

MANUAL DO ALUNO

# DISCIPLINA MECÂNICA GERAL

Módulo 1

República Democrática de Timor-Leste  
Ministério da Educação



## FICHA TÉCNICA

### TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE MECÂNICA GERAL  
Módulo 1

### AUTOR

NUNO BOAVIDA

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA  
XXXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO



PEDRO VIEGAS, COORDENADOR DO CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA

### DESIGN E PAGINAÇÃO

UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA  
EVOLUA.PT

### IMPRESSÃO E ACABAMENTO

XXXXXX

### ISBN

XXX - XXX - X - XXXXX - X

### TIRAGEM

XXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE  
2014



## Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Eletricidade .....</b>                     | <b>7</b>  |
| <b>APRESENTAÇÃO MODULAR .....</b>             | <b>8</b>  |
| APRESENTAÇÃO .....                            | 8         |
| OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM .....               | 8         |
| ÂMBITO DOS CONTEÚDOS .....                    | 8         |
| <b>CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA .....</b>          | <b>10</b> |
| DEFINIÇÃO DE MATÉRIA .....                    | 10        |
| ÁTOMO .....                                   | 12        |
| CARGAS ELÉTRICAS .....                        | 15        |
| <b>EXERCÍCIO TEÓRICOS .....</b>               | <b>17</b> |
| <b>ELETRICIDADE.....</b>                      | <b>18</b> |
| CLASSIFICAÇÃO .....                           | 18        |
| NOÇÃO DE CONDUTOR E ISOLANTE .....            | 18        |
| ELETRIZAÇÃO .....                             | 19        |
| Eletrização por Fricção .....                 | 19        |
| Eletrização por Contacto .....                | 20        |
| Eletrização por Indução .....                 | 21        |
| MOVIMENTO ORIENTADO DE CARGAS ELÉTRICAS ..... | 22        |
| <b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>              | <b>23</b> |
| <b>ENERGIA ELÉTRICA .....</b>                 | <b>24</b> |
| POTENCIAL ELÉTRICO .....                      | 24        |
| CORRENTE ELÉTRICA .....                       | 25        |
| Mecanismo da Corrente Elétrica .....          | 25        |
| Sentidos da Corrente Elétrica .....           | 27        |
| Corrente Contínua .....                       | 28        |
| Corrente Alternada .....                      | 28        |
| RESISTÊNCIA ELÉTRICA .....                    | 29        |
| Cálculo de Resistência de Materiais .....     | 32        |
| Influência da Temperatura .....               | 33        |
| Resistências Elétricas .....                  | 33        |



|   |           |
|---|-----------|
| Identificação das Resistências .....    | 36        |
| Corrente Elétrica .....                 | 39        |
| Resistência .....                       | 40        |
| <b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>        | <b>41</b> |
| <b>LEI DE OHM .....</b>                 | <b>42</b> |
| CÁLCULOS UTILIZANDO A LEI DE OHM .....  | 45        |
| Cálculo da Corrente .....               | 45        |
| Cálculo da Tensão .....                 | 45        |
| Cálculo da Resistência .....            | 45        |
| <b>EXERCÍCIO TEÓRICOS .....</b>         | <b>46</b> |
| <b>CIRCUITO ELÉTRICO .....</b>          | <b>47</b> |
| CIRCUITO EM SÉRIE .....                 | 47        |
| Resistência .....                       | 47        |
| Intensidade de Corrente .....           | 48        |
| Tensão.....                             | 49        |
| CIRCUITO EM PARALELO .....              | 49        |
| Intensidade de Corrente .....           | 49        |
| Tensão.....                             | 50        |
| Resistência .....                       | 50        |
| CIRCUITO MISTO .....                    | 52        |
| LEIS DE KIRCHHOFF .....                 | 54        |
| Lei das Malhas .....                    | 55        |
| Lei dos Nós .....                       | 57        |
| CONSTITUIÇÃO DO CIRCUITO ELÉTRICO ..... | 57        |
| Interruptores .....                     | 58        |
| Carga do Circuito .....                 | 59        |
| Fonte de Alimentação.....               | 60        |
| Fontes de Alimentação em Série .....    | 61        |
| Fonte de Alimentação em Paralelo.....   | 61        |
| <b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>        | <b>63</b> |
| <b>POTÊNCIA ELÉTRICA .....</b>          | <b>65</b> |
| LEI DE JOULE .....                      | 65        |



|   |           |
|---|-----------|
| CURTO-CIRCUITO .....                      | 67        |
| TRABALHO .....                            | 69        |
| POTÊNCIA .....                            | 70        |
| CÁLCULO DE TRABALHO E POTÊNCIA .....      | 71        |
| RENDIMENTO .....                          | 72        |
| <b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>          | <b>74</b> |
| <b>CONDENSADORES .....</b>                | <b>75</b> |
| CARGA DO CONDENSADOR .....                | 76        |
| Tensão de Rutura .....                    | 76        |
| Descarga do Condensador .....             | 77        |
| Capacidade dos Condensadores .....        | 77        |
| Associação de Condensadores .....         | 78        |
| <b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>          | <b>80</b> |
| <b>MAGNETISMO .....</b>                   | <b>81</b> |
| ÍMANES .....                              | 81        |
| CAMPO MAGNÉTICO .....                     | 82        |
| MAGNETIZAÇÃO .....                        | 84        |
| BOBINAS .....                             | 86        |
| ELETROÍMANES .....                        | 88        |
| CONTACTOR .....                           | 88        |
| <b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>          | <b>91</b> |
| <b>TRANSFORMADORES .....</b>              | <b>92</b> |
| PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....          | 93        |
| <b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>          | <b>95</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS .....</b> | <b>96</b> |







# Eletricidade

## Módulo 1

# APRESENTAÇÃO MODULAR

## APRESENTAÇÃO

Neste primeiro módulo da disciplina de Mecânica Geral faz-se uma abordagem aos princípios gerais das leis físicas e químicas que geram a eletricidade.

## OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

Identificar os princípios gerais da eletricidade, principais grandezas elétricas e respectivas unidades, identificar e caracterizar as principais características de campos magnéticos e eletromagnéticos, descrever o princípio de funcionamento de transformadores, motores e geradores elétricos.

## ÂMBITO DOS CONTEÚDOS

- Eletricidade básica
- Potencial elétrico e diferença de potencial
- Corrente elétrica
- Corrente contínua e corrente alternada
- Resistividade e condutividade
- Impedância
- Lei de Ohm
- Análise de circuitos elétricos
- Leis de Kirchoff
- Potência elétrica
- Lei de Joule
- Potência média
- Potência real e potência aparente
- Condensadores
- Carga, capacidade e tensão de ruptura
- Magnetismo





- Ímanes
- Linhas de força do campo magnético
- Permeabilidade magnética
- Magnetização
- Conceito de eletromagnetismo
- Regra da mão direita
- Solenoides e eletroímans
- Indução eletromagnética
- Transformadores
- Motores e geradores elétricos



# CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA

## DEFINIÇÃO DE MATÉRIA

Matéria é tudo aquilo que podemos ver, sentir ou usar. Podemos definir **matéria** como sendo tudo aquilo que tem massa e ocupa lugar no espaço.

A matéria pode ser encontrada em três **estados físicos**:

- Estado sólido;
- Estado líquido;
- Estado gasoso.

Dependendo das condições de pressão e temperatura a que esteja sujeita, uma mesma matéria poderá ser encontrada em qualquer dos três estados enunciados anteriormente.

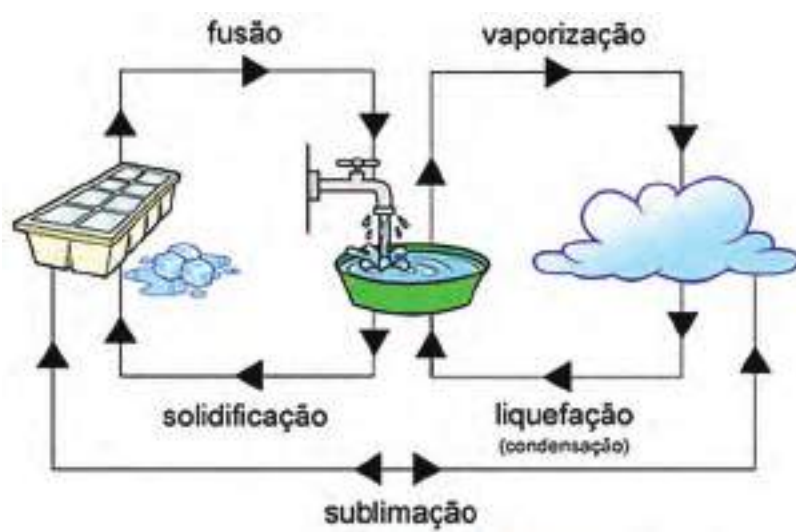


Figura 1 - Estados da Matéria.

À temperatura ambiente e pressão atmosférica, na superfície terrestre, a pedra, a madeira e o ferro encontram-se no estado sólido da matéria, assim como a água, ou a gasolina apresentam-se no estado líquido. Do mesmo modo, o oxigênio, o hidrogênio e o dióxido de carbono apresentam-se no estado gasoso da matéria.

À temperatura ambiente e pressão atmosférica, na superfície terrestre, a pedra, a madeira e o ferro encontram-se no estado sólido da matéria, assim como a água, ou a



gasolina apresentam-se no estado líquido.

Do mesmo modo, o oxigênio, o hidrogênio e o dióxido de carbono apresentam-se no estado gasoso da matéria.

Toda a matéria é formada por materiais básicos, aos quais se dá o nome de elementos, tecnicamente falando, elementos químicos.

Por exemplo, o oxigênio, o hidrogênio, o carbono, o ferro, o cobre são todos eles elementos químicos que compõem um mapa que é denominado de tabela periódica. Nesta tabela estão registados todos os elementos que protagonizam todas as reações químicas que conhecemos até hoje.

Existem mais materiais que elementos, visto que da mistura de elementos, ou por outro lado, através de reações químicas, da forma como os elementos se combinam, resultam o que designamos como substâncias compostas.

Por exemplo o oxigênio e o hidrogênio, como foi referido, são elementos que, quando combinados entre si, dão origem a uma substância composta denominada por água. A combinação do elemento químico sódio (Na) com o elemento Cloro (Cl) dá origem ao cloreto de sódio, mais conhecido como sal de cozinha.

Na indústria automóvel, na conceção de motores, o ferro é o elemento dominante, mas com os esforços e atritos mecânicos a que ficaria sujeito, o ferro, sem outro componente associado, deformar-se-ia com grande facilidade.

Para atenuar esta situação, o elemento químico ferro (Fe) é composto ou combinado com o carbono em proporções calculadas por forma a dar origem ao aço.

O aço é, por sua vez, um composto químico metálico com muito mais rigidez mecânica que o ferro, na sua forma mais simples e mais elementar.

Da junção da quantidade mínima dos elementos que formam uma substância composta resulta uma molécula dessa mesma substância.

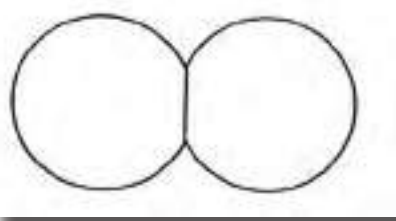
Por outras palavras, a **molécula** de uma substância composta é a parte mais pequena possível da matéria, com as mesmas características da substância composta que lhe deu origem. Uma vez dividida a molécula, obtêm-se os elementos que a formam.



## ÁTOMO

O átomo é a menor partícula que um elemento pode ser reduzido, mantendo as propriedades deste elemento.

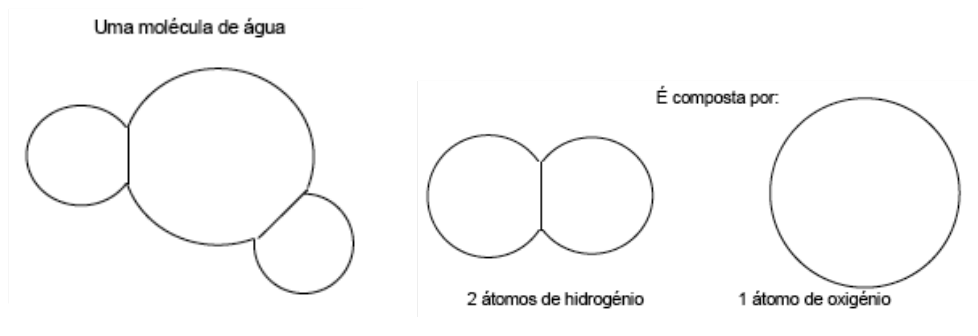
Grande parte dos elementos químicos que nos rodeiam, principalmente os gases como o caso do oxigénio e do hidrogénio, existem na natureza sobre a forma de molécula, ou seja, na forma molecular.



