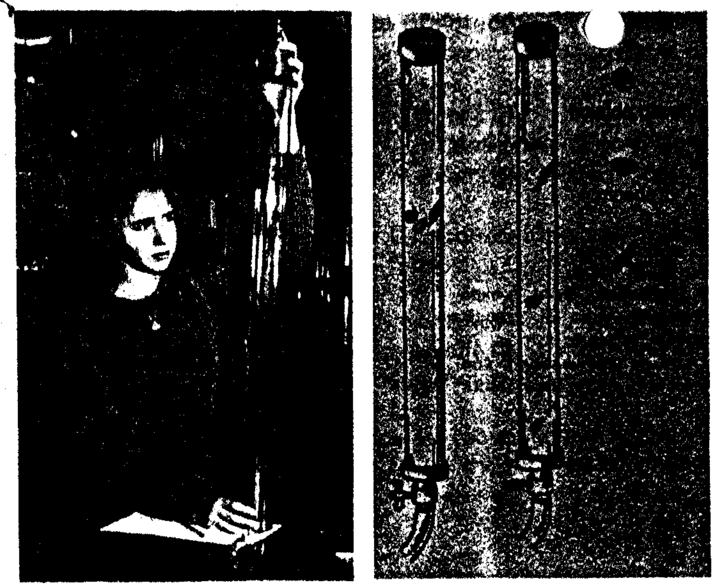


Fig. 2
(a) tubo de Newton; (b) esquemas da queda dos corpos dentro do tubo de Newton, sem ar e com ar, respectivamente.

No ar, ou dentro do tubo com ar, a moeda cai mais rapidamente do que a pena, mas quando se retira o ar do tubo, os três corpos caem, surpreendentemente, ao mesmo tempo, isto é, atingem o fundo do tubo no mesmo instante.
Não há dúvida de que o ar tem algo a ver com este diferente comportamento dos corpos a cair.

Mas, se, mesmo na ausência do ar, os corpos continuam a cair e cairiam todos ao mesmo tempo, qualquer que fosse o seu peso e tamanho, é porque a causa da sua queda não foi o peso do ar por cima deles.

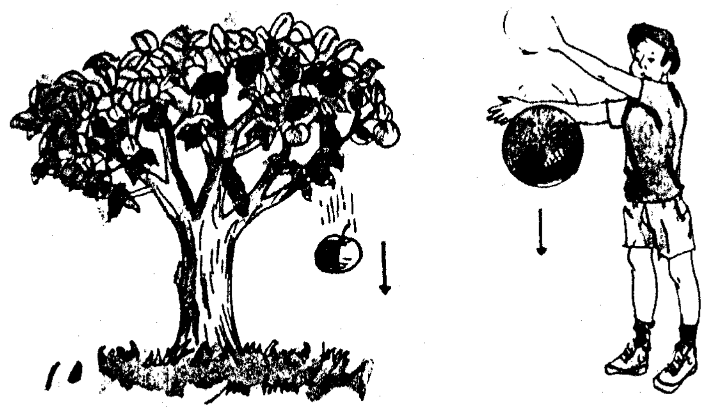
Força da gravidade

Então, é porque actuou sobre eles uma força que os atrai para a Terra.
A esta força chama-se **força da gravidade.**
Todos sentimos esta força. É devido a ela que temos peso e permanecemos à superfície da Terra.

É ainda esta força que faz com que as maçãs caiam das árvores, ou a bola caia no solo quando a largamos, fig. 3 ou qualquer outro corpo caia para a Terra.

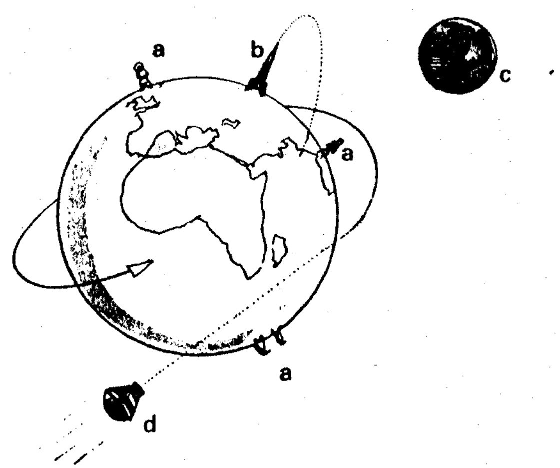
Esta força faz-se sentir menos intensamente à medida que nos afastamos da Terra.

3
ueda dos corpos é expli- a pela força de atracção e a Terra e os corpos. Na ra, as setas indicam ape- o sentido do movimento.



A força da gravidade é responsável por alguns factos do nosso conhecimento, fig. 4

4
os corpos permanecem à erfície da Terra; (b) os ectos voltam à Terra indo atirados ao ar; (c) a mantém-se na sua órbita olta da Terra; (d) os satéli- artificiais mantêm-se em ita e as cápsulas espaciais m de novo na Terra.



acção da força da gravi- de faz-se sentir até uma tude cerca de 318 000 km.

É comum, hoje em dia, ouvir-se dizer (sobretudo acerca de viagens espaciais) que «a nave saiu fora do campo gravítico terrestre». Isto significa que a nave saiu fora da região do espaço à volta da Terra onde se faz sentir a sua acção atractiva.

Logo que as cápsulas entram neste *campo*, começam a «acelerar» em direcção à Terra devido à existência da força da gravidade.

Foi Isaac Newton quem propôs, pela primeira vez, a existência de forças de atracção entre dois corpos quaisquer.

Em geral, as forças de atracção entre dois corpos são muito pequenas, mas se pelo menos a massa de um dos corpos for muito grande, é o caso da Terra, essa força tem um valor apreciável.

Força gravitacional

A força atractiva — **força gravitacional** — existe entre todos os corpos do Universo, e depende das suas massas e da distância entre eles.

Na Lua, por exemplo, cuja massa é muito menor do que a da Terra, a força atractiva que ela exerce sobre os corpos colocados próximo da sua superfície é também muito menor.

Nota: a variação da força da gravidade na Lua não tem nada a ver com a constituição ou ausência de atmosfera na Lua.

O peso de um corpo na Lua corresponde, aproximadamente, a 1/6 do seu peso na Terra.

Se observares fotografias ou filmes sobre viagens espaciais, podes verificar que um astronauta na Lua tem uma forma diferente de se deslocar; os seus movimentos parecem mais lentos.

Na Lua, fig. 5, ele pode até mover-se por saltos, visto que a força da gravidade na Lua é menor, por ser menor a massa da Lua.

Fig. 5
Na Lua, devido à fraca atracção, o menor passo pode transformar-se em salto.

Para compensar este inconveniente, o fato do astronauta é muito pesado. Mesmo com este fato «pesado», os «records» olímpicos de salto poderiam ser batidos.

Quando um corpo cai, o ar exerce sobre ele uma força contrária à da gravidade.

