

Circuito eléctrico

Todos sabemos o que é um circuito de automóveis. Se substituirmos a palavra automóveis por electrões livres, temos o circuito eléctrico.

Podemos então dizer que um circuito eléctrico **é o trajecto seguido pela corrente eléctrica, que no seu movimento irá encontrar um conjunto de elementos com funções bem determinadas.**

As três grandezas eléctricas estudadas vão ter um papel fundamental no circuito eléctrico. Elas estão sempre interligadas, sendo a lei de Ohm, como vimos, um meio importantíssimo para quantificar a sua evolução. Uma não faz sentido sem as outras, se quisermos ter um circuito a funcionar bem.

Analiseemos:

- a **d.d.p.** ou **tensão**: é necessária, porque sem ela não conseguimos ter corrente eléctrica;
- a **intensidade de corrente**: é ela que, ao atravessar os receptores, os vai pôr em funcionamento;
- a **resistência eléctrica**: está sempre presente num circuito e existe fundamentalmente nos receptores, reduzindo a corrente eléctrica a valores adequados ao bom funcionamento destes.

8

Para que se possa executar um circuito eléctrico necessitamos, então, dos seguintes elementos básicos:

Gerador: cria e mantém uma d.d.p. (por exemplo, uma pilha) ou

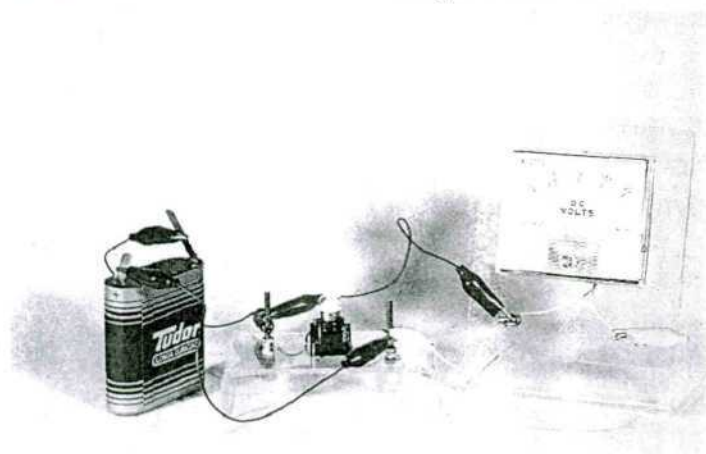
Fonte de alimentação: dispositivo onde existe (apenas mantém) uma d.d.p.

Receptor: utiliza a energia eléctrica, transformando-a noutra forma de energia. Exemplos:

calorífica – aquecedores
luminosa – lâmpadas

mecânica – motores eléctricos
química – cromagem dos metais

Montagem de um circuito eléctrico elementar, com ligação de um voltímetro.



Fios condutores: indispensáveis para conduzirem a corrente eléctrica ao longo do circuito e interligar os aparelhos que o constituem.

Há ainda um elemento importante que nos permite, comodamente, comandar o funcionamento do receptor, isto é, ligá-lo ou desligá-lo: é o **interruptor**.

O interruptor permite-nos abrir ou fechar o circuito. Na posição de aberto, a corrente eléctrica não circula e o receptor não funciona. Na posição de fechado, possibilita a circulação de corrente e o receptor funciona.

Por isso se diz que o **interruptor** é um **órgão de comando**.



Fontes de alimentação.

• Simbologia

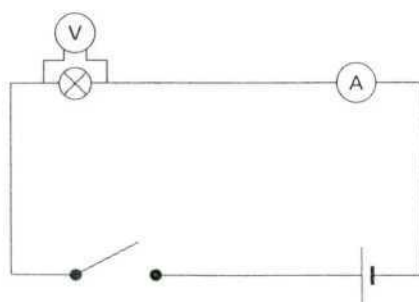
A substituição do desenho de um circuito pela sua representação esquemática obriga à utilização da simbologia eléctrica, conforme foi estudado na unidade anterior.