*Figura 2 - Dois átomos de oxigénio agrupados formando uma molécula de oxigénio (O<sub>2</sub>) tal como ela existe na atmosfera.*

Para o caso do oxigénio e do hidrogénio esta molécula traduz-se num agrupamento de dois átomos do mesmo elemento e têm, respetivamente, os símbolos químicos O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>. Seguindo o exemplo da água, se uma gota desta substância for reduzida ao seu menor tamanho possível, obteríamos uma molécula de água. Reduzindo ainda esta molécula, chegaríamos aos átomos de hidrogénio e oxigénio.

Da divisão de um átomo resultam partículas que se encontram em todos os elementos. Assim, o que confere as diferentes propriedades de cada elemento, é o número destas partículas subatómicas que compõem os seus átomos.



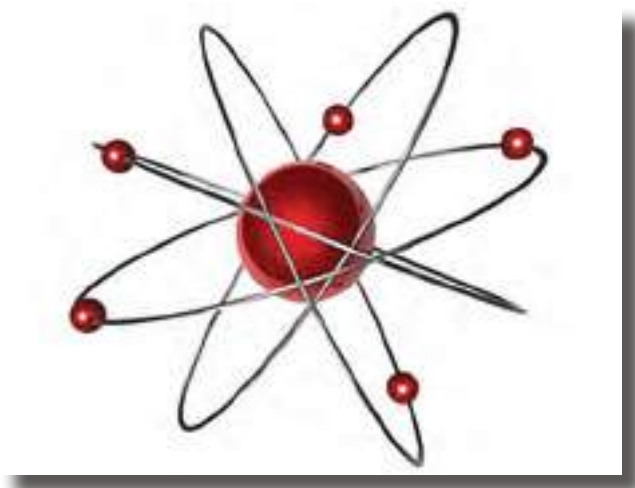
*Figura 3 - Constituição molecular da água.*



Para o estudo da eletricidade, as partículas mais importantes que o átomo contém são:

- Elétrões;
- Protões;
- Neutrões.

Os **protões** e os **neutrões** encontram-se no centro, formando o núcleo do átomo, enquanto os **elétrões** giram em torno do núcleo em órbita (Figura 4).



*Figura 4 - Átomo de Oxigênio.*

Trata-se dum modelo bastante semelhante ao sistema solar, sendo o núcleo do átomo o sol, sendo os elétrões, os planetas orbitando em torno do sol.

Atendendo ao facto que corpos elétricos de sinal contrário se atraem e cargas com o mesmo sinal se repelem, os protões tendem a afastar-se uns dos outros. O mesmo acontece entre os elétrões. Inversamente, os elétrões e os protões atraem-se mutuamente.

No entanto, apesar das forças de repulsão existentes entre os protões, estes nunca se desagregam do núcleo, uma vez que os neutrões têm a função de os fixar.

Por sua vez, os elétrões orbitam em torno do núcleo de maneira que a sua força de atração para o núcleo (para os protões), força centrípeta, seja igual à força centrífuga, força esta gerada pela translação em torno do núcleo que poderá levar os elétrões a serem excluídos do átomo.

O número de protões existente no núcleo determina as diferenças entre os átomos dos vários elementos e, conseqüentemente, dita a massa dos mesmos.



O próton é uma partícula de carga elétrica positiva, como já foi referido. O neutrão é eletricamente neutro servindo fundamentalmente, como massa fixadora do próton e garantia de estabilidade do núcleo.

Assim, resulta que o núcleo de qualquer átomo seja sempre positivo do ponto de vista elétrico. Os eletrões têm carga negativa e participam do fluxo ou transferência de energia elétrica, pois possuem uma grande facilidade de movimento.

Num átomo eletricamente neutro, ou seja, estável, o número de eletrões é igual ao número de prótons por forma que a carga negativa seja igual á carga positiva.

O núcleo do átomo de hidrogénio contém um próton, o do carbono 6, do oxigénio 8, do silício 14 e do germânio 32. Por esta razão, os diferentes elementos são identificados pelo seu número atómico, que nos indica o número de prótons que existem no núcleo.

Num átomo, o número de eletrões e de prótons é igual para que as cargas elétricas de sinal oposto se anulem. Devido à facilidade de movimento e reduzido peso dos eletrões, o número destes pode ser alterado.

A alteração do número de eletrões, faz com que a carga elétrica dum átomo seja alterada, deixando este de ser neutro. Consequentemente deixará de ser denominado por átomo passando a chamar-se ião.

No caso de terem sido retirados eletrões ao átomo, este passa a ter uma carga positiva, pois os prótons são agora mais numerosos em relação aos eletrões. Passa a haver maior abundância de carga positiva. Nestas condições dá-se, ao átomo, o nome de ião positivo. Se, pelo contrário, forem adicionados eletrões ao átomo, a sua carga passa a ser negativa pela abundância de partículas eletricamente negativas, tomando a átomo o nome de ião negativo.

Existem substâncias que devido à sua estrutura atómica não admitem o ganho ou a perda de eletrões, não sendo portanto possível a obtenção de iões neste tipo de substâncias. Assim, podemos concluir que nem todos os elementos químicos se podem facilmente combinar entre si, ou seja, não é possível constituir um composto com qualquer elemento químico, sendo necessário um estudo prévio do comportamento do átomo e da sua própria estrutura.

Desta forma, nem todas as substâncias existentes na natureza se combinam por meios iónicos, trocando entre si eletrões.



## CARGAS ELÉTRICAS

Às cargas elétricas de um próton e de um elétron dá-se o nome de **cargas eletrostáticas**, produzindo linhas de força, criando campos eletrostáticos à sua volta. A interação desses campos pode provocar a atração ou a repulsão das partículas carregadas eletricamente. Tal como foi visto anteriormente, a lei das cargas elétricas estabelece que cargas com o mesmo sinal se repelem e cargas de sinal contrário se atraem.

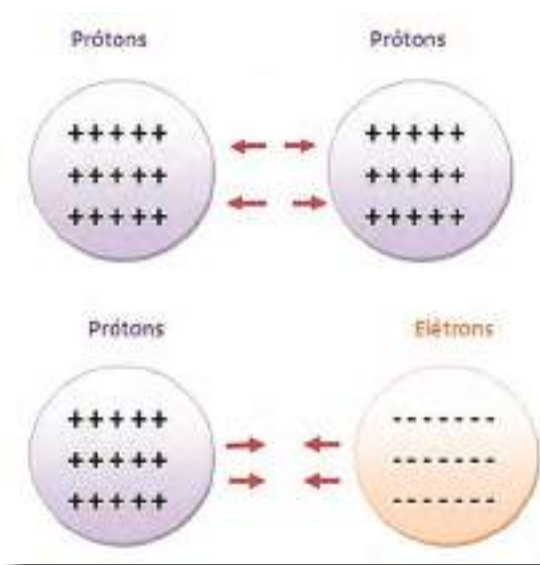


Figura 5 - Comportamento das cargas elétricas.

Num átomo, o número de elétrões e de protões é igual para que as cargas elétricas de sinal oposto se anulem. Devido à facilidade de movimento e reduzido peso dos elétrões, o número destes pode ser alterado.

A alteração do número de elétrões, faz com que a carga elétrica dum átomo seja alterada, deixando este de ser neutro. Consequentemente deixará de ser denominado por átomo passando a chamar-se ião.

No caso de terem sido retirados elétrões ao átomo, este passa a ter uma carga positiva, pois os protões são agora mais numerosos em relação aos elétrões. Passa a haver maior abundância de carga positiva. Nestas condições dá-se, ao átomo, o nome de **ião positivo**. Se, pelo contrário, forem adicionados elétrões ao átomo, a sua carga passa a ser negativa pela abundância de partículas eletricamente negativas, tomando a átomo o nome de **ião negativo**.



Se forem adicionados eletrões ao átomo, a sua carga passa a ser negativa pela abundância de partículas eletricamente negativas, tomando a átomo o nome de ião negativo.

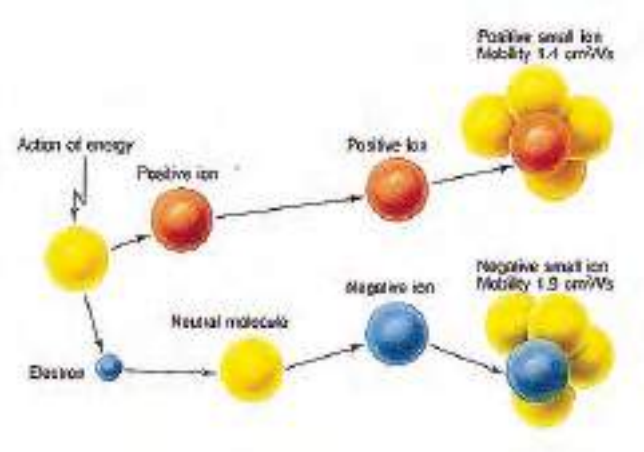


Figura 6 - Iões positivo e negativo.

Existem substâncias que devido à sua estrutura atômica não admitem o ganho ou a perda de eletrões, não sendo portanto possível a obtenção de iões neste tipo de substâncias. Podemos concluir que nem todos os elementos químicos se podem facilmente combinar entre si, ou seja, não é possível constituir um composto com qualquer elemento químico, sendo necessário um estudo prévio do comportamento do átomo e da sua própria estrutura. Assim, nem todas as substâncias existentes na natureza se combinam por meios iónicos, trocando entre si eletrões.





# EXERCÍCIO TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Quais os estados fundamentais da matéria?

**EXERCÍCIO 2.** Considere os elementos químicos seguintes: Indique o estado de cada um deles à temperatura ambiente:

- Ouro:
- Prata:
- ferro:
- Oxigênio:
- Mercúrio:
- Hélio:
- Azoto:

**EXERCÍCIO 3.** Dê uma definição de molécula.

**EXERCÍCIO 4.** Dê uma definição de átomo.

**EXERCÍCIO 5.** Defina ião positivo e negativo.



# ELETRICIDADE

## CLASSIFICAÇÃO

Até hoje ainda não foi possível determinar a verdadeira natureza da eletricidade; a esse respeito apenas se fazem suposições, tal como para a gravidade, o calor e a luz.

Definir energia elétrica é tão difícil como definir o termo energia, no entanto são bem conhecidos os efeitos produzidos pela eletricidade, e isso permite tirar dela um grande partido, como as suas numerosas aplicações confirmam.

A eletricidade pode classificar-se em:

- Eletricidade estática, ou eletricidade em repouso;
- Eletricidade dinâmica, ou eletricidade em movimento.

A **eletricidade estática** aplica-se mais propriamente à eletricidade obtida por fricção como veremos adiante.

A **eletricidade dinâmica** é a que tem maior relevância pois é aquela que se traduz pela corrente elétrica que nós consumimos em nossas casas, por ser a responsável pela luz nos nossos lares e fazer andar os automóveis.

## NOÇÃO DE CONDUTOR E ISOLANTE

O que distingue estes dois grupos de substâncias, condutores e isoladores, é a sua capacidade de conduzir, ou transmitir, **carga elétrica**.

O cobre, o latão, a prata, e em geral todos os metais, são **bons condutores** de eletricidade. O vidro, a borracha, a madeira a maioria dos plásticos, os óleos são maus condutores sendo, por isso, considerados **isoladores** (Figura 1).

A característica física que permite a um material ser bom condutor é o facto de os eletrões de valência do seu átomo (aqueles que se encontram na órbita exterior) estarem sujeitos a forças de atração muito fracas, por parte do núcleo. Como resultado, estes podem facilmente ser removidos do átomo e deslocarem-se pelo condutor, isto é, não estão permanentemente ligados a um só átomo. Por outro lado, nos isoladores, os eletrões de valência estão fortemente ligados ao átomo. Existe ainda outra classe,



os semicondutores que como o nome indica, a sua condutibilidade pode ser variada adicionando-lhes impurezas atômicas, em concentração variável. Os semicondutores são a base de construção dos transístores, díodos e circuitos integrados, matéria mais do âmbito do campo da eletrónica. Estes semicondutores são substâncias que têm um comportamento tal como o nome indica: umas vezes conduzem corrente elétrica, outras vezes comportam-se como isoladores, dependendo do relacionamento com materiais condutores que lhes são adicionados.

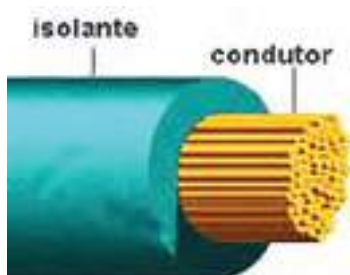


Figura 1 - Condutor e isolante.

A **condutibilidade** de um material é, como veremos de seguida, o inverso da sua resistência. Quanto maior for o valor da condutibilidade de certa substância, melhor conduz corrente elétrica.

## ELETRIZAÇÃO

Um material torna-se eletrizado quando um número elevado de átomos desse material perde ou ganha eletrões. Conforme veremos adiante, existem diversos meios de efetuar tal processo.