No caso da queda dos corpos no tubo de Newton com ar, ou simplesmente ao caírem no ar, a força que o ar exerce sobre eles, de baixo para cima, opõe-se à força da gravidade, fazendo com que os corpos não caiam ao mesmo tempo.

Se, por exemplo, deixarmos cair da mesma altura duas folhas de papel iguais, mas uma delas amachucada em forma de bola, verifica-se que esta atinge o solo em primeiro lugar.

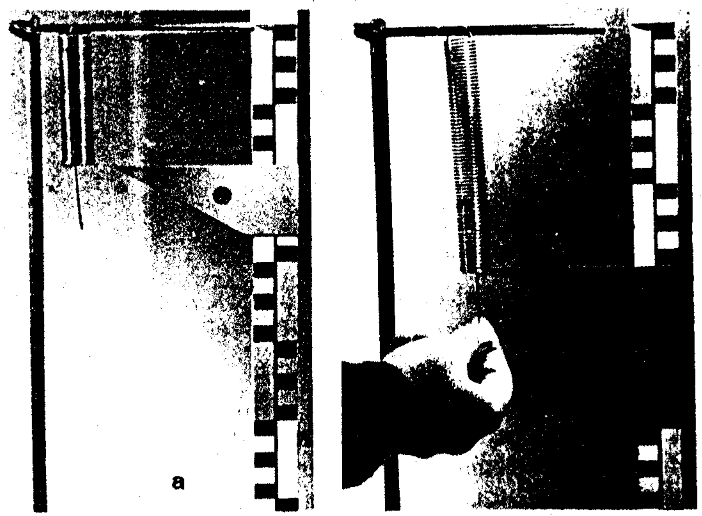
Porque é que, ou como, podemos dizer se uma força é maior ou menor do que a outra?
O que é que na força é maior ou menor?

:periência 2
deformação de uma
ola em hélice

Coloca uma mola em hélice suspensa de um suporte, como se indica na fig. 6 **(a)**.

Puxa a extremidade livre da mola com a tua mão.

O que observas?



g. 6
na mola elástica deforma
quando nela se aplica uma
rça.

A mola deforma-se. E deforma-se tanto mais quanto mais a esticarmos, isto é, quanto maior for a **intensidade** da força que aplicamos sobre a mola.

Da mesma maneira, a intensidade da força que a mola exerce sobre a mão aumenta também (tu sentes na mão esta força).

ota: se a mola não esti-
esse fixa no suporte, ela não
deformaria. Para que haja
eformação, são necessárias
uas forças; no ponto de sus-
ensão o suporte exerce tam-
ém uma força sobre a mola.

Quando, por exemplo, jogas ao jogo da corda ou ao «medires forças» com um colega, fig. 7 e, no final, ninguém «ganha», concluis que tanto tu como o teu colega fizeram a «mesma força», isto é, a intensidade das forças aplicadas é a mesma, embora sejam aplicadas em sentidos contrários.

Quando afirmamos que uma força é maior ou menor do que outra, estamos a comparar as suas intensidades.

Fig. 7
Quem ganhará este jogo? O rapaz exerce «mais» ou «menos» força?

Uma vez definida a força, para ela poder ser, de facto, considerada como grandeza física, é necessário medir a sua intensidade. E para medi-la temos de compará-la com a intensidade de outra força tomada como padrão.

O newton (símbolo N) é a unidade SI de força

A unidade de intensidade de força, no Sistema Internacional, chama-se **newton** (do nome do físico Newton), e exprime-se pelo símbolo N.

Na fig. 8 **(a)** e **(b)**, está representada uma caixa que pretende materializar esta unidade.

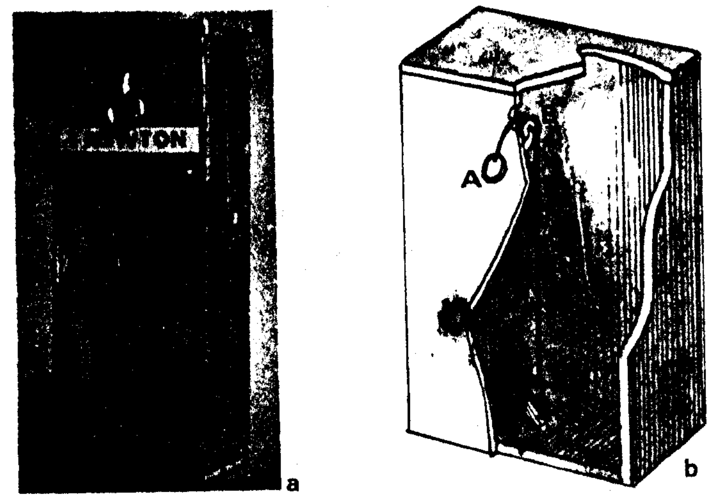


Fig. 8
Caixa de madeira utilizada para materializar a força de intensidade 1 N **(a)**, e esquema respectivo **(b)**.

Ao puxarmos a argola **A**, que passa através de uma roldana **B**, o corpo **C**, cuja massa é 102 g, sobe. Se puxarmos a argola de modo que o corpo suba com velocidade constante, estamos a aplicar uma força cuja intensidad(igual a 1 newton: 1 N. Ou seja, um corpo de massa 102 g é atraído pela Terra com a força de intensidade igual a 1 N.

Dizemos que o corpo **C** pesa 1 N.

Como sabes, uma grandeza física representa-se pelo produto do valor numérico pela unidade respectiva.

Assim, escrever:

$$F = 4\ \text{N}$$

significa que estamos a aplicar uma força cuja intensidade é 4 vezes maior do que a força cuja intensidade é igual a 1 N.

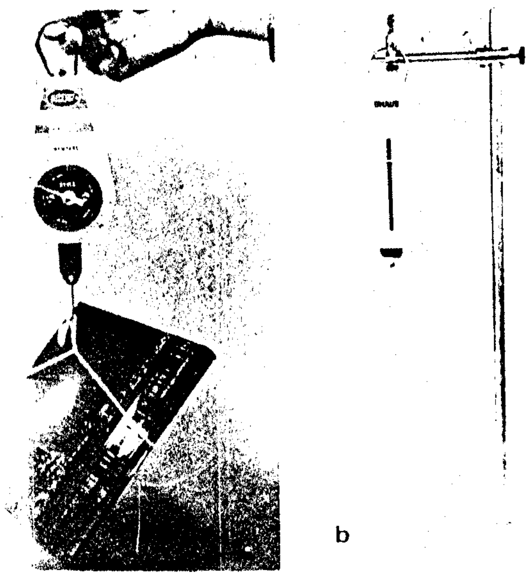
Na Natureza podemos observar forças com intensidades muito variadas, quadro 1.

Os aparelhos medidores das intensidades das forças chamam-se **dinamómetros**, dos quais estão representados dois tipos, na fig. 9

... de força
... medir

Qual é o valor da intensidade da força que o livro exerce sobre a mola do dinamómetro?