Recordando, os aparelhos até agora referidos podem ser representados pelos seguintes símbolos:

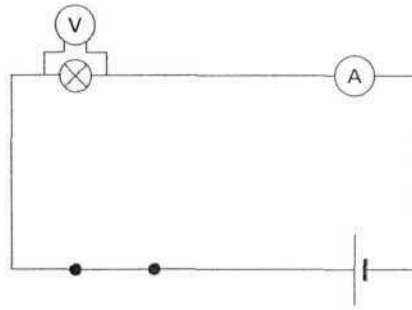
APARELHO OU DISPOSITIVO	SÍMBOLO
Elemento de pilha	
Fonte de alimentação	
Lâmpada de incandescência	
Interruptor	

O que nos permite representar um circuito eléctrico elementar.

• Circuito aberto



• Circuito fechado



Nota: na representação de um circuito, o interruptor deve estar sempre na posição de desligado (aberto).

Todos os receptores devem ser ligados a tensões que lhes estejam adequadas, para que neles também circule uma corrente eléctrica adequada. Por isso devemos ter sempre o cuidado de conhecer as características do receptor (em especial a sua d.d.p.), antes de o ligarmos no circuito.

Vamos imaginar, agora, que não montávamos nenhum receptor no nosso circuito. Quando se ligasse o interruptor o que aconteceria?

Se utilizássemos uma pilha, ela descarregava em pouco tempo.

Se fosse em nossa casa, os disjuntores do quadro eléctrico disparavam e ficávamos sem luz. E, se isso não acontecesse, outras coisas bem mais desagradáveis poderiam surgir.

Estávamos em presença de um **curto-circuito**.

O que será então um curto-circuito?

É um circuito com muito pouca resistência eléctrica, daí resultando um aumento brusco da intensidade de corrente.

A lei de Ohm também explica e demonstra esta situação. Para a quantificarmos basta utilizar a respectiva expressão matemática.

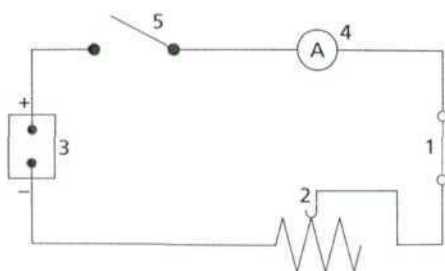
Efeitos da corrente eléctrica

As inúmeras aplicações da electricidade são consequência dos efeitos provocados pela passagem da corrente eléctrica num determinado circuito. Trata-se, afinal, de transformar a energia eléctrica noutra forma de energia, que depois é aproveitada para os mais diversos fins. Os efeitos **térmico**, **químico** e **magnético** da corrente eléctrica assumem grande importância, pelo que nos devem merecer especial atenção.

Efeito térmico

Sempre que a corrente eléctrica se vê obrigada a atravessar materiais que, embora condutores, ofereçam grande resistência à sua passagem (materiais resistentes ou simplesmente **resistências**), as partículas circulantes – electrões – ficam sujeitas a choques frequentes e perdem energia, que se transforma ou manifesta sob a **forma de calor**.

Executemos o seguinte circuito eléctrico:



1. Fio fusível (fio de secção muito pequena)
2. Reóstato (dispositivo que nos permite variar a resistência)
3. Fonte de alimentação
4. Amperímetro
5. Órgão de comando (interruptor)

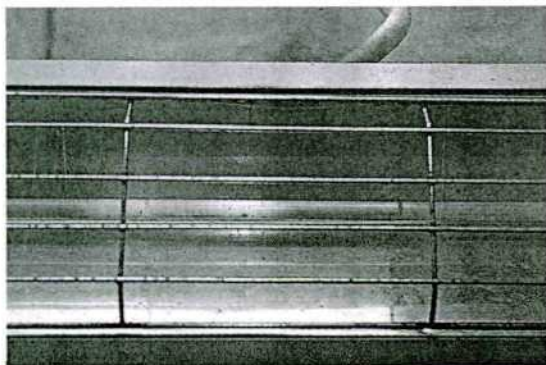
- Ligando o interruptor, e com o reóstato na posição de máxima resistência, nada de especial acontece, com o amperímetro a indicar um valor baixo de corrente, suportável para o circuito.