### Eletrização por Fricção

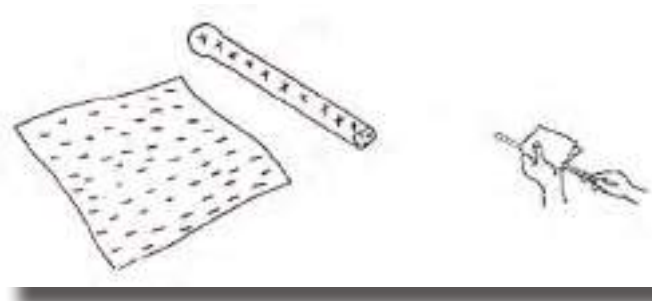
Friccionando uma vareta de vidro com um pano de lã ou de seda e aproximando-a depois de pequenos pedaços de papel, verificamos que estes são atraídos para a vareta. A vareta depois de friccionada ficou eletrizada positivamente e o pano de seda ficou eletrizado negativamente.



Verifica-se que os eletrões à superfície da vareta de vidro são facilmente desalojadas pelo atrito e pela fricção. É um fenómeno deste género que provoca o aparecimento da eletricidade estática num automóvel. Por vezes, com tempo seco, ao sairmos do automóvel apanhamos um pequeno choque. Isto não é mais que uma descarga elétrica provocada pela acumulação da carga eletrostática na carroçaria, ou nos ocupantes da viatura. A eletricidade estática surge no automóvel devido ao atrito ou à fricção do ar na carroçaria, à fricção da embraiagem, dos travões e do próprio condutor com os estofos. Note-se que não é possível eletrizar metais, se não houver o cuidado de os segurar por intermédio de um corpo isolador.

Na realidade e pelo que foi dito, a eletrização desses corpos também se produz quando segurados pela mão, mas a eletricidade desenvolvida reparte-se imediatamente por toda a sua superfície do corpo humano, escoando-se para a terra.

No exemplo da carroçaria metálica do automóvel devido à fricção do ar, ela fica eletrizada uma vez que não se estabelece o contacto com a terra carregado negativamente. Isto deve-se à existência dos pneus que constituem um isolador.



*Figura 2 - Eletrização dum vareta de vidro com um pano de seda criando eletricidade estática.*

### *Eletrização por Contacto*

Se pusermos um corpo eletrizado negativamente em contacto com outro de carga neutra, a sua carga negativa será transferida para o outro, eletrizando-o também negativamente. Se o corpo eletrizado tiver uma carga positiva, o corpo neutro ficará com uma carga também positiva. A este fenómeno dá-se o nome de eletrização por contacto.





Figura 3 - Eletrização do eletroscópio por contacto.

### Eletrização por Indução

Se aproximarmos um corpo eletrizado negativamente, sem tocar, a um corpo neutro que esteja ligado através de um condutor (por exemplo, o nosso dedo) à terra, os eletrões deste último escapar-se-ão para a terra, sendo portanto estabelecido o contacto elétrico com a terra.

Ao tirar o dedo, dado que os eletrões não poderão voltar à origem, o corpo ficará com uma carga positiva.



Figura 4 - Eletrização por indução.

Cargas eletrostáticas podem ser desagradáveis (ou mesmo perigosas), mas também podem ser benéficas em algumas situações práticas.

Para quem repara certo tipo de equipamentos eletrónicos bastante sensíveis a cargas eletrostáticas, bem como para aqueles que o produzem, existe no mercado aparelhagem como pulseiras condutoras ou tapetes, por forma que o técnico reparador tenha sempre assegurada a ligação à terra.



Por outro lado, semicondutores mais complexos, como o caso de microprocessadores e alguns tipos de circuitos integrados, são postos à venda de uma forma bastante cuidada, como por exemplo, embrulhados em papel de alumínio, pelo motivo anteriormente descrito.

Qualquer manuseamento direto com a parte ativa destes componentes pode ser fatal para o componente, porque a carga eletrostática pode neste caso ser responsável pela sua avaria irreversível.

### *MOVIMENTO ORIENTADO DE CARGAS ELÉTRICAS*

Nos átomos que compõem a estrutura dos metais, os eletrões periféricos ou de valência são, em geral, em número de um, dois ou três. Estes eletrões estão ligados muito debilmente à sua orbita do átomo.

É costume chamar a estes eletrões, debilmente ligados ao núcleo, movendo-se ao longo de todo o metal, eletrões livres ou eletrões de condução. Esta mobilidade é tanto maior quanto maior for a temperatura a que o metal está sujeito. Com o aumento da temperatura o número de eletrões livres tende a aumentar num metal.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Defina eletricidade estática e dinâmica.

**EXERCÍCIO 2.** Dê exemplos de materiais bons condutores elétricos e isolantes.

**EXERCÍCIO 3.** Defina material semicondutor e dê exemplos.

**EXERCÍCIO 4.** Diga o que entende por eletrização de um material e que tipos existem.



# ENERGIA ELÉTRICA

## POTENCIAL ELÉTRICO

Se esfregarmos um pano de lã numa vareta de vidro, esta última fica, como já vimos, eletrizada positivamente e o pano negativamente. A vareta de vidro, perde elétrons para o pano de lã e adquire um potencial positivo. O pano de lã, com maior abundância de elétrons fica com um potencial negativo. Entre a vareta de vidro e o pano de lã existe portanto uma diferença de potencial, que sendo bastante reduzida é impossível de ser fisicamente medida.

O aparelho mais conhecido que consegue manter uma diferença de potencial durante um tempo considerável é a pilha elétrica ou bateria, que estudaremos adiante com mais pormenor. A unidade em que se mede força eletromotriz é o volt, podendo também à sua fonte, chamar-se fonte de tensão. No caso dos automóveis, a sua bateria é o modo mais cómodo de armazenar a energia elétrica, estando sempre presente aos terminais da bateria sob a forma de uma diferença de potencial elétrico, à qual se dá igualmente o nome de força eletromotriz.

A polaridade da fonte de tensão determina o sentido da corrente no circuito. A tensão fornecida pela fonte determina a intensidade da corrente, em função da carga do circuito.



Figura 1 - Bateria utilizada como fonte de alimentação.





A fonte de tensão poderá alimentar o circuito com corrente contínua (caso de bateria do automóvel ou das pilhas de um rádio portátil) ou com corrente alternada (caso da rede elétrica geral ou de um gerador / alternador).

A tensão ou diferença de potencial é representada com o símbolo V ou E e expressa na unidade Volt, com o símbolo V.

## CORRENTE ELÉTRICA

Tal como o exemplo da vareta de vidro eletrizada e o pano de lã, se ligarmos os dois corpos por um fio condutor produzimos aquilo a que podemos denominar de descarga elétrica, ou seja um movimento de eletricidade de um corpo para o outro até que a diferença de potencial entre os dois corpos se anule.

Seguindo este exemplo, a descarga elétrica dura muito pouco tempo porque, rapidamente, os dois corpos ficam ao mesmo potencial.

Fazendo a experiência de ligar um corpo eletrizado à terra por meio de um fio metálico, pode verificar-se que ao fim de muito pouco tempo o corpo perde toda a sua carga elétrica.

Isto acontece porque a terra, de dimensão muito grande, é capaz de fazer esgotar toda a carga de eletricidade dos corpos que com ela comuniquem, absorvendo toda a energia elétrica disponível. No entanto, criou-se um fluxo de cargas elétricas entre o corpo e a terra. Ao movimento das cargas eletricamente carregadas dá-se o nome de **corrente elétrica**.

No caso da eletricidade estática existe corrente apenas durante um período de tempo bastante reduzido, por isso este tipo de eletricidade é pouco útil, servindo para pouco mais que um modelo didático. No domínio da eletricidade dinâmica, tratamos de correntes elétricas temporárias.

### *Mecanismo da Corrente Elétrica*

Entre os polos da bateria dum automóvel existe uma diferença de potencial. Ligando-os por um fio metálico a um aparelho detetor da passagem de corrente (uma simples lâmpada por exemplo) este aparelho revelará a existência da corrente elétrica.



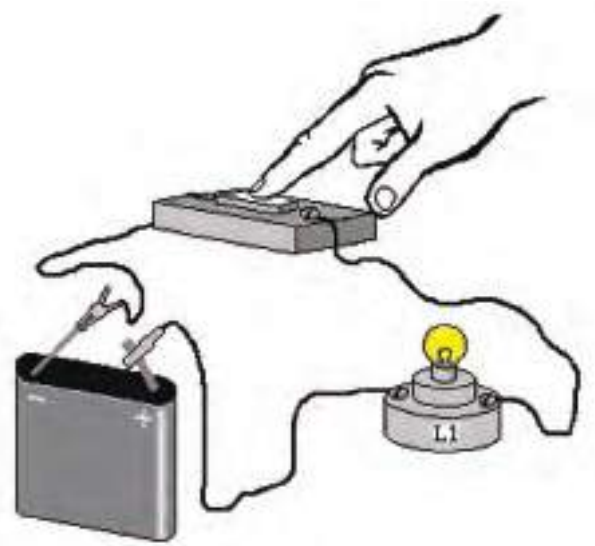


Figura 2 - Circuito elétrico simples.

Antes do estabelecimento da corrente elétrica existem, no fio, elétrons de condução, os tais elétrons de valência que movem-se livre e caoticamente, entre os átomos passando de uns para os outros. O movimento de cada elétron entre órbitas de dois átomos vizinhos é muito rápido e muito irregular.

Após o estabelecimento da corrente, os elétrons livres passam a orientar-se, predominantemente num determinado sentido (dos menores potenciais para os maiores potenciais) e vão progredindo, lenta mas regularmente. A luminosidade de uma lâmpada depende da intensidade da corrente que a percorre.

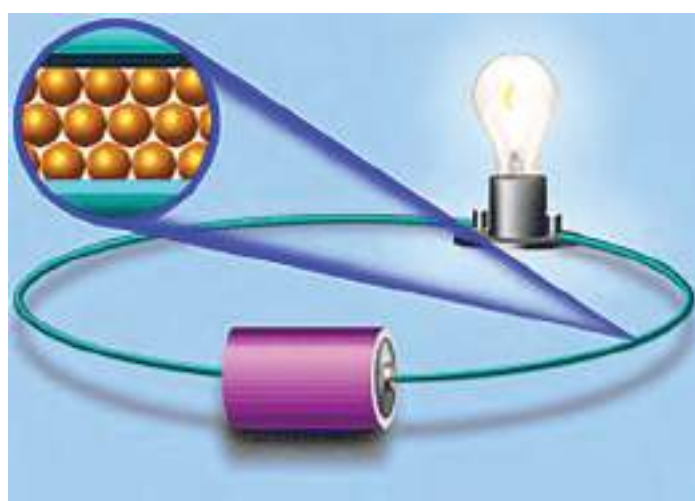


Figura 3 - Deslocamento dos elétrons ao longo dum condutor quando estabelecida uma corrente elétrica.



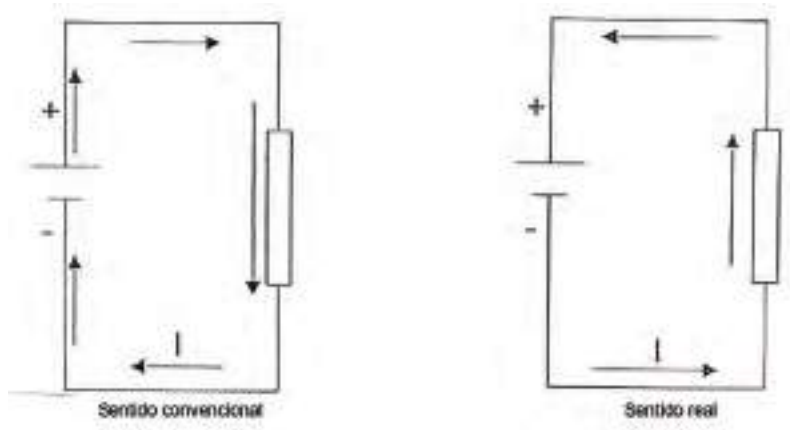
Então, se os elétrons progridem tão lentamente, como compreender que ao fechar o interruptor de um circuito, por exemplo, em nossas casa, aparelhos por vezes tão distantes acendam instantaneamente? Os elétrons ao propagarem-se vão encontrando pela frente não só os átomos do metal como outros elétrons com os quais interatuam por meio de forças repulsivas. Basta o movimento dum elétron livre no início do condutor para provocar o andamento de toda a corrente eletrônica.

Imagine-se um comboio quase tão comprido quanto a distância entre duas estações, quando o comboio avança um pouco, já chegou à próxima estação. O mesmo acontece com a corrente elétrica, sendo os elétrons o meio de transmissão de carga elétrica. As correntes elétricas consistem em fluxos orientados de partículas portadoras de carga elétrica (os elétrons nos metais) só ocorrem quando existe uma diferença de potencial. O fluxo de corrente dependerá da quantidade de elétrons que se movem numa mesma direção e sentido, isto é, depende da quantidade de energia que lhes for aplicada. A intensidade de corrente elétrica (quantificação da corrente elétrica) é representada com o símbolo “ $I$ ” e a unidade em que vem expressa é o Ampere (A).

### *Sentidos da Corrente Elétrica*

O sentido real da corrente elétrica, visto que é provocada pelo movimento dos elétrons, é sempre do polo negativo (-) para o polo positivo (+) da pilha ou bateria.