E qual o valor da intensidade da força que a maçã exerce sobre a mola?



a b

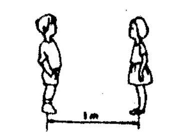
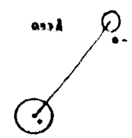
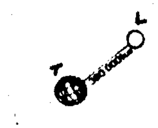
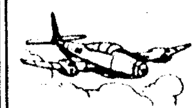
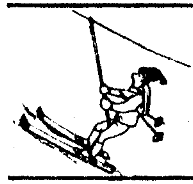
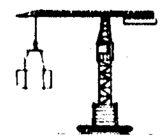
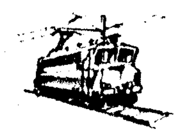
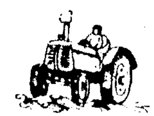
9
o livro pesa 4,4 N;
a maçã pesa 1 N.

Mas como funcionam os dinamómetros?

Como sabemos se uma força tem a intensidade de 1 N ou de 4 N?

Veremos a resposta a esta questão na secção seguinte.

Quadro 1 (ntensidades relativas (valores médios) de algumas (as

	Força de atracção universal: 2×10^{-7} N a 4×10^{-7} N		Força de atracção eléctrica: $0{,}79 \times 10^{-7}$ N
	Força de atracção universal: 3×10^{21} N		Peso de um homem: 500 N a 900 N
	Força exercida pelo vento (vento forte) em cada m² de vela: 100 N		Peso médio de um elefante: da ordem de 10^4 N
	Força exercida pelo dedo na caneta: ~ 2,5 N		Força de tracção de um cavalo puxando uma carroça: 700 N
	Força exercida pelo atleta sobre o haltere: 1000 N a 2000 N		Força exercida por um motor de reacção de um avião: 10^5 N a 3×10^5 N
	Força exercida pelo esquiador sobre o cabo em tracção: algumas centenas de N		Força exercida por uma grua: 25×10^4 N
	Força de tracção de uma locomotiva: 10^4 N a 10^6 N		Força de tracção de um tractor: 3×10^4 N
	Força exercida por um electroíman industrial: 100 000 N até alguns milhões de N		

A criança puxa com *maior* ou *meno*... ça, o que poderá ser traduzido pelo maior ou menor comprimento do vector representado.

O facto de o brinquedo ser puxado para cima, ou para a direita, ou para a esquerda, será traduzido pelo **sentido** da seta.

Os elementos característicos de uma força:
- ponto de aplicação
- direcção
- sentido
- intensidade

Nota: linha de acção da força é a linha suporte do vector força. Forças com linhas de acção paralelas têm a mesma direcção.

Assim, as **características** do vector $\vec{F}$ são:

ponto de aplicação — ponto do corpo onde a força actua;

direcção — linha segundo a qual, ou ao longo da qual, a força actua ou qualquer recta paralela;

sentido — o sentido de actuação da força dado pelo sentido da seta, isto é, de onde e para onde a força actua;

intensidade ou **módulo** — valor numérico expresso em unidades de força.

Grandezas vectoriais

Grandezas físicas que, tal como a *força*, se representam por meio de vectores, isto é, necessitam de uma direcção e de um sentido para ficarem perfeitamente definidas, chamam-se **grandezas físicas vectoriais**.

Uma força é uma grandeza vectorial e representa-se pelo símbolo $\vec{F}$

A grandeza força representa-se por meio de uma letra maiúscula, ***F***, com uma pequena seta em cima: $\vec{F}$.

A sua intensidade, ou módulo, ou valor numérico, representa-se por

$$|\vec{F}| \quad \text{ou} \quad F$$

Grandezas escalares

Outras grandezas tuas conhecidas, tal como o volume, o comprimento, a diferença de potencial, a resistência de um condutor, etc., que apenas necessitam de um valor numérico e de uma unidade para ficarem definidas, chamam-se **grandezas físicas escalares**.

A palavra *força* é um termo de utilização corrente cujo sentido só é claro em função do contexto em que está inserido.

Por exemplo:

- «Uma força eléctrica» quer dizer uma acção mecânica do tipo eléctrico, isto é, exercida entre corpos electrizados.
- «Uma força $\vec{F}$» quer dizer o vector força $\vec{F}$.
- «Uma força de 5 N» quer dizer que a intensidade da força aplicada é de 5 unidades SI de força.

Deveremos então utilizar a palavra «força» quando não oferecer confusão, caso contrário será necessário usar os termos correctos para cada situação: acção mecânica, vector força, intensidade da força, etc.

Na linguagem comum, a palavra «força» designa quer a acção mecânica, quer o vector força a ela associado, quer a intensidade da força.

Apliquemos, a algumas situações concretas, o que temos vindo a dizer sobre a representação vectorial das forças.

1.° — *O agrafador*

Vamos analisar e representar vectorialmente o que se passa quando utilizamos um agrafador.

Repara na fig. 10.

Quando se carrega, a nossa mão exerce uma força vertical, de cima para baixo, comprimindo a mola, (a) e (b). Quando se larga, a mola elástica distende-se sob a acção da força de tensão dirigida de baixo para cima (c).

Neste caso não está indicada a intensidade da força, embora estejam representados vectores de comprimentos diferentes.

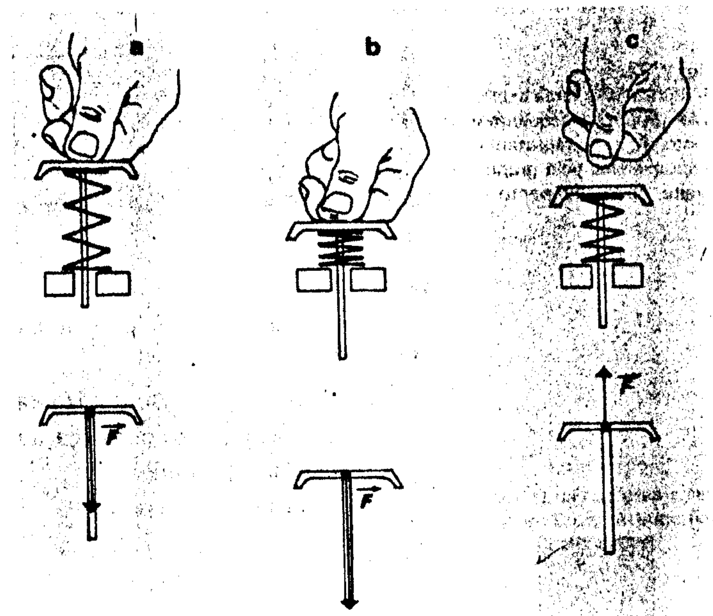


Fig. 10
Representação esquemática das forças que actuam durante a utilização do agrafador.

2.° — *Uma pessoa sentada*

Vamos analisar o caso de uma pessoa com o peso de 600 N, sentada, fig. 11.

Neste caso, o rapaz exerce uma força $\vec{P}$, aplicada na cadeira, cuja intensidade é igual à do seu próprio peso, 600 N, segundo uma direcção vertical, no sentido de cima para baixo.
Por sua vez, a cadeira exerce uma força de reacção, $\vec{F}$, aplicada no rapaz.