- Se diminuirmos progressivamente a resistência do reóstato, constatamos que o valor indicado no amperímetro vai aumentando e o fio fusível ficando cada vez mais ao rubro. Este atinge uma temperatura elevada e **irradia energia sob a forma de calor**.

- Continuando a diminuir a resistência, o fio acaba por fundir, pois deixa de suportar a corrente eléctrica que o atravessa.

No nosso quotidiano, o efeito térmico é aquele que mais facilmente identificamos, pois as suas aplicações são evidentes:

- o **fogão eléctrico**, o **aquecedor**, o **ferro de engomar**, o **"cilindro" eléctrico**, o **secador de cabelo**, etc., são todos receptores eléctricos que **transformam a energia eléctrica em energia térmica ou calorífica**. O seu funcionamento baseia-se pois no princípio do efeito térmico da corrente.

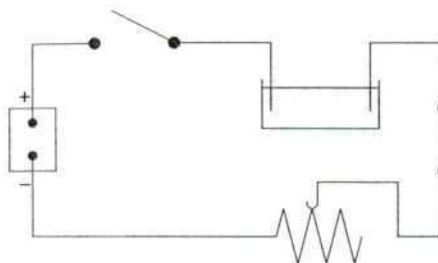


É possível determinar e quantificar a energia térmica libertada pela passagem da corrente eléctrica num receptor. Foi o físico inglês **Joule**, em 1843, o primeiro a dar esta resposta, através da lei que tomou o seu nome: **lei de Joule**.

Efeito químico

A água pura não é condutora de electricidade. Mas se nela diluirmos um ácido, base ou sal, a solução resultante torna-se condutora e, como tal, pode ser atravessada pela corrente eléctrica. O efeito químico reside na electrólise, isto é, na decomposição de uma substância (ou solução) líquida originada pela passagem de uma corrente eléctrica.

O exemplo que nos é mais familiar é a denominada electrólise da água:



A corrente eléctrica ao atravessar a solução (**electrólito**) vai originar de imediato a libertação de bolhas gasosas no interior dos dois tubos, verificando-se um desprendimento mais intenso (o dobro) no tubo ligado ao ânodo (pólo positivo).

Os gases libertados são hidrogénio e oxigénio, afinal os elementos constituintes da molécula de água.

Outros exemplos de electrólise podiam ser referidos:

- do cloreto de cobre, dando cloro + cobre;
- do cloreto de sódio (água salgada), dando sódio + cloro, etc.

8



É através do efeito químico da corrente eléctrica que se executam as "**cromagens**", as "**niquelagens**", o "**prateado**", o "**cobreado**", etc., ou seja, se revestem, de forma electrolítica, certos objectos metálicos de um outro metal ou liga. Este processo designa-se por **galvanostegia**.

O estudo da electrólise e as mais importantes descobertas nesta matéria iniciaram-se em 1833 e devem-se ao físico e químico britânico **Faraday**.

Efeito magnético

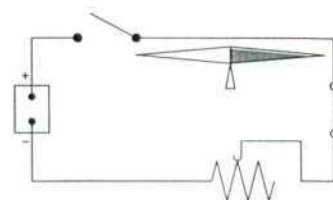
A electricidade e o magnetismo são dois fenómenos que não são independentes. Uma corrente eléctrica cria sempre um campo magnético e este pode gerar uma corrente eléctrica. Esta dependência deu origem à teoria do electromagnetismo, desenvolvida a partir de 1820 pelo matemático e físico francês Ampère. Foi porém **Oersted** (físico dinamarquês) quem, nesse mesmo ano, descobriu o efeito magnético da corrente eléctrica, através de uma experiência que ficou conhecida pelo seu próprio nome.

É colocada uma agulha magnética paralelamente a um condutor, conforme mostra o esquema.

- Com o circuito eléctrico interrompido, a agulha mantém-se na posição inicial de equilíbrio.

- Com o circuito eléctrico fechado, a agulha sofre um desvio originado pelo campo magnético criado pela corrente eléctrica que passou no condutor.