No entanto, nos primórdios da eletricidade, pensou-se que a corrente seria devida ao movimento das cargas positivas, à semelhança das deslocações das massas de ar na atmosfera. Assim ficou estipulado que o sentido de corrente seria do positivo para o negativo.



*Figura 4 - Sentidos da corrente elétrica.*



Para o estudo de circuitos adota-se esta definição, estipulando-se que a corrente é positiva no sentido de (+) para (-).

## Corrente Contínua

Designa-se por **corrente contínua** o fluxo de corrente originado pelo movimento dos eletrões do polo negativo para o polo positivo sem alteração do sentido, ou seja, sem alteração de polaridade. A fonte que origina este fenómeno é designado como fonte de corrente contínua e sempre que for utilizada num circuito este designar-se-á como circuito de corrente contínua.

A corrente contínua pode ser designada por CC (corrente contínua) ou por DC (em inglês direct-current). Na figura 5 podemos constatar que não existe variação, ao longo do tempo, do valor da intensidade da corrente.

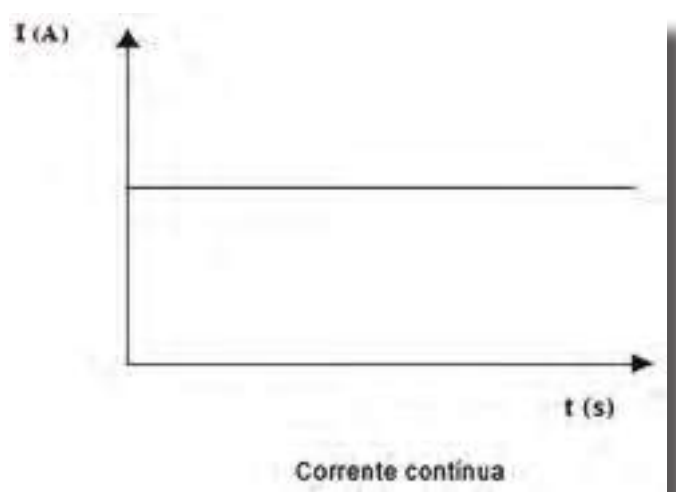


Figura 5 - Corrente contínua ao longo do tempo.

## Corrente Alternada

Existe um tipo de corrente que não mantém o mesmo sentido. O fluxo de eletrões dá-se nos dois sentidos alternadamente. Este tipo de corrente designa-se por **corrente alternada** e pode ser representada por AC (em inglês alternating-current).

Como em qualquer circuito, a corrente desloca-se do polo negativo para o polo positivo só que, neste caso, a polaridade da fonte de alimentação é alternada constantemente com uma determinada frequência.



Este tipo de fonte é designada por fonte de corrente alternada e os circuitos alimentados por ela são designados circuitos de corrente alternada, ou circuitos AC.

A corrente alternada é muito mais utilizada como fonte primária de energia elétrica do que a corrente contínua. Isto deve-se ao facto de o transporte a longas distâncias deste tipo de energia ser mais fácil e económico e por se conseguir um elevado rendimento em determinadas aplicações práticas.

No entanto a corrente contínua não se tornou obsoleta, pois tem aplicação no campo da eletrónica, sendo este um dos principais pilares do nosso desenvolvimento tecnológico.

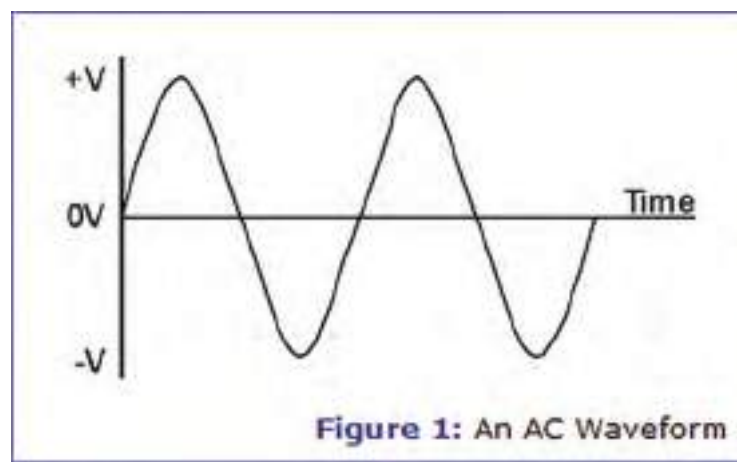


Figura 6 - Corrente alternada.

## RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Em eletricidade, o termo resistência significa a oposição que um material provoca à passagem de corrente elétrica. Se ligarmos primeiro uma só lâmpada, depois duas e por fim três lâmpadas iguais, em série e a uma mesma bateria, notar-se-á que a luz emitida pelas lâmpadas irá sucessivamente diminuindo como se vê pela figura 7.

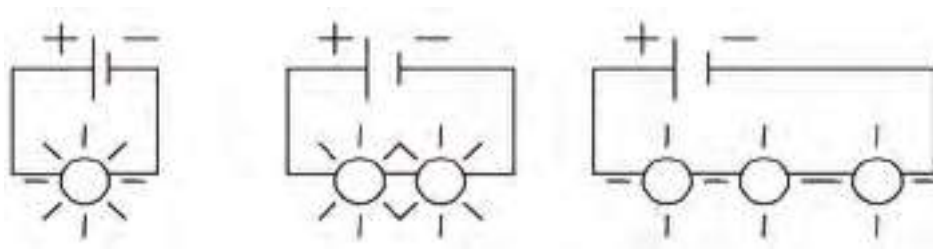


Figura 7 - Variação de resistência elétrica.



Conclui-se que a intensidade da corrente diminui à medida que se vai aumentando o número de lâmpadas intercaladas no mesmo circuito. É o mesmo que dizer que, ao aumentar o número de lâmpadas, aumenta-se o número de resistências no circuito criando uma dificuldade progressivamente maior à passagem da corrente elétrica. Desta forma, diz-se que **resistência** é a dificuldade imposta à passagem de corrente elétrica no circuito.

A resistência elétrica depende de vários fatores. Depende do comprimento do condutor, pois como acabamos de ver, quanto maior for a extensão dum circuito maior será a sua resistência elétrica. Por outro lado, a secção de um condutor também é um fator importante para o cálculo de uma resistência elétrica. Se a secção do condutor for pequena, haverá menor propagação de corrente elétrica uma vez que o “caudal” será menor proporcionalmente a sua resistência será elevada. Por sua vez, se a secção do condutor for elevada, haverá circulação de corrente elétrica com facilidade, de tal forma que leva a concluir que neste caso, a sua resistência será pequena.

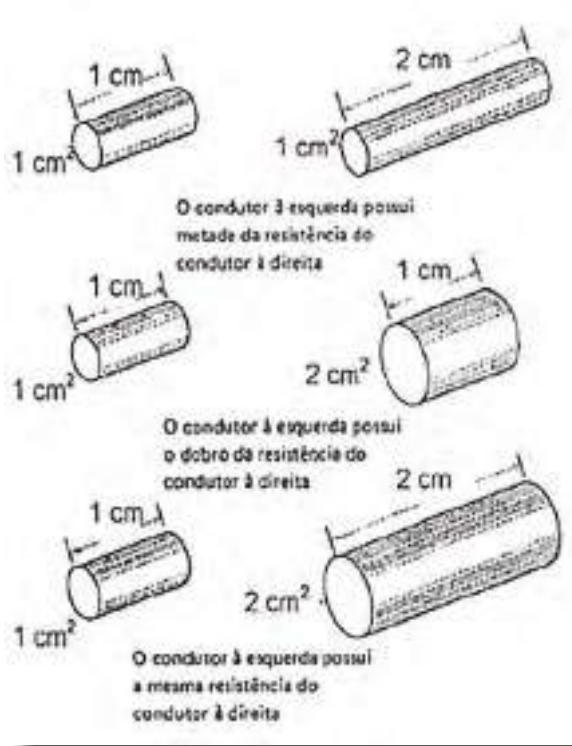


Figura 8 - Variação da resistência de um fio condutor em função da secção e comprimento.



duta de água. Se a conduta tiver uma secção pequena, a água terá maior dificuldade em escoar. Pelo contrário, se a secção for superior, a água fluirá rapidamente, podendo-se transportar maior caudal do mesmo líquido.

A resistência elétrica é um dos fatores igualmente importante e é característica própria do material que compõe o condutor.

A resistência elétrica, além de depender das dimensões do condutor, é também variável com a sua natureza, isto é, dois condutores com as mesmas dimensões, um de cobre e outro de ferro possuem resistências diferentes, varia neste caso apenas a sua resistividade.

É um fenómeno comparável a uma conduta de água. Se a conduta tiver uma secção pequena, a água terá maior dificuldade em escoar. Pelo contrário, se a secção for superior, a água fluirá rapidamente, podendo-se transportar maior caudal do mesmo líquido.

A resistência elétrica é um dos fatores igualmente importante, e é característica própria do material que compõe o condutor.

A resistência elétrica, além de depender das dimensões do condutor, é também variável com a sua natureza, isto é, dois condutores com as mesmas dimensões, um de cobre e outro de ferro possuem resistências diferentes, varia neste caso apenas a sua resistividade.

A **resistividade** é uma característica de cada material sendo numericamente variável para cada tipo de metal.



## Cálculo de Resistência de Materiais

Para calcularmos a resistência de um fio ou cabo condutor temos de ter em conta o tipo de material que o constitui, a secção transversal à passagem de corrente e o seu comprimento. Vamos desprezar a variação de temperatura e admitir, para efeito de cálculo, a temperatura ambiente de 21 °C. A fórmula que nos permite calcular a resistência elétrica, em função de sua natureza é a seguinte:

$$R = \rho \times \frac{L}{S}$$

$R$  = Resistência do cabo expressa em Ohm ( $\Omega$ ).

$\rho$  = Resistividade do material a 21 °C expressa em ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ).

$L$  = Comprimento do cabo, expresso em metros ( $\text{m}$ ).

$S$  = Secção transversal do cabo, expressa em ( $\text{mm}^2$ ).

### EXEMPLO

Consideremos um cabo elétrico de um automóvel com um comprimento de 2 m, com um diâmetro de 2 mm e uma resistividade a 21 °C de 0,017  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ . Calcular a resistência do cabo.

TABELA DE RESISTIVIDADE ELÉCTRICA DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS

| METAL    | RESISTIVIDADE ELÉCTRICA<br>( $\Omega \text{ mm}^2/\text{mm}^2$ ) |
|----------|--|
| Alumínio | 0,0265   |
| Cobre    | 0,0172   |
| Estanho  | 0,115  |
| Ferro    | 0,10   |
| Níquel   | 0,078  |
| Ouro     | 0,0244   |
| Prata    | 0,0159   |
| Platina  | 0,0220   |
| Zinco    | 0,058  |

Tabela 1 - Tabela de resistividades elétricas para alguns materiais.





Dados:

$$\rho = 0,017 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$d = 2 \text{ mm}$$

$$S = \pi \times \frac{d^2}{4} = 3,14 \times \frac{2^2}{4} = 3,14 \text{ mm}^2$$

$$R = \rho \times \frac{L}{S} = 0,017 \times \frac{2}{3,14} = 0,0108 \Omega = 10,8 \text{ m}\Omega$$

Como se verifica pelo resultado, a resistência do cabo elétrico é bastante baixa, uma vez que tem como objetivo provocar o mínimo de quedas de tensão.

## Influência da Temperatura

Outro fator que influencia grandemente a resistência de um material é a temperatura. A maior parte dos materiais, especialmente metálicos, vêem a sua resistência elétrica aumentada quando se dá o aumento da temperatura. Este fenómeno é qualificado e quantificado por uma grandeza que tem por nome de coeficiente de temperatura.

Quando o coeficiente de temperatura é positivo significa que aumentando a temperatura, aumenta proporcionalmente a resistência elétrica do material. São exemplos de materiais com coeficientes de temperatura positivo, o cobre, o alumínio, o ferro, etc.

Por sua vez, quando o material possui um coeficiente de temperatura negativo significa que com o aumento da temperatura a resistência elétrica diminui. O carvão e o carbono são exemplos de materiais com coeficientes de temperatura negativos.

## Resistências Elétricas

Nos circuitos elétricos são usados muitas vezes componentes, que através da dificuldade que impõem à passagem de corrente, a limitam. Este componentes são as **resistências**. As principais características que as distinguem são o seu valor de resistência, em Ohm, e a sua potência, ou seja, a sua capacidade de dissipar o calor gerado pela passagem da

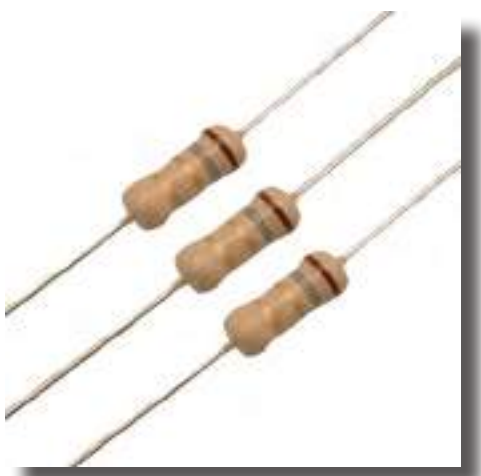


corrente elétrica. O seu valor de potência indica-nos qual o valor nominal de corrente que poderá atravessar a resistência.