Repara que para representarmos a intensidade das forças $\vec{P}$ e $\vec{F}$ nos servimos de uma escala em que cada «unidade» representa 200 N. Poderia ter-se escolhido outra escala qualquer.

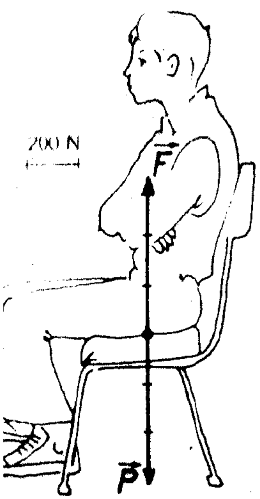


Fig. 11
A força $\vec{P}$ está aplicada na cadeira; a força $\vec{F}$ está aplicada no rapaz.

3.° — *O jogo da corda*

Analisemos o caso do jogo da corda, representado na fig. 12

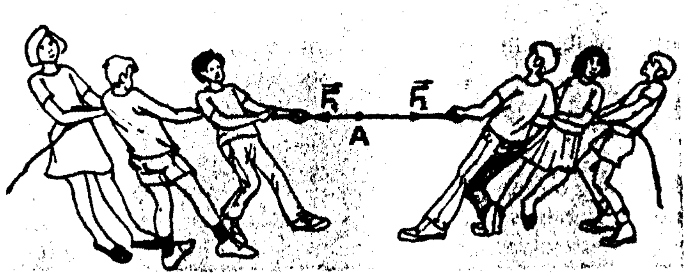


Fig. 12
$\vec{F_1}$ representa a força exercida pelo grupo da esquerda no ponto A; $\vec{F_2}$ representa a força exercida pelo grupo da direita, no mesmo ponto.

As forças $\vec{F_1}$ e $\vec{F_2}$ podem caracterizar-se da seguinte maneira:

— a mesma direcção: horizontal;
— o mesmo ponto de aplicação, A;
— sentidos contrários;
— intensidades diferentes.

Quem ganharia o jogo?
Porquê?

O peso e a massa de um corpo

Força, massa e peso são três termos que correspondem a três grandezas com um significado distinto em Física.

Vamos tentar compreender a diferença existente entre essas grandezas.

O peso como exemplo de uma força: variáveis de que depende

Falámos, , de um tipo de forças muito importante na Natureza — **a força gravitacional.**
Esta força de atracção existe entre quaisquer dois corpos do Universo, dependendo da massa dos corpos e da distância a que aqueles se encontram um do outro.

Um exemplo desta lei da Atracção Universal é o caso da força da gravidade, que faz com que os corpos caiam para a Terra.
É devido à existência desta força da gravidade entre a Terra e os corpos situados na sua proximidade que esses corpos têm **peso**.

Peso de um corpo é a força que actua no corpo, como consequência da atracção entre a Terra e o corpo

Os corpos caem para a Terra segundo uma direcção vertical — *a vertical do lugar* — fig. 13, e sempre no sentido de *cima para baixo*.

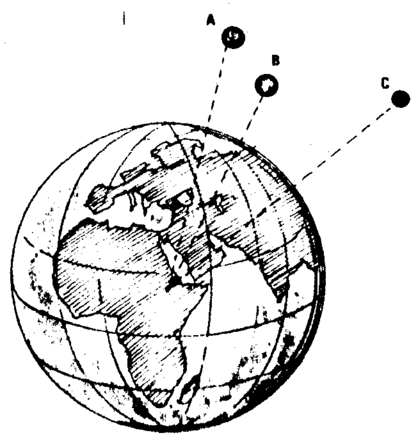


Fig. 13
Os corpos **A**, **B** e **C** caem segundo a direcção da vertical do lugar e no sentido do centro da Terra.

Nota: O raio de uma esfera é perpendicular à superfície desta.

g. 14
fio de prumo é constituído
or um fio suspenso com um
peso» na extremidade livre.

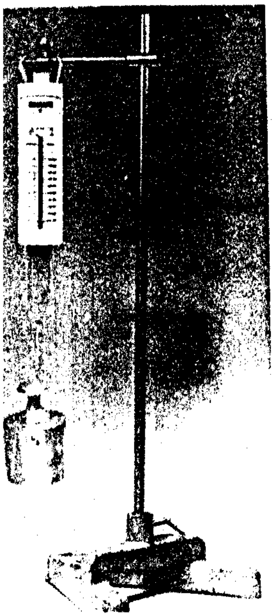
É por esta razão que se usa o fio-de-prumo para saber se uma parede, por exemplo, está «direita», isto é, vertical; os pedreiros usam o fio-de-prumo nas construções dos edifícios para alinharem as paredes.

Uma vez que o peso de um corpo é uma força, também a sua unidade de medida, no SI, é o **newton**, N. O valor do peso de um corpo avalia-se por meio de dinamómetros.

Existe outra unidade de força, que é o quilograma-força, símbolo kgf.

O kgf define-se como sendo a intensidade da força com que a Terra atrai um corpo com 1 kg de massa.

Se suspendermos num dinamómetro, fig. 15 **(a)** e **(b)**, ou colocarmos numa balança-dinamómetro, fig. 15 **(c)**, um corpo de massa 1 kg, o valor indicado é de 1 kgf.



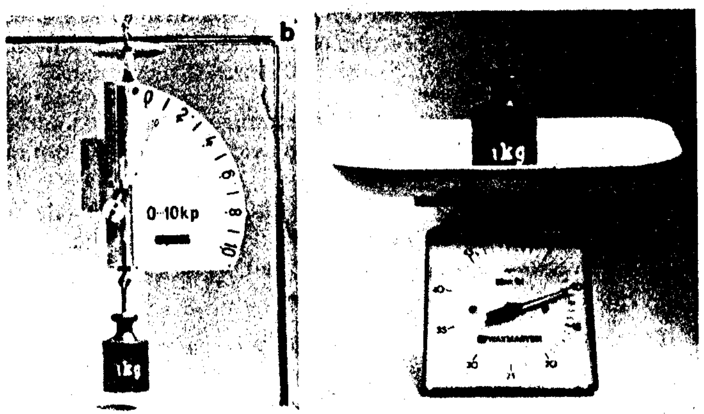


Fig. 15
Os três dinamómetros indicam, para o corpo de massa 1 kg, o mesmo peso, 10 N.

1 kgf 9,8 N
1 N 102 gf

Suspendendo um corpo com a massa de 1 kg num dinamómetro graduado em newton, verificamos que este indica o valor de 9,8 N ($\approx$ 10 N).

Se suspendermos vários corpos desse mesmo dinamómetro, poderemos facilmente verificar esta relação (no mesmo local da Terra), quadro 2.