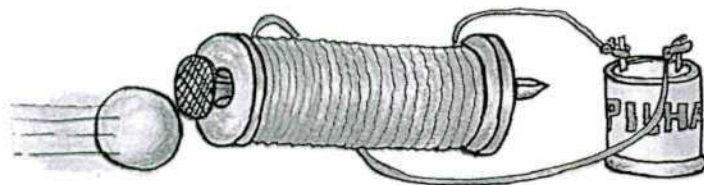
- Se, variando a resistência do reóstato, fizermos passar, por exemplo, o dobro da corrente eléctrica no condutor, o desvio da agulha aumenta também duas vezes. O sentido desse desvio é tal que o seu pólo norte desloca-se sempre para o lado esquerdo do sentido da corrente – **regra de Ampère**.



Outro exemplo ainda:

Todos conhecemos os ímanes naturais. Dizemos que o íman possui magnetismo porque ele consegue atrair outro íman ou outros corpos metálicos ferrosos (limalha de ferro, por exemplo).

Com a corrente eléctrica pode produzir-se o mesmo efeito:



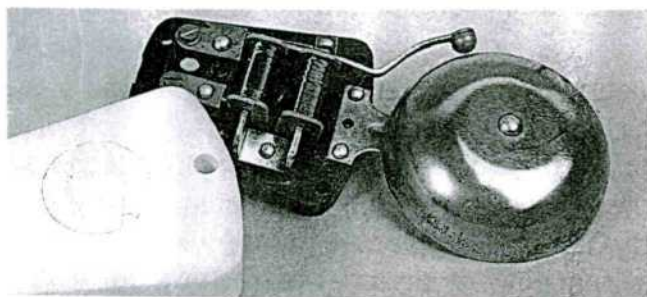
Quando pelo condutor enrolado (bobina) da figura fazemos passar uma corrente eléctrica, verificamos que o prego consegue atrair a esfera. Isto não acontecia se o prego não estivesse no interior da bobina.

Concluimos, então, que a corrente eléctrica fez, temporariamente, do prego um íman.

A bobina e o prego constituíam, neste caso, aquilo a que se chama um **electroímã**. O prego seria o núcleo desse electroímã. O **núcleo** é a peça metálica que vai ser magnetizada pela corrente.

O electromagnetismo baseia-se neste princípio. A própria palavra, aliás, dá isso a entender: **magnetismo criado pela corrente eléctrica**. Voltaremos a este tema na unidade seguinte.

Foi o conhecimento e posterior desenvolvimento do princípio do electromagnetismo que originou o aparecimento de muitos receptores eléctricos bem conhecidos: os motores, as campainhas eléctricas, os trincos eléctricos das portas, etc.



Campainha eléctrica com dois electroímãs.

Aplicações da lei de Ohm

Uma boa interpretação e leitura de circuitos eléctricos pressupõe sempre a aplicação da lei de Ohm, sejam esses circuitos simples ou complicados. Em qualquer dos casos, estão, no mínimo, envolvidas as três grandezas eléctricas fundamentais. Através desta lei é sempre possível determinar qualquer uma dessas grandezas conhecidas as outras duas.

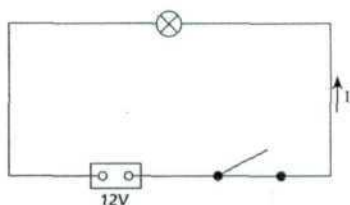
Exemplifiquemos os seguintes circuitos e analisemo-los à luz da lei de Ohm (despreza-se a resistência dos fios):

fonte de alimentação: 12 V

lâmpada: 12 V ; 24 Ω

$$I = \frac{U}{R} ; \quad I = \frac{12}{24} = 0,5$$

$$I = 0,5 \text{ A} ; \quad I = 500 \text{ mA}$$



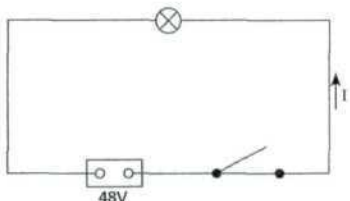
A intensidade de corrente do circuito era a adequada para a lâmpada; esta dava o seu **brilho normal**.