Podemos considerar dois grandes grupos de resistências:

- Resistências fixas;
- Resistências variáveis.

As **resistências fixas** são componentes que mantêm o seu valor praticamente constante, independentemente das condições de trabalho e do meio ambiente.



*Figura 9 - Resistências elétricas fixas.*

As **resistências variáveis** permitem a variação do seu valor manualmente ou automaticamente de várias condições, num determinado intervalo, por exemplo, de 0 a 100  $\Omega$ .

Dentro das resistências variáveis podemos definir vários tipos, como é o caso dos potenciômetros.



*Figura 10 - Potenciômetro.*

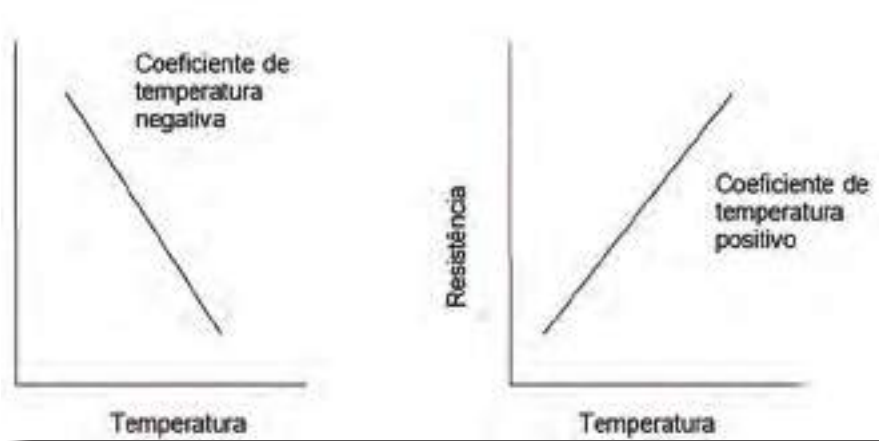


Os **potenciômetros** permitem a variação manual da resistência. São utilizados, por exemplo, na variação da intensidade luminosa do painel de instrumentos de uma automóvel. Existem à venda no mercado dois tipos de potenciômetros:

- Os potenciômetros de ajuste que uma vez intercalados no circuito destinam-se a uma única regulação permanecendo o resto da sua vida com aquele valor;
- Os potenciômetros de regulação permanente como por exemplo o botão de volume do auto-rádio que a qualquer momento está acessível a ser variado.

Já se falou da influência da temperatura nas resistências. Existem resistências construídas com materiais com coeficientes de temperatura negativos ou positivos denominados respectivamente NTC ou PTC.

Estas resistências têm hoje em dia um papel muito específico pelo que são já pouco utilizadas. Uma resistência possui um coeficiente de temperatura positivo, resistência PTC (do inglês positive temperature coefficient), se o seu valor aumentar com o aumento de temperatura.



*Figura 11 - Variação da resistência com a temperatura para o caso das resistências NTC e PTC.*

Se o valor da resistência diminuir com o aumento da temperatura, então possui um coeficiente de temperatura negativo, resistência NTC (do inglês negative temperature coefficient). Estes tipos de resistência são usadas por exemplo, como parte integrante de sondas nos sistemas de ar condicionado automático dos automóveis.





Figura 12 - Resistência NTC.

Existem igualmente, resistências variáveis com a luz (LDR) variam o seu valor com a intensidade de luz captada pelo seu sensor. São geralmente utilizadas em alguns sistemas de alarme como deteção de intrusos no interior do automóvel. São utilizados LDR, em sistemas automáticos de iluminação pública.



Figura 13 - Resistência variável com a luz LDR.

## Identificação das Resistências

Devido ao seu pequeno tamanho, seria difícil inscrever as características da resistência por extenso no invólucro. Por isto, foi definido um código de cores que nos indica qual o seu valor Ohmico e a sua tolerância. A tolerância indica-nos que o valor da resistência poderá diferir um pouco do indicado pelo código de cores. Existem resistências com 5%, 10% e 20% de tolerância.



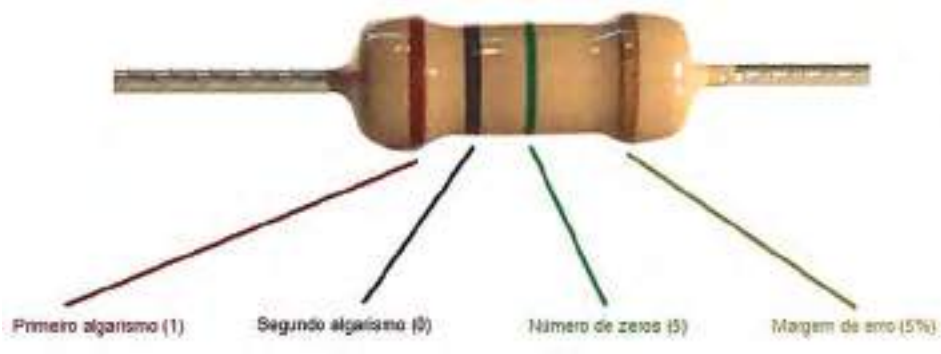


figura 14 - Representação do código de cores.

A figura 15 mostra o código de cores das resistências.

**Tabela de Cores para Resistências**

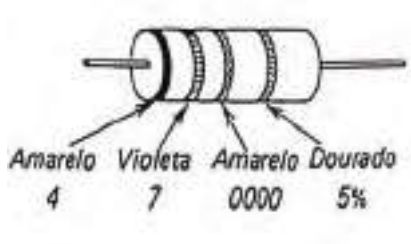
| Profa      | 0.01 | 10% |   |      |       |        |
|------------|------|-----|---|------|-------|--------|
| Ouro       | 0.1  | 5%  |   |      |       |        |
| Preto 0    | 0    | 0   | 0 | 1    |       |        |
| Castanho 1 | 1    | 1   | 1 | 10   | 1%    | 100ppm |
| Vermelho 2 | 2    | 2   | 2 | 100  | 2%    | 50ppm  |
| Laranja 3  | 3    | 3   | 3 | 1K   |       | 15ppm  |
| Amarelo 4  | 4    | 4   | 4 | 10K  |       | 25ppm  |
| Verde 5    | 5    | 5   | 5 | 100k | 0.5%  |        |
| Azul 6     | 6    | 6   | 6 | 1M   | 0.25% |        |
| Púrpura 7  | 7    | 7   | 7 | 10M  | 0.1%  |        |
| Cinza 8    | 8    | 8   | 8 |      |       |        |
| Branco 9   | 9    | 9   | 9 |      |       |        |

Multiplicador      Tolerância      Coeficiente de Temperatura

Figura 15 - Código de cores.



**EXEMPLO DE CÁLCULO**



1º algarismo significativo = 4

2º algarismo significativo = 7

Fator de multiplicação = 10 000

Tolerância = 5%  $R = 47 \times 10\ 000 = 470\ 000\ \Omega = 470\ K\Omega \pm 5\%$

**UNIDADES ELÉTRICAS, MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS**

**DIFERENÇA DE POTENCIAL OU TENSÃO**

A diferença de potencial, ou tensão elétrica expressa-se em Volt, com o símbolo V. Tal como no caso anterior, existe a necessidade do uso de múltiplos e submúltiplos da unidade.

| Unidade    | Múltiplos e submúltiplos |              |
|------------|--------------------------|--------------|
|            | Símbolo                  | Designação   |
| 1 000 V    | 1 kV                     | 1 quilo volt |
| 0,001 V    | 1 mV                     | 1 milí volt  |
| 0,000001 V | 1 $\mu$ V                | 1 micro volt |

Tabela 2 - Múltiplos e submúltiplos da unidade de tensão.

**EXEMPLOS DE CÁLCULO**

$1\ kV = 1\ 000\ V = 1\ 000\ 000\ mV = 1\ 000\ 000\ 000\ \mu V$

$250\ mV = 250/1\ 000\ V = 0,25\ V$

$250\ \mu V = 250/1\ 000\ 000\ V = 0,00025\ V$

$12\ V = 12 \times 1\ 000\ mV = 1\ 200\ mV$

$12\ 000\ V = 12/1\ 000\ kV = 12\ kV$



Os valores de tensão num automóvel podem ser de ordem dos Volt (V), 12 [V] para a bateria e iluminação, 5 [V] para circuitos eletrónicos, gestão eletrónica bem como para sensores e atuadores elétricos. No sistema de ignição de um automóvel a gasolina, no momento da faísca, a tensão pode subir aos 40 mil Volt (40 kV), apesar de serem apenas aproveitados entre 5 a 10 kV para a faísca.

## Corrente Elétrica

Como já foi dito, a corrente elétrica expressa-se pela unidade Ampere, com o símbolo A. Os mais variados circuitos trabalham com intensidade de corrente que podem ser milhões de vezes mais pequenos que o seu valor unitário, ou muito maiores que este.

| Unidade    | Múltiplos e submúltiplos |                |
|------------|--------------------------|----------------|
|            | Símbolo                  | Designação     |
| 1 000 A    | 1 kA                     | 1 quilo ampere |
| 0,001 A    | 1 mA                     | 1 mili ampere  |
| 0,000001 A | 1 $\mu$ A                | 1 micro ampere |

Tabela 3 - Múltiplos e submúltiplos da unidade de corrente elétrica.

### EXEMPLOS DE CÁLCULO:

$$1 \text{ kA} = 1\,000 \text{ A} = 1\,000\,000 \text{ mA} = 1\,000\,000\,000 \mu\text{A}$$

$$360 \text{ mA} = 360/1\,000 \text{ A} = 0,36 \text{ A}$$

$$360 \mu\text{A} = 360/1\,000\,000 \text{ A} = 0,00036 \text{ A}$$

$$2 \text{ A} = 2/1\,000 \text{ kA} = 0,002 \text{ kA}$$

$$2 \text{ A} = 2 \times 1\,000 \text{ mA} = 2\,000 \text{ mA}$$

$$2 \text{ A} = 2 \times 1\,000\,000 \mu\text{A} = 2\,000\,000 \mu\text{A}$$

Num automóvel, os valores de intensidade da corrente podem ser da ordem dos miliamperes (mA) nos circuitos de gestão eletrónica ou iluminação da instrumentação, da ordem dos Amperes (A), para a iluminação exterior ou algumas centenas de Amperes, embora momentaneamente, no sistema de arranque.



## Resistência

A unidade em que se expressa a resistência elétrica é o Ohm ( $\Omega$ ). A resistência apresenta valores que podem variar entre os milionésimos de Ohm até aos milhões de Ohm. Torna-se, então, bastante útil o emprego dos seus múltiplos e submúltiplos.

### EXEMPLOS DE CÁLCULO

$$1 \text{ M}\Omega = 1\,000 \text{ k}\Omega = 1\,000\,000 \Omega = 1\,000\,000\,000 \text{ m}\Omega = 1\,000\,000\,000\,000 \mu\Omega$$

$$3\,400\,000 \Omega = 3,4/1\,000\,000 \text{ M}\Omega = 3,4 \text{ M}\Omega = 3\,400 \text{ k}\Omega$$

$$34\,000 \Omega = 34/1\,000 \text{ M}\Omega = 34 \text{ k}\Omega$$

$$340 \text{ m}\Omega = 340/1\,000 \Omega = 0,34 \Omega$$

$$340 \mu\Omega = 340/1\,000\,000 \Omega = 0,00034 \Omega$$

Os componentes utilizados nos automóveis apresentam os mais variados valores de resistência, podendo variar entre  $\text{m}\Omega$ , caso dos cabos elétricos, velas de incandescência, resistência do isqueiro, enrolamento primário da bobina de ignição dos modernos sistemas de ignição, e os  $\text{k}\Omega$ , caso do enrolamento secundário da bobina de ignição, cabos de alta tensão, sensores de indução.





# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Indique o símbolo utilizado para representar a diferença de potencial e as suas unidades.

**EXERCÍCIO 2.** Defina corrente elétrica.

**EXERCÍCIO 3.** Indique o símbolo utilizado para representar a corrente elétrica e as suas unidades.

**EXERCÍCIO 4.** Explique o que é o sentido real da corrente e o convencional.

**EXERCÍCIO 5.** Defina corrente contínua.

**EXERCÍCIO 6.** Defina corrente alternada.

**EXERCÍCIO 7.** Explique de que forma a secção do fio condutor influencia a resistência elétrica.



## LEI DE OHM

Quando aos extremos de um condutor de resistência R [Ohms] se aplica uma tensão V [ Volt ], produz-se nele uma corrente de intensidade I [ Amperes ], dada pela formula:

$$I = \frac{V}{R}$$

Esta é a expressão da lei de ohm que se anuncia do seguinte modo:

A intensidade da corrente que percorre um condutor é igual ao quociente da tensão aplicada aos extremos desse condutor pela resistência do mesmo.