Quadro 2 — Valores da massa e do peso de vários corpos

Massa (em kg)	Peso (em kgf)	Peso (em N)
0,100	0,100	[illegible]
0,200	0,200	2 [illegible]
0,250	0,250	2,5 [illegible]
0,200	0,300	3 [illegible]

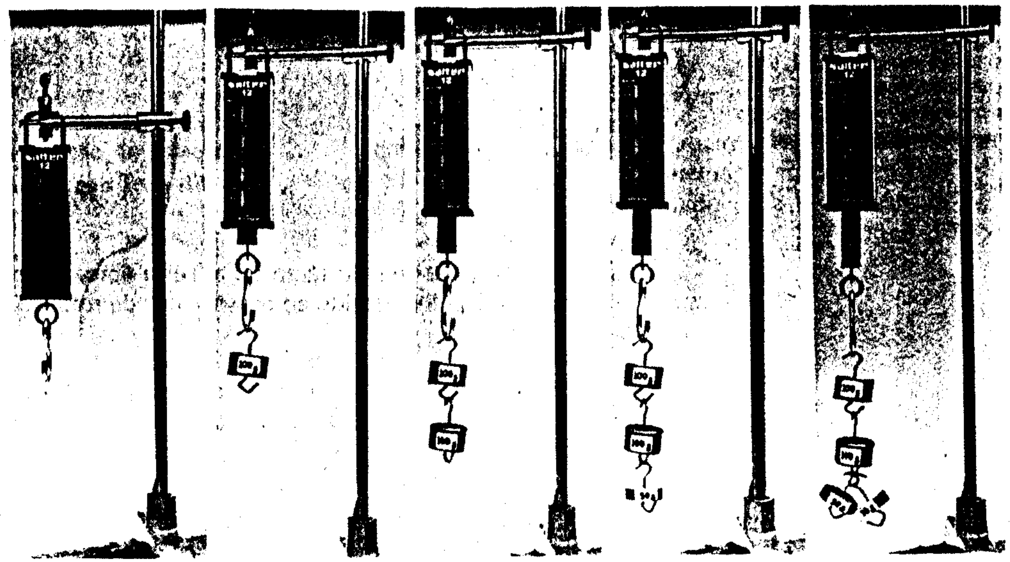


Fig. 16 Determinação do peso de corpos com massas diferentes.

Podemos então, resumidamente, indicar as **características** do vector **peso** de um corpo:

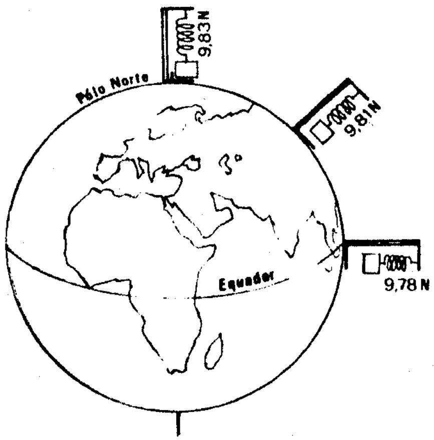
- linha de acção: a vertical do lugar;
- sentido: de cima para baixo;
- ponto de aplicação: no centro de gravidade do corpo;
- intensidade: o valor numérico do peso desse corpo.

Nota: o centro de gravidade de um corpo é o ponto onde se supõe aplicada a resultante de todas as forças da gravidade que actuam sobre o corpo.

O peso de um corpo será o mesmo qualque... ue seja o lugar em que ele se encontre?

riação do peso de
corpo com a
itude

Experiências muito precisas mostraram que o peso de um corpo aumenta cerca de $\frac{5}{1000}$ do seu valor quando se viaja do Equador para os Pólos.



. 17.
peso de um corpo varia
n a latitude: determinando
eso com um dinamómetro
ito sensível encontram-se
valores indicados na
ra.

Esta variação explica-se pelo facto de a Terra apresentar um achatamento nos pólos, devido ao movimento de rotação em volta de si própria.

O raio da Terra tem o valor de 6378 km no Equador e 6357 km nos Pólos, portanto, um corpo no Equador está mais longe do centro da Terra.

Como tínhamos referido, a força de atracção entre a Terra e outro corpo depende da distância entre os dois corpos; ela é tanto maior quanto menor for a distância entre eles. Por esse motivo, um corpo pesa mais nos Pólos do que no Equador.

Esta diferença é, no entanto, imperceptível no dia-a-dia, para corpos com as dimensões com que costumamos trabalhar.

Da mesma maneira se pode verificar que o peso de um corpo varia com a altitude a que esse corpo se encontra em relação à superfície da Terra.

'ariação do peso de
m corpo com a
ltitude

À medida que nos elevamos na atmosfera, o peso de um corpo diminui de $\frac{3}{10\,000}$ do seu valor, por cada 1000 m de altitude.

Um corpo com a massa de 1 kg, portanto co... o peso de 9,80 N, quando ao nível do mar, terá apenas o peso de 9,77 N num avião que sobrevoe Lisboa à altitude de 10 000 m.

Esse mesmo corpo, no cimo da serra da Estrela, cuja altitude é de 2000 m, pesará 9,794 N !

A variação do peso com a altitude explica-se também pela maior distância entre o corpo e o centro da Terra.

Esta variação com a altitude é ainda mais difícil de detectar do que a variação com a latitude.

O peso de um corpo varia, portanto, com o lugar onde este se encontra. Na Terra, o peso varia com a ***altitude*** e a ***latitude***.

Fora da Terra, a variação do peso é bastante grande e é importante o seu conhecimento, nomeadamente em Astronáutica, no envio de satélites para o espaço.

Variação do peso de um corpo fora da Terra

Conhecendo a massa dos astros do sistema solar e a distância à Terra, foi possível determinar a força com que um corpo, de massa 1 kg, seria atraído para esses astros, fig. 18

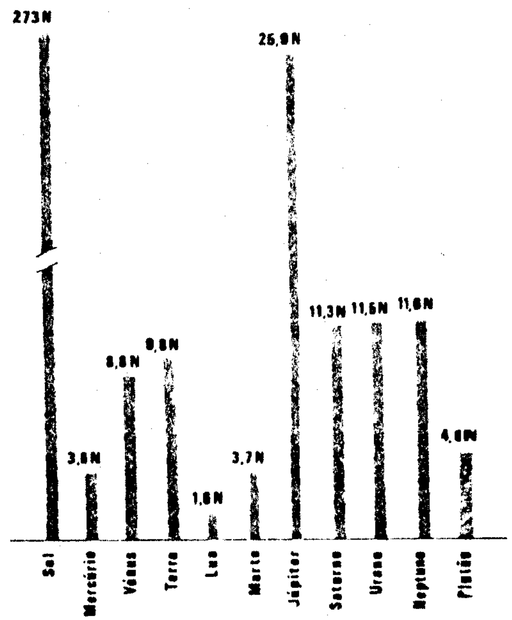


Fig. 18
Um corpo com o peso de 1 N à superfície da Terra teria pesos diferentes quando situado em outros planetas.

O peso de um corpo varia porque a in[illegible]dade da força atractiva também varia de local para local da Terra e de astro para astro no Universo.

Em determinadas zonas do espaço, onde se não faça sentir qualquer força atractiva, o peso de qualquer corpo é nulo. São as chamadas situações de imponderabilidade.