fonte de alimentação: 48 V

lâmpada: 12 V ; 24 Ω

$$I = \frac{U}{R} ; \quad I = \frac{48}{24} = 2$$

$$I = 2 \text{ A}$$



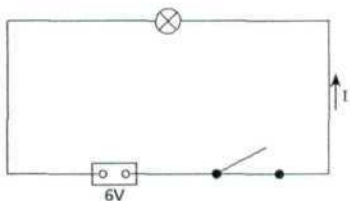
A intensidade de corrente era exagerada para a lâmpada; esta **fundia**.

fonte de alimentação: 6 V

lâmpada: a mesma

$$I = \frac{U}{R} ; \quad I = \frac{6}{24} = 0,25$$

$$I = 0,25 \text{ A} ; \quad I = 250 \text{ mA}$$



A intensidade de corrente era insuficiente; a lâmpada dava uma luz **muito fraca** (metade do brilho normal).

Conclusão: devemos sempre ligar os receptores a uma tensão que lhes seja adequada, para que neles também circule uma corrente adequada, de forma a funcionarem normalmente.

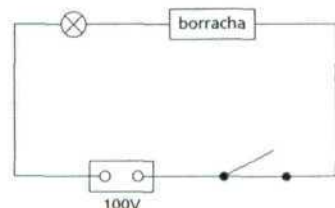
fonte de alimentação: 100 V

lâmpada: a mesma

resistência do circuito: praticamente infinita dado a borracha ser um material isolante

$$I = \frac{U}{R} ; \quad I = \frac{100}{\infty} ; \quad I = 0 \text{ A}$$

A lâmpada não acendia.



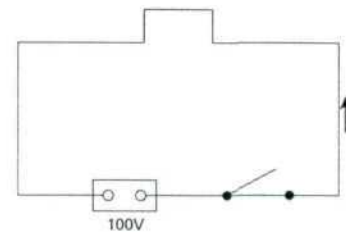
fonte de alimentação: 100 V

resistência do circuito: praticamente nula – apenas a resistência do fio condutor (p. ex., $R = 0,01 \, \Omega$)

$$I = \frac{U}{R}; \quad I = \frac{100}{0,01} = 10\,000$$

$$I = 10\,000 \, \text{A}; \quad I = 10 \, \text{kA}$$

Intensidade de corrente elevadíssima, inoportável para o circuito – **curto-circuito**. A protecção devia actuar automaticamente.



Associação de receptores

É normal um circuito eléctrico englobar vários receptores. Quando isso acontece, existem diferentes modos de os ligar, cada um com vantagens, inconvenientes e aplicações próprias.

Vamos designar esses receptores, genericamente, por resistências e distinguir as três formas de ligação possível:

- **ligação em série**
- **ligação em paralelo**
- **ligação mista** (em tema de “enriquecimento”)

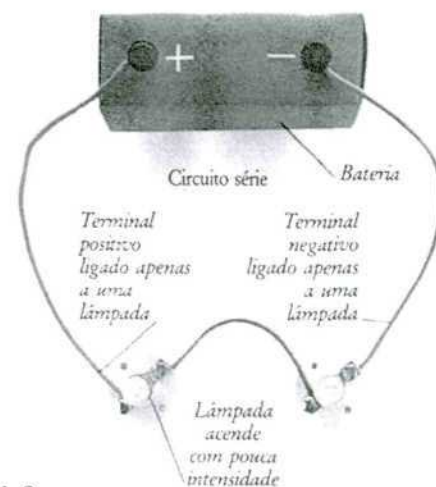
Ligação em série

A ligação em série de resistências consiste em ligar a “saída” de uma à “entrada” da outra e assim sucessivamente.

A análise do esquema do circuito permite-nos desde já chegar à

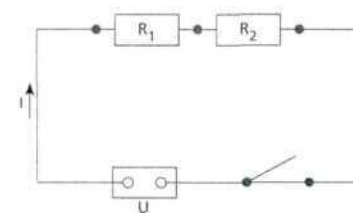
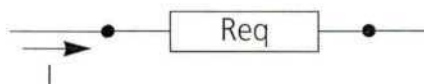
1.ª conclusão:

Na ligação em série só existe um caminho para a corrente eléctrica; a corrente que passa em R_1 é a mesma que passa em R_2 ($I_1 = I_2 = I$).