Daquela formula tira-se:

$$V = RI$$

A lei de ohm pode pois enunciar-se de outras maneiras:

**A diferença de potencial entre os dois extremos de um condutor é igual ao produto da resistência elétrica pela intensidade da corrente que o percorre.**

De qualquer das fórmulas anteriores deduz-se ainda:

$$R = \frac{V}{I}$$

Esta é a formula principal, talvez a mais memorável da lei de ohm, (Figura 1).

**A resistência de um condutor é igual ao quociente da tensão pela intensidade de corrente que o percorre.**

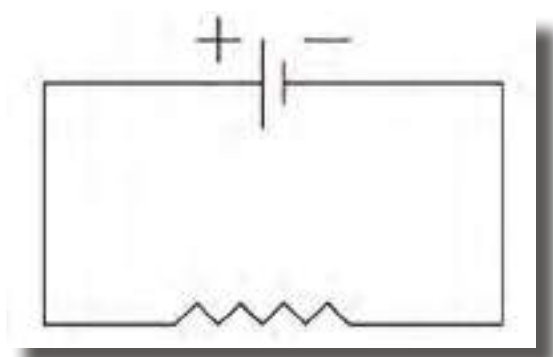


Figura 1 - Circuito elétrico simples de aplicação da lei de Ohm.



Para uma dada diferença de potencial,

$$V = \text{constante}$$

O quociente  $\frac{V}{I}$  é tanto maior quanto menor for a intensidade  $I$  e portanto, quanto maior for a resistência do condutor.

$$R = \frac{V}{I}$$

Num circuito fechado submetido a uma determinada tensão gera-se uma corrente, à qual se opõe a sua resistência podemos então concluir que existe uma relação entre estas três grandezas elétricas. George Simon Ohm, após várias experiências, demonstrou que a intensidade de corrente ( $I$ ) num circuito é diretamente proporcional à tensão ( $V$ ) a ele aplicada e inversamente proporcional à resistência ( $R$ ).

Assim, se a resistência num circuito for mantida constante, aumentando-se a tensão na fonte, a intensidade da corrente aumentará. Por outro lado, uma diminuição do valor da tensão corresponderá a um decréscimo do valor da corrente. Da mesma forma, mantendo a tensão constante e aumentando o valor da resistência, a intensidade de corrente diminuirá. Diminuindo a resistência, o valor da corrente aumentará. Este postulado é conhecido por lei de Ohm.

É de notar que, com estas condições, conhecendo dois dos três elementos do circuito, podemos facilmente calcular o terceiro. É muito importante compreender e memorizar estas equações, uma vez que são muito utilizadas no estado e no trabalho prático dos circuitos elétricos.

A resistência elétrica é representada por  $R$  e a sua unidade característica é o Ohm, em homenagem ao físico alemão George Simon Ohm, cujo símbolo é a letra grega Ohmega ( $\Omega$ ).

| GRANDEZA    |         | UNIDADE    |          |
|-------------|---------|------------|----------|
| Designação  | Símbolo | Designação | Símbolo  |
| Resistência | $R$     | Ohm        | $\Omega$ |

Tabela 1 - Grandeza de resistência elétrica.



Para que a explicação seja clara, é conveniente representar graficamente esta relação. Para isso utiliza-se um método matemático. Se uma magnitude  $g$  depende de uma Segunda magnitude  $X$ , diz-se que  $g$  é a função de  $X$  [ $g = F(x)$ ].

Para representar graficamente a função  $g = f(x)$ , utiliza-se o sistema de coordenadas cartesianas, em que a magnitude independente representa-se no sentido horizontal, e denomina-se eixo de  $x$ , ou abcissa.

A magnitude dependente representa-se verticalmente denominada de eixo  $Y$ , ou ordenada. Cada par de valores  $Y, X$ , representa um ponto da função  $Y = f(x)$ .

No caso de lei de Ohm a magnitude independente é a tensão  $U$  (que corresponde ao eixo das abcissas), a intensidade  $I$  é a magnitude dependente (que corresponde ao eixo das ordenadas).

Para obter a curva é necessário fazer uma tabela com os valores concedidos, e levar as fases de valores ( $I, V$ ) ao sistema de coordenadas.

|   |   |    |    |    |    |    |    |
|---|---|----|----|----|----|----|----|
| V | 0 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | V  |
| I | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | mA |

Unindo os pontos resulta a reta  $I = f(U)$ , válido para um determinado valor de resistência  $R$ . Podemos concluir, então, que para uma dada resistência, o valor da corrente cresce linearmente com o aumento da tensão.

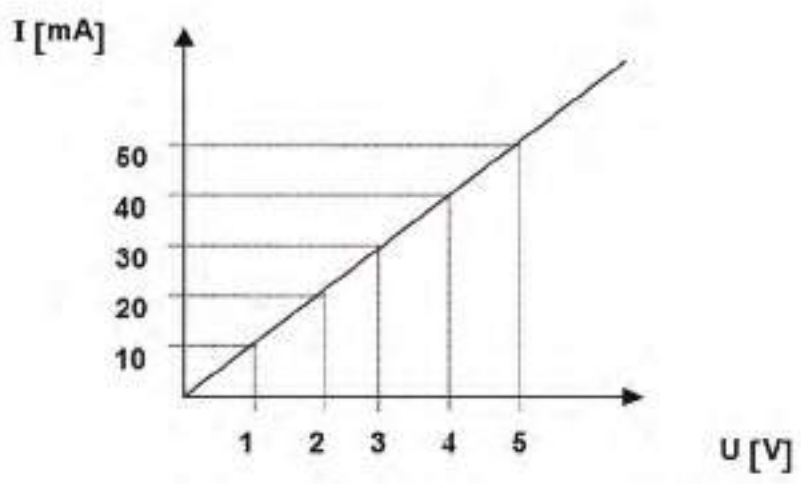


Figura 2 - Comportamento linear duma resistência percorrida por uma corrente elétrica  $I$  sujeita a uma diferença de potencial  $V$ .



## CÁLCULOS UTILIZANDO A LEI DE OHM

### Cálculo da Corrente

Sendo-nos fornecidos os valores da tensão e da resistência de um circuito, falta-nos determinar o valor da intensidade da corrente que o percorre. Para tal, temos que escolher a equação correta que, neste caso, será:

$$I = V / R$$

*Dados:*

$$V = 12 \text{ V}$$

$$R = 6 \Omega$$

$$I = 12 / 6 = 2 \text{ A}$$

### Cálculo da Tensão

Agora queremos determinar o valor da tensão em função da corrente e da resistência. A equação a escolher será a que estiver em ordem à tensão (V) e será :

$$V = R \times I$$

*Dados:*

$$I = 3 \text{ A}$$

$$R = 10 \Omega$$

$$V = 10 \times 3 = 30 \text{ V}$$

### Cálculo da Resistência

Conhecida a tensão e a corrente, podemos determinar a resistência do circuito, usando a seguinte equação:

*Dados:*

$$V = 12 \text{ V}$$

$$I = 0,1 \text{ A}$$

$$R = 12 / 0,1 = 120 \Omega$$



## EXERCÍCIO TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Um radiador de  $27,5 \Omega$  de resistência foi ligado a uma tensão de 220 V. Calcule a intensidade de corrente que atravessa o recetor.

**EXERCÍCIO 2.** Qual é a resistência de um recetor que alimentado sob uma tensão de 24 V é percorrido por uma corrente de 0,16 A?

**EXERCÍCIO 3.** Calcular a tensão a que está submetida uma lâmpada de  $440 \Omega$  que é percorrida por 0,5 A.

**EXERCÍCIO 4.** Um recetor está sob 220 V e nele passa uma corrente de 10 A que é enviada por um gerador através de uma linha de  $3 \Omega$  de resistência.

- a. Qual a resistência do recetor?
- b. Qual é o valor da queda de tensão produzida pela linha?

**EXERCÍCIO 5.** Um circuito tem a resistência total de  $20 \Omega$  e tem um gerador com uma força eletromotriz de 12 V. Qual a intensidade da corrente no circuito?



# CIRCUITO ELÉTRICO

## CIRCUITO EM SÉRIE

### Resistência

Se num circuito hidráulico montarmos diversos filtros, estes dificultam a passagem da água. A dificuldade total que a água tem em percorrer o circuito é igual à soma das dificuldades criadas por cada filtro. De igual modo, a resistência total que um circuito elétrico oferece à passagem da corrente é igual à soma das resistências exercidas por cada um dos seus componentes montados em série.

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

onde N é número de resistências do circuito.

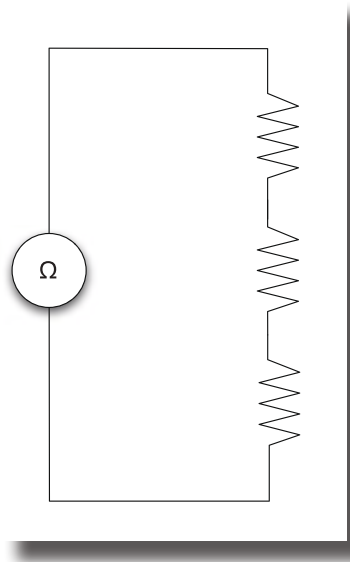


Figura 1 -  $R_1 = 6 \Omega$ ;  $R_2 = 16 \Omega$ ;  $R_3 = 6 \Omega$ .

#### Exemplo de cálculo:

$$R_1 = 6 \Omega$$

$$R_2 = 16 \Omega$$

$$R_3 = 6 \Omega$$

$$R_{Total} = 6 + 16 + 6 = 28 \Omega$$



### Intensidade de Corrente

Um circuito elétrico diz-se em série quando todos os seus componentes são atravessados pela mesma intensidade de corrente. Um circuito em série assemelha-se a um circuito hidráulico em que a água passa sucessivamente por várias torneiras. Num circuito em série, a intensidade de corrente é igual em todos os pontos do circuito.

$$I_{Total} = I_1 = I_2 = I_3$$

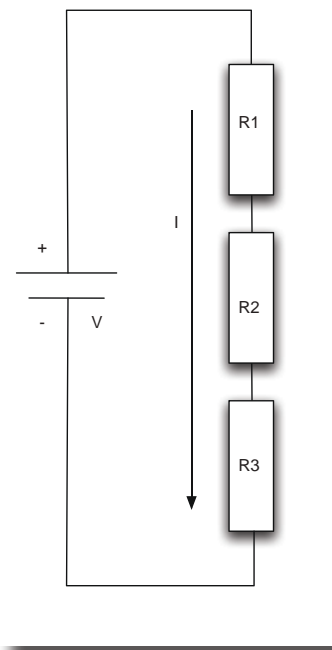


Figura 2 -  $I_{Total} = I_1 = I_2 = I_3$

Medindo a intensidade da corrente nos vários pontos do circuito da figura 3, achamos sempre o mesmo valor.

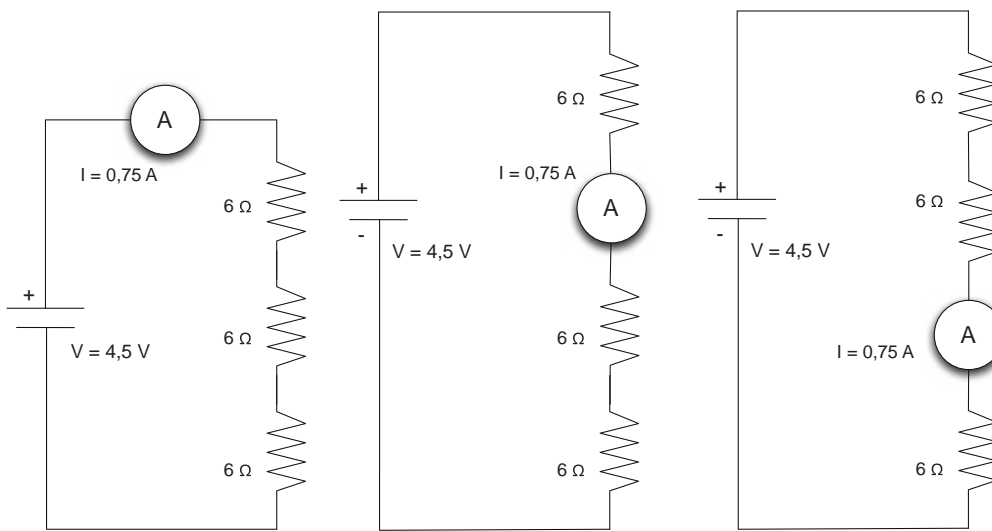


Figura 3 - Medição da corrente com amperímetro em vários pontos.





## Tensão

Num circuito hidráulico a soma das alturas de três quedas de água é igual à altura total. Da mesma forma, num circuito elétrico, a soma das três quedas de tensão é igual à tensão total aplicada ao circuito. A tensão aplicada a um circuito em série é igual à soma das quedas de tensão em cada componente do circuito.