A massa como grandeza característica de um corpo. A unidade SI de massa

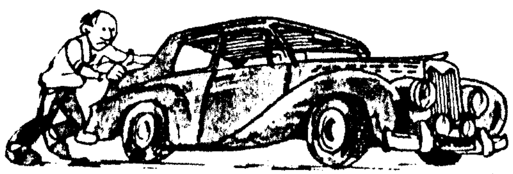
Pelo que acabámos de dizer, o peso de um corpo não pode ser considerado como característica de um corpo, visto que varia com o local onde o corpo se encontra.

Existe, no entanto, uma outra grandeza física invariável, característica de um corpo — a **massa** desse corpo.

Já vimos que os corpos se põem em movimento quando sobre eles actuam forças.

No entanto, corpos diferentes sob a acção de forças com as mesmas características comportam-se de maneira diferente.

Suponhamos que aplicamos forças idênticas sobre os carros representados na fig. 19.



[illegible]. 19
[illegible] deslocar o carro grande, [illegible] homem aplica uma força de [illegible] intensidade

Qual dos dois corpos oferece mais «resistência» em movimentar-se?

Qual dos corpos se movimenta com mais rapidez, uma vez posto em movimento?

É evidente que, se quisermos empurrar o «2 cavalos» ou o carro grande, para «pegar», temos muito mais dificuldade, isto é, encontramos uma maior «oposição» ao movimento, ao empurrar o carro grande do que o pequeno, fig. 19

De modo semelhante, uma bola de ténis adquire uma velocidade muito maior do que uma bola de futebol, quando lhe aplicamos forças idênticas.

Se à mesma bola aplicarmos uma força de maior intensidade, ela deslocar-se-á com uma rapidez também maior.

A massa de um corpo está relacionada com a «resistência» que esse corpo oferece ao movimento.

Esta «resistência ao movimento» é tanto maior quanto maior a quantidade de matéria do corpo.

Massa de um corpo

Para descrever este diferente comportamento dos corpos, os físicos utilizam a grandeza **massa**.

Se dois corpos, sob a acção de forças idênticas, se comportam de forma diferente, têm massas diferentes.

A **massa** de **um corpo** está *relacionada com a quantidade de matéria que o constitui.*

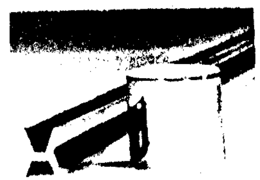


Fig. 20
Cópia portuguesa do quilograma-padrão, com o n.° 10, que existe no Instituto Nacional de Pesos e Medidas, Serviços de Metrologia do Ministério da Indústria e Energia. Ao lado vê-se o metro-padrão.

A medida da **massa** de um corpo é o número que uma balança nos indica ao comparar a massa desse corpo com a massa do quilograma-padrão.

O **quilograma-padrão** é um cilindro de platina iridiada, com 39 mm de diâmetro e 39 mm de altura, que existe no Arquivo Internacional de Pesos e Medidas em Sèvres, França.

A massa deste cilindro corresponde à massa de 1 dm^3 de água pura à temperatura de 4 °C. A esta massa foi atribuída, por convenção, a designação de **quilograma**, símbolo kg.

Sobre esta peça desliza uma peça ›drica, que, conforme o ponto da escala onde é colocaua, equilibrando a balança, indica directamente o valor da massa do corpo.

Também aqui se faz uma comparação entre a massa do corpo e massas conhecidas.

Princípio semelhante preside ao funcionamento de algumas balanças de farmácia (de cursor), da balança decimal, do pesa-cartas, etc.

O princípio de funcionamento destas balanças será explicado

Na balança de dois pratos, o corpo exerce sobre o prato da esquerda uma força igual, $\vec{P}$, à que as «massas marcadas» exercem sobre o prato da direita,

Se transportássemos qualquer uma das balanças
, para a Lua, por exemplo, ambas se manteriam em equilíbrio.

Como explicas este facto?

O peso e a massa de um corpo: duas grandezas diferentes

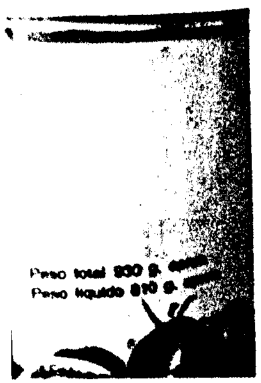


Fig. 21
Peso e massa são frequentemente confundidos.

Nota: as unidades não se escrevem no plural.

É frequente ler nas embalagens comerciais, por exemplo, «peso total 930 g», «peso líquido 1000 g», fig. 21

Porém, tal indicação não é correcta. O que deveria estar referido seria a *massa total* ou, então, a *massa líquida*. Algumas embalagens já não trazem este erro.

Tal como vulgarmente se utiliza a palavra balança para designar todo o tipo de aparelhos que servem para «pesar», também a palavra «pesagem» significa qualquer acção de medir que sirva para avaliar quer a massa de um corpo quer o seu peso.

Quando nos pesamos, utilizando balanças ›utomáticas, na farmácia ou em nossas casas, estamos a uti..ɹ balanças-dinamómetros. Avaliamos desta maneira o nosso peso. Estamos, porém, a utilizar unidades de massa quando dizemos «peso 50 quilogramas». Em Física, não é correcto usar esta linguagem!

Quando dizemos «esta pasta é muito pesada», queremos significar que ela exerce sobre o nosso braço uma força de grande intensidade.

Se colocarmos a pasta numa balança e determinarmos a sua massa, esta terá certamente um valor elevado.

Num mesmo lugar, quanto maior é a massa de um corpo maior é o seu peso.

Por isso é frequente utilizar expressões em que se confundem uma e outra grandeza:

«*Esta pasta está muito cheia*» (massa, quantidade de matéria); «*está muito pesada*» (peso, exerce uma força de grande intensidade sobre o braço).

Mesmo os físicos utilizam a expressão «pesagem com balança».

Em linguagem científica correcta, o termo *pesagem* refere a operação por meio da qual se determina o peso de um corpo.

Não existe, no entanto, nenhum termo científico específico para designar a operação de avaliar a massa de um corpo.

Existe uma possível razão para a utilização generalizada do termo «pesagem» quando nos referimos, quer à avaliação da massa, quer à avaliação do peso, que é frequente mesmo em livros científicos.

Quando estamos a determinar a massa de um corpo com uma balança, estamos, na realidade, a comparar as forças que esse corpo e as «massas marcadas» exercem em cada um dos pratos da balança quando ela está em equilíbrio.

No mesmo local da Terra, ou de qualquer outro planeta ou do espaço exterior, os valores numéricos da massa e do peso de um corpo coincidem, quando expressos, respectivamente, em quilograma e quilograma-força.

Assim, por exemplo, se neste mom(**o teu peso** for 58 kgf (ou 568,4 N), a **tua massa** é 58 kg.

Será difícil deixar de usar, no dia-a-dia, a linguagem vulgar.