As duas resistências podem ser substituídas por uma única – **resistência equivalente** –, desde que se somem os seus valores:

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$



Ligação em série.

A intensidade de corrente que percorre o circuito é calculada aplicando a lei de Ohm:

$$I = \frac{U}{R_{eq}}$$

2.ª conclusão:

Quanto maior for o número de resistências (receptores) ligados em série, maior é a resistência do circuito e menor a intensidade de corrente que o atravessa.

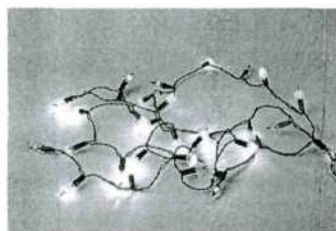
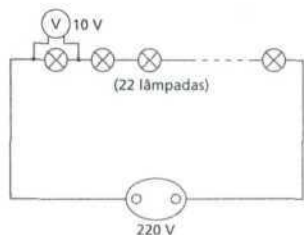
Tendo sempre presente a lei de Ohm, podemos, por outro lado, verificar que:

• a tensão da fonte de alimentação é igual à soma das tensões entre os terminais de cada resistência.

$$U = u_1 + u_2 \quad \text{sendo} \quad \begin{aligned} U &= R_{eq} \times I \\ u_1 &= R_1 \times I \\ u_2 &= R_2 \times I \end{aligned}$$

3.ª conclusão:

• A associação em série de receptores permite que a tensão em cada um deles seja inferior à tensão total aplicada ao circuito.



A "série de Natal".

A ligação em série de receptores tem pouca utilidade prática pois se um receptor avariar os outros também deixam de funcionar. No caso de lâmpadas, por exemplo, se uma fundir as restantes não acendem.

Esta ligação apenas se utiliza em certos circuitos específicos como sejam as conhecidas "séries de Natal" para iluminação das respectivas árvores, onde um conjunto de várias lâmpadas, de tensão reduzida, são ligadas à tomada (220 V). Do que ficou dito, percebe-se que só associando-as em série o circuito tem viabilidade.

8

EXERCÍCIO

Duas lâmpadas, uma com $20 \, \Omega$ de resistência, outra com $30 \, \Omega$, foram ligadas em série a uma tensão de 100 V, tendo ambas dado o seu brilho normal.

Quais os valores da tensão indicados no corpo de cada lâmpada?

Resolução:

$$R_1 = 20 \, \Omega$$

$$R_2 = 30 \, \Omega$$

$$U = 100 \, \text{V}$$

$$u_1 = ?$$

$$u_2 = ?$$

• Cálculo da intensidade de corrente do circuito:

$$I = \frac{U}{R_{eq}}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

$$R_{eq} = 20 + 30$$

$$R_{eq} = 50 \, \Omega$$

$$I = \frac{100}{50}$$

$$I = 2 \, \text{A}$$

• Cálculo das tensões em cada lâmpada:

$$u_1 = R_1 \times I; \quad u_1 = 20 \times 2 = 40$$

$$u_1 = 40 \, \text{V}$$

$$u_2 = R_2 \times I; \quad u_2 = 30 \times 2 = 60$$

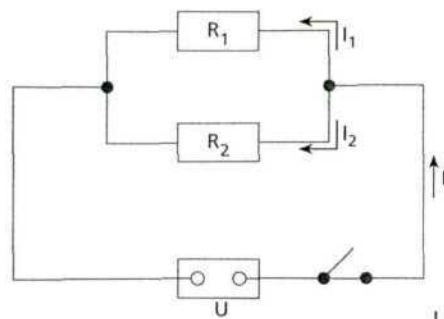
$$u_2 = 60 \, \text{V}$$

Resposta:

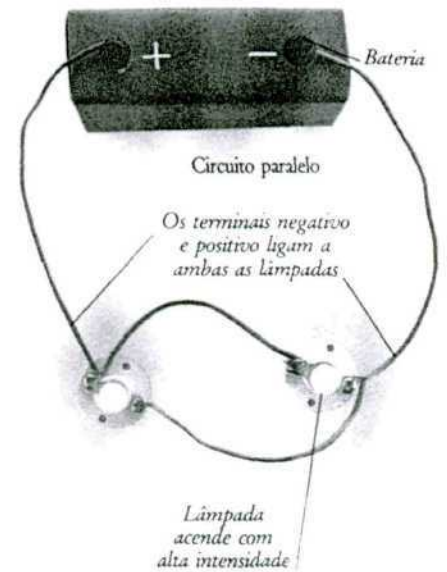
Para darem o seu brilho normal as lâmpadas tinham de valores característicos de tensão 40 V uma e 60 V outra.

Ligação em paralelo

Na ligação em paralelo (ou derivação) de resistências cada um dos seus terminais é ligado entre si, formando o conjunto dois pontos comuns: um na "entrada" e outro na "saída" das resistências.



Ligação em paralelo.



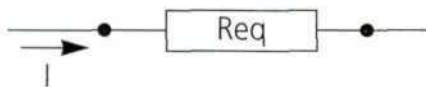
1.ª conclusão:

Na ligação em paralelo existem tantos caminhos para a corrente eléctrica quantos os receptores lá ligados: a corrente total divide-se e a que passa em R_1 pode não ser a mesma que passa em R_2 ($I = I_1 + I_2$).

As duas resistências podem também ser substituídas por uma única – **resistência equivalente** – através da seguinte expressão:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

O inverso da resistência equivalente é igual à soma dos inversos das resistências.



A intensidade de corrente total do circuito é calculada aplicando a lei de Ohm:

$$I = \frac{U}{R_{eq}}$$

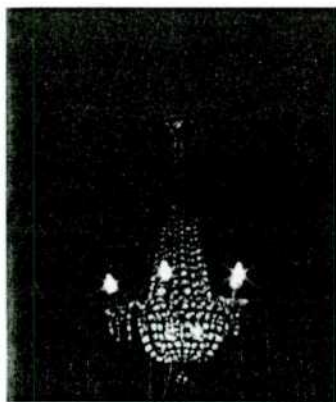
2.ª conclusão:

Quanto maior for o número de resistências (receptores) ligadas em paralelo menor é a resistência do circuito e maior a intensidade de corrente total que o atravessa.

A lei de Ohm prova ainda que:

• a **tensão da fonte de alimentação é igual à tensão entre os terminais de cada resistência.**

$$U = u_1 = u_2 \quad \text{sendo} \quad \begin{aligned} U &= R_{eq} \times I \\ u_1 &= R_1 \times I_1 \\ u_2 &= R_2 \times I_2 \end{aligned}$$



3.ª conclusão:

A associação em paralelo permite ligar, em boas condições de funcionamento, vários receptores à mesma fonte de alimentação, bastando para tal que a tensão característica dos receptores seja igual à tensão da fonte de alimentação.

A ligação em paralelo de receptores é, como se compreende, a mais usada nos circuitos, particularmente nas instalações domésticas.

Todos os receptores que utilizamos em casa estão ligados em paralelo, funcionando à mesma d.d.p. (220 V).

As vantagens deste tipo de ligação são evidentes: os vários receptores funcionam individualmente, cada um com a sua intensidade de corrente própria; se um avariar os outros continuam a funcionar.

EXERCÍCIO

Duas lâmpadas, uma com 440 Ω de resistência, outra com 220 Ω , foram ligadas em paralelo a uma tomada de 220 V.

Determinar os valores da intensidade de corrente em cada lâmpada e à saída da tomada.