Desta forma, podemos dizer que

$$V_{Total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Em que N é o número de componentes do circuito.

## CIRCUITO EM PARALELO

### Intensidade de Corrente

Quando num circuito elétrico, a corrente ramifica-se por vários condutores constituintes do circuito e estamos perante um circuito em paralelo. É um fenómeno semelhante ao que acontece num circuito hidráulico em que a água que passa por uma torneira não passa em nenhuma das outras.

Num circuito em paralelo a soma das intensidades das correntes que passam por cada um dos ramos do circuito é igual à intensidade total do circuito. Desta forma,

$$I_{Total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Em que N é o número de ramificações do circuito.

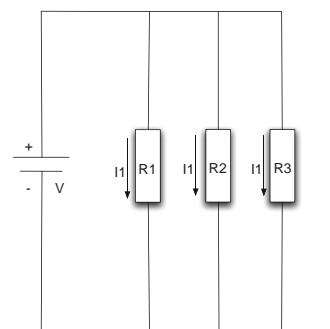


Figura 4 - A espessura do condutor indica a intensidade da corrente.

a corrente que passa em cada um dos componentes não passa em nenhum dos outros.



### Tensão

Num circuito elétrico em paralelo, as quedas de tensão em cada ramo do circuito são todas iguais à tensão total aplicada.

$$V_{Total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Mesmo adicionando geradores ou baterias em paralelo, a tensão nos ramos do circuito não se altera. Mantendo-se a tensão constante aos seus terminais, a corrente do circuito também não varia.

### Resistência

Para resistências do mesmo valor, quanto maior for o número de ramos do circuito, menor será a resistência total do circuito.

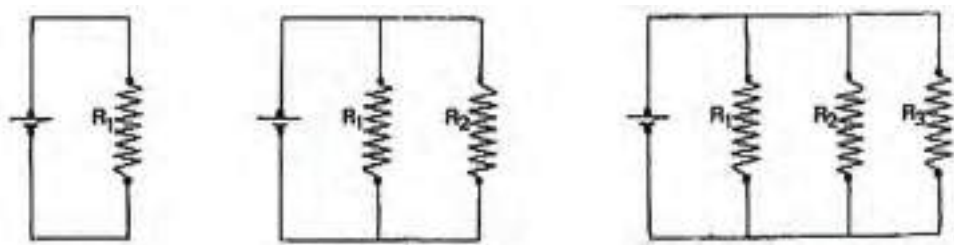


Figura 5 - Resistências montadas em paralelo.

Quando as resistências de cada ramo de um circuito em paralelo são iguais, a resistência total do circuito é igual ao valor da resistência de um ramo (R) a dividir pelo número de ramos (n).

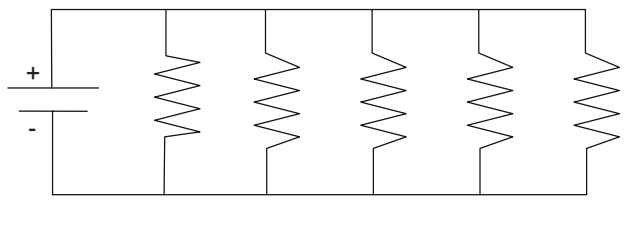


Figura 6 - Resistências em paralelo.



Quando as resistências dos vários ramos do circuito são diferentes entre si, a resistência total do circuito é inferior à resistência do ramo que apresenta menor resistência. Neste caso, para determinar a resistência do circuito somam-se os inversos das resistências de cada ramo do circuito.

$$C = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

O valor da resistência total é dado pela seguinte fórmula:

$$R_{Total} = \frac{1}{C}$$

**EXEMPLO.** Calcular o valor da resistência total do circuito que se indica na Figura 7.

*Dados:*

$$R_1 = 10 \Omega$$

$$R_2 = 5 \Omega$$

$$R_3 = 25 \Omega$$

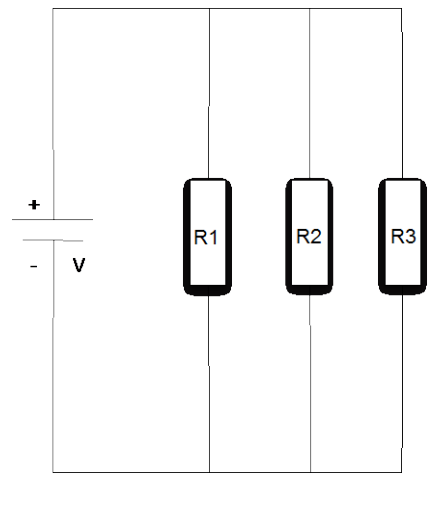


Figura 7 - Resistências em paralelo.

Temos então que

$$C = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{25} = 0,34$$

A resistência total será dada por

$$R_{Total} = \frac{1}{C} = 2,94 \Omega$$



Podemos então concluir que o valor da resistência total é igual ao inverso da soma dos inversos de cada um dos ramos do circuito. A fórmula que expressa matematicamente este teorema resulta da junção das duas fórmulas anteriores.

$$R_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

**EXEMPLO.** Calcular o valor da resistência total do circuito indicado.

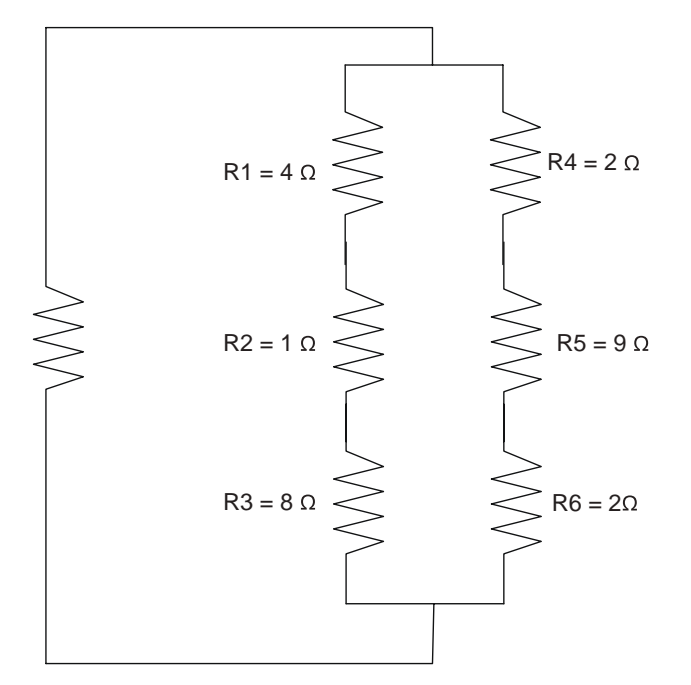


Figura 7 - Circuito de resistências.

$$R_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{25}} = \frac{1}{0,34} = 2,94 \Omega$$

### CIRCUITO MISTO

Tal como o nome indica, o circuito misto é uma mistura entre o circuito em série e o em paralelo. O estudo dum circuito deste tipo faz-se simplificando-o até obtermos um circuito em série simples ou um circuito em paralelo simples.



Tomemos como exemplo o circuito da figura 8 onde temos dois ramos de três resistências cada um, em paralelo entre si. Nestes casos, determina-se primeiro, em relação a cada ramo, valor total das resistências associadas em série.

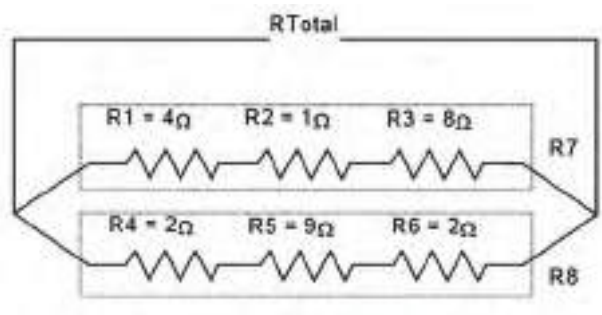


Figura 8 - Circuito misto série-paralelo.

$$R_7 = R_1 + R_2 + R_3 = 4 + 1 + 8 = 13 \Omega$$

$$R_8 = R_4 + R_5 + R_6 = 2 + 9 + 2 = 13 \Omega$$

Com as resistências totais de cada ramo, desenha-se um circuito equivalente (Figura 9). Como os valores da resistência de cada ramo são iguais, basta dividir o valor de uma delas por dois.

$$R_{Total} = R/2 = 13/2 = 6,5 \Omega$$

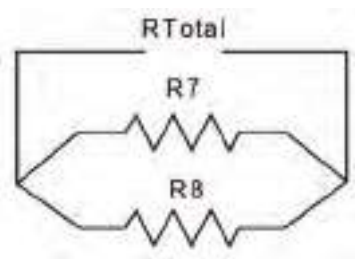


Figura 9 - Circuito equivalente.



**EXEMPLO.** A Figura 10 apresenta um circuito misto com um paralelo de duas resistências em série com outras duas.

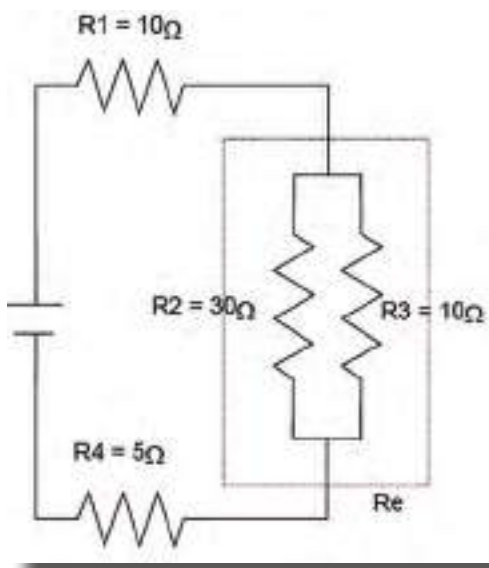


Figura 10 - Circuito misto série-paralelo.

Neste caso, também se determina o circuito equivalente.

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{30} + \frac{1}{10}} = 7,5 \Omega$$

Para achar a resistência total do circuito, basta agora somar as três resistências, que se encontram em série.

$$R_{Total} = R_1 + R_4 + R_e = 10 + 5 + 7,5 = 22,5 \Omega$$

## LEIS DE KIRCHHOFF

Nos circuitos apresentados anteriormente, a Lei de Ohm estabelecia as relações entre corrente, tensão e resistência. Para circuitos mais complexos com muitos ramos ou fontes de alimentação, é necessária a utilização de outros métodos de resolução, embora nunca podendo ser violada a Lei de Ohm, que constitui a base da teoria dos circuitos DC. Os métodos de resolução de circuitos complexos baseiam-se nas experiências realizadas pelo físico alemão Gustav Kirchhoff. Destas experiências resultaram duas conclusões,



conhecidas com Leis de Kirchhoff, que podem ser enunciadas da seguinte forma:

**1ª Lei de Kirchhoff ou Lei das Malhas:** A soma das quedas de tensão ao longo de um caminho fechado, ou malha, é igual à soma das f.e.m. (tensões das baterias) existente nessa malha.

**2ª Lei de Kirchhoff - Lei dos Nós:** A corrente que entra em qualquer ponto de união, ou nó, de um circuito, é igual à corrente que sai desse nó.

## Lei das Malhas

A 1ª Lei de Kirchhoff, ou Lei das Malhas, relaciona as quedas de tensão ao longo de uma malha fechada num circuito e as tensões das fontes dessa malha, sendo os valores totais dessas duas quantidades sempre iguais. Podemos expressar esta Lei com a seguinte equação:

$$\sum E_{\text{Fonte}} = \sum (I \times R)$$

O símbolo  $\Sigma$  é uma letra grega designada por sigma e significa “somatório de...”.

A parcela  $I \times R$  vem da Lei de Ohm e representa as quedas de tensão nas cargas. Uma malha fechada deve satisfazer duas condições:

- Deve possuir, pelo menos, uma fonte de tensão;
- Deve constituir um caminho completo para a corrente, começando num ponto qualquer, passando pela malha e retornando a esse ponto.

Para um circuito em série simples, a Lei da malhas coincide com a Lei de Ohm.

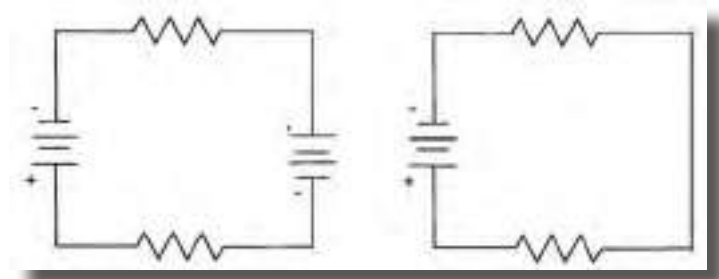


Figura 11 - Exemplos de malhas simples.



**EXEMPLO.** Vamos considerar o circuito da Figura 12. Para calcular a corrente através da Lei das Malhas, usamos a equação anterior. Existe apenas uma fonte, ou f.e.m., na malha e duas quedas de tensão, ou  $I \times R$ .