Ao utilizar a frase «eu peso 58 kg», é importante que te lembres que, estando a referir o valor do teu peso desta maneira, estás a exprimi-lo em unidades SI de massa, o que, evidentemente, se deverá evitar na linguagem científica.

A massa do teu corpo é de 58 kg, mas a força que a Terra exerce sobre ti, isto é, o teu peso é 58 kgf ou 568,4 N.

Observa a fig. 22

a b c

Fig. 22 O astronauta tem pesos diferentes na Terra (a), no espaço (b) e na Lua (c).

A massa do astronauta é de 75 kg.

Admitindo que ele não emagrece, o seu peso na Terra é 735 N (75 kgf), no espaço 0 N (0 kgf) e na Lua 122,5 N (12,5 kgf), cerca de 6 vezes menor do que na Terra, quadro 3

Quadro 3 — Massa e peso de um corpo em diferentes locais

Local	Massa (em kg)	Peso (em kgf)	Peso (em N)
Terra	75	75	735
Espaço (algures, fora de qualquer acção gravitacional)	75	0	0
Lua	75	12,5	122,5

A massa do astronauta não varia, mas o se[u p]eso varia, porque varia o valor da força da gravidade nos tr[ês l]ocais considerados.

Nas regiões do espaço onde os corpos têm um *peso igual a zero* diz-se que nessas regiões não existem forças gravíticas; são situações de *imponderabilidade*.

Já terás visto, na TV, situações destas quando os astronautas ou os objectos estão «flutuando» dentro ou fora da nave.

Diferenças entre massa e peso de um corpo

Poderemos agora estabelecer algumas *diferenças* simples entre as grandezas físicas *massa* e *peso*:

1 — Quanto à sua natureza

- o peso é uma grandeza vectorial, uma força;
- a massa é uma grandeza escalar.

2 — Quanto às unidades em que se exprimem

- o peso exprime-se em N (SI) ou em kgf;
- a massa exprime-se em kg.

3 — Quanto ao processo de medição

- o peso avalia-se com dinamómetros ou balanças-dinamómetros;
- a massa avalia-se com balanças.

4 — Quanto aos seus valores relativos

- o peso de um corpo varia com o local onde esse corpo se encontra;
- A massa não varia.

3. 3. 1. Potência de uma máquina

Sabemos já que uma transferência de energia mecânica se processa através da realização de trabalho por forças exercidas sobre o sistema receptor.

No entanto, essa tranferência de energia pode processar-se em intervalos de tempos diferentes.

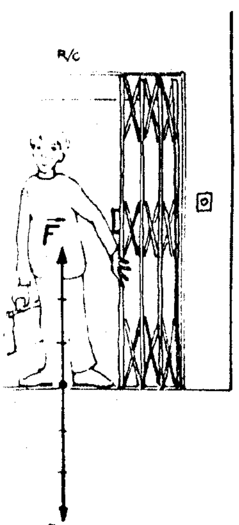
Pensemos novamente no caso representado na fig. 3. 34, pág. 150.

Vamos supor que, um dia, o pedreiro, porque está mais cansado, demora 5 min a elevar o balde cheio de areia, com o peso de 15 kgf, à altura de 15 m.

Nos outros dias, em média, demora apenas 2 a 3 min.

Na realidade, ele transfere a mesma quantidade de energia (realiza o mesmo trabalho), uma vez que o balde pesa sempre o mesmo e o eleva à mesma altura. No entanto, realiza esse trabalho num intervalo de tempo menor, ou seja, eleva o balde mais rapidamente, ou ainda, transfere energia para o sistema balde-Terra mais rapidamente.

Dirias, com certeza, que o pedreiro, naquele dia, «estava com mais força»! No entanto já sabes que esta expressão não é correcta sob o ponto de vista da Física.



Vejamos outro exemplo.

Sabes que nos edifícios de vários andares de construção recente é vulgar a instalação de elevadores. Quando sobes para um andar superior, aumenta a energia potencial gravítica do sistema teu corpo-Terra. Se o tiveres feito deslocando-te no elevador, poderás dizer que esse aumento da energia potencial gravítica ocorreu devido ao trabalho realizado pela força que o elevador exerceu sobre o teu corpo, $\vec{F}$, fig. 3. 39, durante o deslocamento, e não pelo teu esforço.

Fig. 3. 39.
O elevador, ao subir, exerce sobre o rapaz uma força $\vec{F}$ (aplicada no rapaz); por sua vez, o rapaz exerce sobre o chão do elevador uma força igual ao seu peso, $\vec{P}$ ...

Certamente já tiveste ocasião de verificar que há elevadores «mais rápidos» do que outros. Por vezes, em edifícios de muitos andares, até existem dois ou três elevadores, mas nem todos eles se deslocam com a mesma rapidez.

Que terão eles de diferente?

Supõe que te deslocas do rés-do-chão até ao 3.° andar em dois elevadores diferentes, que gastam, nesse percurso, tempos diferentes. Se o peso da carga é igual, também será igual a força que o elevador exerce sobre ela, para a fazer subir. Como os deslocamentos são iguais, essas forças realizarão, portanto, trabalhos iguais.

O elevador que realiza o *mesmo trabalho num intervalo de tempo menor* diz-se que é *mais potente*.

A mesma designação é usada para qualquer máquina.

Quando se escolhe uma máquina é, muitas vezes, importante conhecer a rapidez com que essa máquina realiza trabalho, transfere e transforma energia. Para isso utiliza-se uma nova grandeza física: a **potência** da máquina, de símbolo P.

Potência de uma máquina

Nota: Nem sempre a máquina transfere energia com a mesma rapidez, isto é, pode fazê-lo umas vezes mais rapidamente do que outras. Nesses casos devemos falar em *potência média*, símbolo P_{med}.
A potência média representa a energia que, em média, a máquina transfere em cada unidade de tempo.
Se conhecermos a energia transferida, E, pela máquina no intervalo de tempo Δt, a potência média será calculada através da relação:

$$P_{med} = \frac{E}{\Delta t}$$

Define-se **potência** de uma máquina como a energia que a máquina transfere e transforma em cada unidade de tempo,

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

ou o trabalho que ela realiza em cada unidade de tempo:

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

Nota: Intervalo de tempo: $\Delta t = t_{final} - t_{inicial}$

3. 3. 2. Unidades de potência e de energia

A grandeza potência de uma máquina, P, é também uma grandeza física derivada, pois é definida, como vimos, à custa de duas outras grandezas: a energia e o tempo.

Como as unidades SI de energia e de tempo são, respectivamente, o joule e o segundo, a *unidade SI de potência* será o

$\frac{\text{joule}}{\text{s}}$

Fig. 3. 40.
James Watt (1736-1819).

Definição de watt

O watt, unidade SI de potência

A unidade $\frac{\text{joule}}{\text{segundo}}$, símbolo J/(...i dado o nome de **watt**, símbolo W, em homenagem ao físico escocês James Watt.