8

Resolução:

$$R_1 = 440 \, \Omega$$

$$R_2 = 220 \, \Omega$$

$$U = 220 \, \text{V}$$

$$I_1 = ?$$

$$I_2 = ?$$

$$I = ?$$

$$U = u_1 = u_2$$

$$I = \frac{u_1}{R_1} ; \quad I_1 = \frac{220}{440} = 0,5$$

$$I_1 = 0,5 \, \text{A}$$

$$I = \frac{u_2}{R_2} ; \quad I_2 = \frac{220}{220} = 1$$

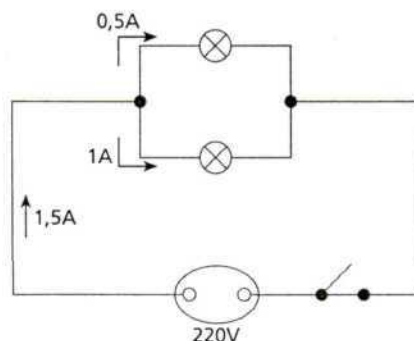
$$I_2 = 1 \, \text{A}$$

$$I = I_1 + I_2 ; \quad I = 0,5 + 1 = 1,5$$

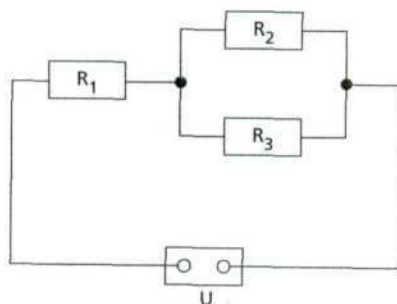
$$I = 1,5 \, \text{A}$$

Resposta:

A intensidade de corrente à saída da tomada é de 1,5 A. Na lâmpada com maior resistência (440 Ω) passa menos corrente (0,5 A); na outra passa o dobro da corrente (1 A), porque ela apresenta metade da resistência (220 Ω).



ASSOCIAÇÃO MISTA DE RECEPTORES



Estamos em presença de uma associação mista sempre que num circuito eléctrico existam resistências ligadas simultaneamente em série e em paralelo. Como podemos verificar no exemplo apresentado, a resistência R_1 está em série com o “paralelo” formado pelas resistências R_2 e R_3 . A associação mista de receptores não obedece a nenhuma lei ou princípio especial; as conclusões obtidas para os circuitos série e paralelo bastam para se compreender este tipo de circuito.

Exercício

Supondo que, no circuito apresentado, as resistências são todas de $16\ \Omega$ e o valor da d.d.p. da fonte de alimentação é de 24 V , calcular:

- a intensidade de corrente total do circuito;
- a tensão entre os terminais das resistências R_1 e R_2 .

Resolução:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 16\ \Omega$$

$$U = 24\text{ V}$$

$$\text{a) } I = ? \quad I = \frac{U}{R_{eq}}$$

• Cálculo da R_{eq} em paralelo (R_x):

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}; \quad \frac{1}{R_x} = \frac{1}{16} + \frac{1}{16} = \frac{2}{16}$$

$$R_x = \frac{16}{2} = 8; \quad R_x = 8\ \Omega$$

• R_{eq} do circuito:

$$R_{eq} = R_1 + R_x; \quad R_{eq} = 16 + 8 = 24$$

$$R_{eq} = 24\ \Omega$$

$$I = \frac{24}{24} = 1; \quad I = 1\text{ A}$$

$$\text{b) } u_1 = ?$$

$$u_2 = ?$$

$$u_1 = R_1 \times I; \quad u_1 = 16 \times 1 = 16$$

$$u_1 = 16\text{ V}$$

$$U = u_1 + u_2; \quad 24 = 16 + u_2; \quad u_2 = 24 - 16 = 8$$

$$u_2 = 8\text{ V} = u_3$$

outro processo: $u_2 = R_2 \times I_2; \quad I = I_2 + I_3; \quad I_2 = I_3$, porque as resistências são iguais

$$I = I_2 + I_3$$

$$I_2 = 0,5\text{ A} = I_3$$

$$u_2 = 16 \times 0,5 = 8$$

$$u_2 = 8\text{ V}$$

Nota: Para determinar a R_{eq} de duas resistências (R_1 e R_2) ligadas em paralelo, poder-se-á utilizar a seguinte expressão:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Caso essas resistências sejam iguais, a R_{eq} é igual a metade do valor das resistências.