A partir da equação de definição da potência de uma máquina, podemos escrever

$$1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ segundo}} \quad \text{ou} \quad 1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$

***O watt** será a potência de uma máquina que transfere constantemente a energia de 1 joule em cada segundo.*

Para representar potências elevadas utilizam-se múltiplos do watt, como o kilowatt (kW) e o megawatt (MW):

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} \quad \text{e} \quad 1 \text{ MW} = 1\,000\,000 \text{ W}$$
$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} \qquad\qquad 1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$$

Tabela 3. 2 — Potência média de alguns sistemas transformadores de energia

Sistema transformador	Potência média (em W)
Homem a transportar um carrinho de mão	70 a 900
Cavalo	300 a 3500
Motorizada	5000
Tractor	23 500
Automóvel Porsche	50 000
Autocarro	3 000 000
Avião	17 500 000

Já ouviste, certamente, algumas vezes dizer: aquele carro tem um motor de «tantos cavalos». O que quererá isto significar?

Sabes que entre dois carros, um com um «motor de 2 cavalos» e outro com um «motor de 68 cavalos», o segundo fará o mesmo trabalho mais rapidamente. Isto quer dizer que será uma máquina mais potente do que a primeira.

O cavalo-vapor, o(unidade de potência

Com efeito, esta expressão usada na linguagem do dia-a-dia tem a ver com o emprego de *outra unid(le potência*: o *cavalo-vapor*, de símbolo cv.

Esta unidade prática de potência data do aparecimento das primeiras máquinas a vapor inventadas por James Watt. Como até essa altura os trabalhos mais pesados eram feitos por animais, James Watt teve a ideia de comparar o trabalho feito pela máquina com o trabalho feito, no mesmo tempo, por um cavalo. Assim, verificou que um animal bem tratado seria capaz de levantar um fardo de 75 kgf à altura de um metro durante um segundo.

A potência de uma «máquina» capaz de realizar aquele trabalho, no mesmo intervalo de tempo, foi designada por *um cavalo-vapor*.

Que relação existe entre o cavalo-vapor e o watt?

Calculemos a energia transferida pelo cavalo ao elevar a carga.

A energia transferida pode ser medida pelo trabalho realizado pela força exterior aplicada sobre a carga. Para elevar uma carga que pesa 75 kgf é necessário aplicar uma força vertical de 75 kgf, ou seja, (75 × 9,8) N. O trabalho realizado por essa força, para elevar o fardo à altura de 1 m, será

$$W = (75 \times 9{,}8) \text{ N} \times 1 \text{ m} = 735 \text{ J}$$

Relação entre o cv e o watt

Portanto,

$$1 \text{ cv} = \frac{735 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 735 \text{ W}$$

Se dispuseres de duas máquinas do mesmo tipo, de potências diferentes, sabes agora que, com a mais potente realizarás o mesmo trabalho num intervalo de tempo menor.

Pode, no entanto, suceder que, para um determinado fim uma máquina de menor potência sirva perfeitamente. Nesse caso deveremos optar por esta, para que o consumo de energia seja também menor.

Repara que, se conhecermos a potência de uma máquina P, e o intervalo de tempo, Δt, em que ela está a funciona[r] constantemente, poderemos conhecer a quantidade de ener[-]gia, E, que ela transferiu (ou transformou).

Como

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

$$E = P \times \Delta t$$

Bastará, pois, multiplicar a potência da máquina pe[lo] intervalo de tempo do seu funcionamento.

54 — Explicação da variação do peso dos corpos com a latitude e com a altitude — A variação do peso de um corpo com a latitude é devida a duas causas: o achatamento polar da Terra e a força centrípeta proveniente do seu movimento de rotação.

Devido ao achatamento polar, o raio terrestre é menor nos pólos que no equador. Um corpo colocado nos pólos fica, portanto, mais próximo do centro da Terra; e como a força atractiva que esta exerce sobre o corpo varia na razão inversa do quadrado da distância, o valor do peso do corpo será maior nos pólos, e diminui destes para o equador (fig. 61).

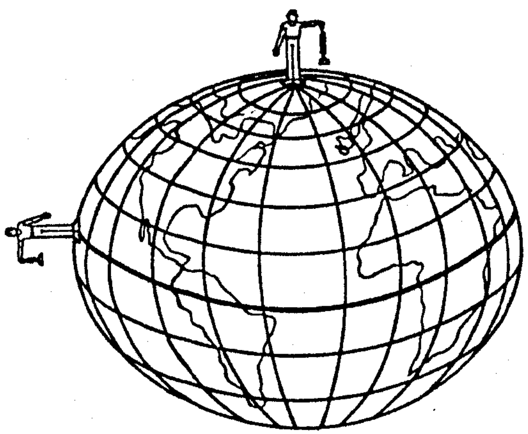


Fig. 61 — O peso de um corpo varia com a latitude. — O mesmo corpo produziria, num dinamómetro, uma deformação maior nos pólos que no equador.

Por outro lado, um corpo colocado à superfície da Terra é arrastado no seu movimento de rotação e está, portanto, sujeito à acção de uma reacção centrífuga. Devido ao movimento, o seu peso aparente será menor do que se estivesse em repouso, visto que uma parte da atracção newtoniana é necessária para manter o corpo na sua trajectória circular.

Sendo, portanto, o peso do corpo a diferença entre a atracção newtoniana e a reacção centrífuga, e diminuindo esta do equador para os pólos, onde se anula, é evidente que o peso do corpo deve variar em sentido contrário.

Esta diminuição aparente de peso pode comparar-se à que experimentamos quando descemos num elevador que acelera na descida.

O peso dum corpo varia, também, com a altitude. É fácil compreender que, quanto mais alto se encontrar o corpo, maior será a distância ao centro da Terra, e menor, portanto, a força que esta exerce sobre ele.

PESO E MASSA

55 — Distinção entre peso e massa. *Chama-se peso de um corpo a força que atrai o corpo para a Terra.* Já vimos que o valor desta força aumenta, ligeiramente, quando o corpo se desloca do equador para os pólos, e que diminui quando o corpo é colocado a uma maior altitude.

Se, com um dinamómetro muito sensível, fizéssemos sucessivas medições do peso de um corpo, 1 litro de água, por exemplo, em diferentes lugares, encontraríamos valores diferentes.

Chama-se *massa de um corpo* à *quantidade de matéria que o corpo contém.* A massa do corpo é uma constante que o *caracteriza*, e que *permanece invariável* qualquer que seja o estado em que o corpo se apresenta, ou o lugar em que se encontra.

Assim, por exemplo, o litro de água que considerámos apresenta sempre, em Paris, no equador ou nos pólos, a mesma quantidade da matéria-água, isto é, a mesma massa

Peso e massa são duas grandezas diferentes que importa saber distinguir. O peso é uma força cuja intensidade varia ligeiramente com a posição do corpo em relação à Terra. *O peso de um corpo mede-se com um dinamómetro.*

A massa é a quantidade de matéria que o corpo contém, a qual, ao contrário do peso, não varia com o lugar que o corpo ocupa em relação à Terra. *A massa de um corpo mede-se com uma balança.*