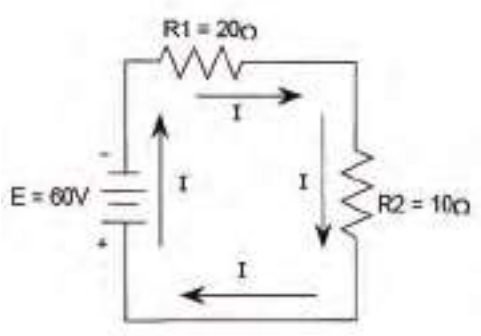


Figura 12 - Circuito.

Ou seja,

$$E = R_1 \times I + R_2 \times I$$

$$60 = 20 \times I + 10 \times I$$

$$60 = 30 \times I$$

$$I = 60/30 = 2 \text{ A}$$

Quando existe mais que uma fonte de tensão (Figura 13), o sentido da corrente pode ser desconhecido. Nesse caso devemos adotar um sentido antes de resolver o problema. As fonte ligadas no mesmo sentido que o adotado são positivas, no caso inverso são negativas. A solução do problema será um número positivo se o sentido adotado for correto, e negativo se o sentido adotado estiver invertido. Em ambos os casos, o valor da intensidade da corrente terá o mesmo valor absoluto.

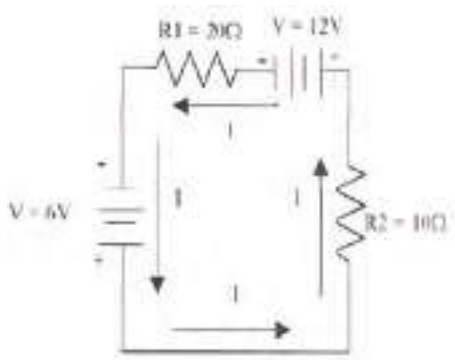


Figura 13 - Circuito.





$$\Sigma E_{\text{Fonte}} = \Sigma I \times R$$

$$60 - 75 = 20 \times I + 10 \times I$$

$$- 15 = 30 \times I$$

$$I = - 15 / 30 = - 0,5 \text{ A}$$

## Lei dos Nós

Esta lei também é conhecida com a lei para correntes e estabelece que em qualquer ponto de junção (nó) de um circuito, a corrente que entra é igual à corrente que sai (Figura 14). Para cada eletrão que chega a um ponto, outro deve sair.

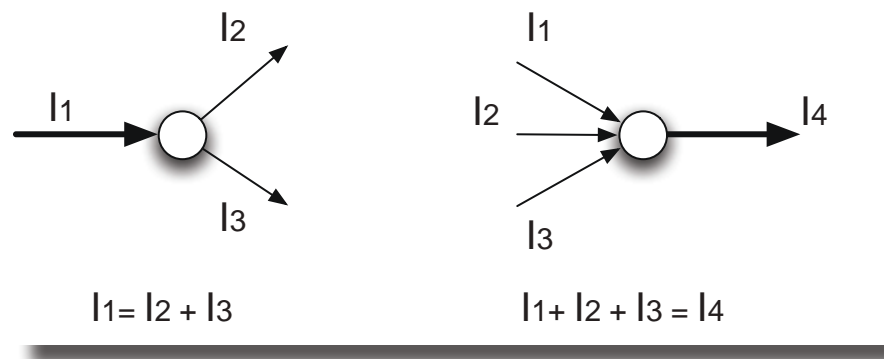


Figura 14 - Lei dos Nós.

A Lei dos nós expressa-se matematicamente pela seguinte fórmula:

$$\Sigma I_{\text{ENTRA}} - \Sigma I_{\text{SAI}} = 0 \text{ ou } \Sigma I_{\text{ENTRA}} = \Sigma I_{\text{SAI}}$$

## CONSTITUIÇÃO DO CIRCUITO ELÉTRICO

A eletricidade é um fenómeno que, para se tornar útil, deverá executar algum trabalho ou função. O circuito elétrico é o meio físico que permite efetuar a transição da eletricidade como simples fenómeno para uso prático. Hoje em dia, praticamente toda a tecnologia usa como suporte circuitos elétricos mais ou menos complexos.

Estes circuitos elétricos são constituídos basicamente por três componentes:

- Uma fonte de alimentação;
- Condutores ou fios de ligação;
- Carga ou dispositivo que realiza trabalho.



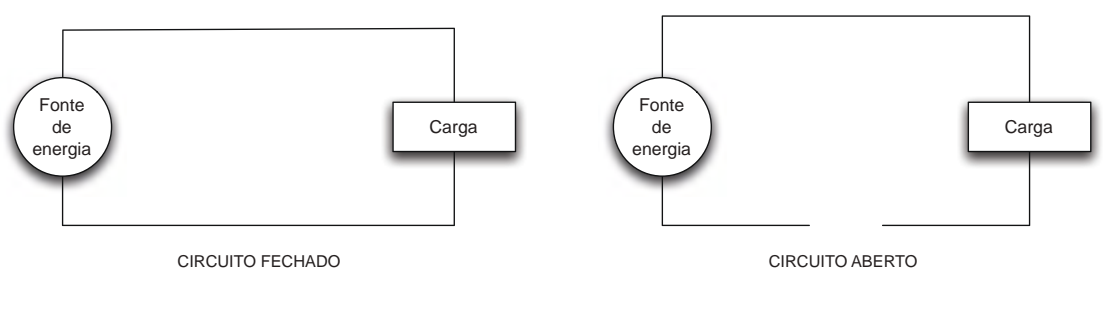


Figura 15 - Esquema básico dum circuito elétrico.

Para que a corrente percorra um circuito elétrico deve existir um caminho completo do terminal negativo da fonte, passando pelos fios e pela carga, até ao terminal positivo da fonte. Se não houver um caminho completo, não haverá fluxo de corrente e teremos um circuito denominado circuito aberto.

## Interruptores

Só deverá haver fluxo de corrente quando for necessária energia elétrica na carga. Os circuitos estão providos de um dispositivo que permite o fecho ou abertura do circuito consoante as condições de utilização, que é denominado de **interruptor**.

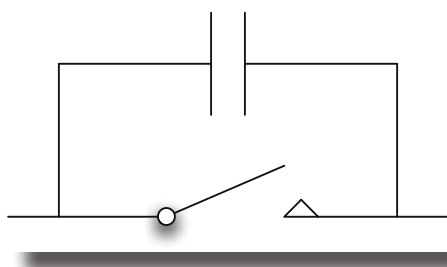


Figura 16 - Montagem dum condensador em paralelo com os terminais dum interruptor, por forma a aumentar o poder de corte do interruptor prolongando a vida deste.

O papel do condensador no circuito já foi descrito anteriormente. Os interruptores são muito utilizados em eletricidade e constituem parte integrante do sistema elétrico dum automóvel desde o interruptor que liga os faróis, ou sistema de ventilação do automóvel. Quando rodamos a chave do automóvel, acionamos um interruptor que contendo variadas posições permite ligar o motor de arranque e mantém o fluxo de corrente para todo o restante circuito elétrico do automóvel.



## Carga do Circuito

Num circuito elétrico simples, a carga é o dispositivo que recebe a energia elétrica da fonte e a utiliza para realizar trabalho qualquer. Nesse processo, a carga converte a energia elétrica em outras formas de energia, tais como a luz, calor, ou som. Pode também modificar ou controlar a quantidade de energia elétrica fornecida pela fonte. A lâmpada, o motor, a torradeira, o aquecedor, etc., constituem cargas.

O tipo de carga utilizada determina a quantidade de energia retirada da fonte de energia. Por isso, o termo carga muitas vezes é usado para designar a potência fornecida pela fonte e é calculada da forma que atrás estudámos. Neste caso, quando se diz que a carga está aumentada ou diminuída, significa que a fonte está fornecendo mais ou menos potência. Deve-se ter em mente que a palavra carga tem dois significados:

- dispositivo que retira energia da fonte;
- A potência que é retirada da fonte.

Tal como se disse anteriormente, as cargas podem estar ligadas em série, em paralelo ou em série e em paralelo. Num circuito série a totalidade da corrente estabelecida no circuito passa por cada uma das cargas, sendo a intensidade de corrente igual em cada uma das cargas variando a tensão aos terminais das mesmas.

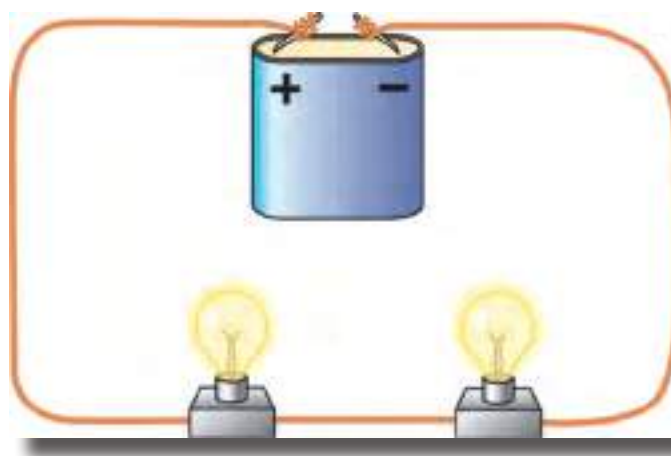


Figura 17 - Ligação de lâmpadas em série.

Em circuitos cujos componentes se encontram em paralelo fazemos valer a lei dos nós que falámos anteriormente, fazendo variar a corrente pelas diversas cargas mantendo a tensão igual aos terminais de todas as cargas.



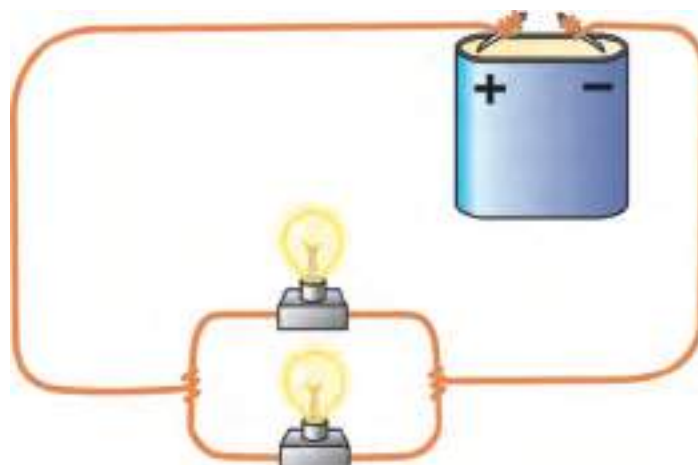


Figura 18 - Ligação de lâmpadas em paralelo.

Este tipo de circuito em paralelo é o mais utilizado em circuitos automóveis. Por exemplo, no circuito de iluminação dum automóvel, os faróis irradiam igual luminosidade porque as lâmpadas possuem igual resistência e tensão aos seus terminais. No caso de uma lâmpada se fundir, o veículo não fica sem iluminação porque as lâmpadas estão ligadas em paralelo.

### Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação produz energia elétrica por meio químico (bateria), magnético (dínamo, alternador), etc. Essa energia está geralmente em forma de uma diferença de potencial elétrico entre os terminais de saída da fonte, chamada de **força eletromotriz**.



Figura 19 - Pilha elétrica utilizada como fonte de alimentação.



## Fontes de Alimentação em Série

Quando ligamos duas ou mais baterias num circuito para produzir uma tensão maior do que a tensão de uma delas isoladamente, a ligação entre baterias deve ser do tipo série.

Temos, assim, o que chamamos de **fontes de tensão em série**.

Quando duas baterias são ligadas em série, o terminal negativo de uma é ligado ao terminal positivo da outra. Os outros dois terminais são ligados ao circuito.

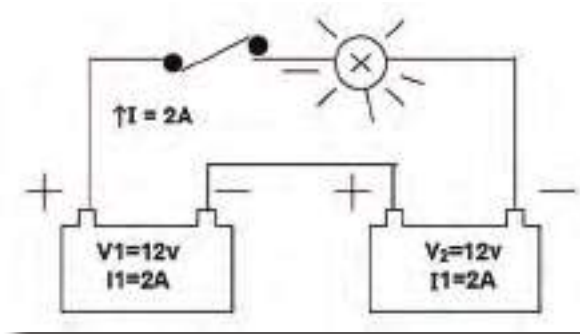


Figura 20 - Ligação de baterias em série.

No caso da figura, a lâmpada está ligada a duas baterias ligadas em série. A tensão fornecida pela fonte corresponde à soma das tensões das baterias.

$$V_t = V_1 + V_2$$

$$V_t = 12 + 12 = 24 \text{ V}$$

A lâmpada tem aplicado aos seus terminais uma tensão de  $V = 24 \text{ V}$  e uma corrente constante correspondente à corrente debitada por cada uma das baterias, para o exemplo  $I = 2 \text{ A}$ .

## Fonte de Alimentação em Paralelo

Se colocarmos os terminais das baterias ligados entre si por forma que o terminal positivo duma bateria fique ligado ao terminal positivo da outra bateria obtemos uma fonte de alimentação constituída por duas baterias em paralelo.



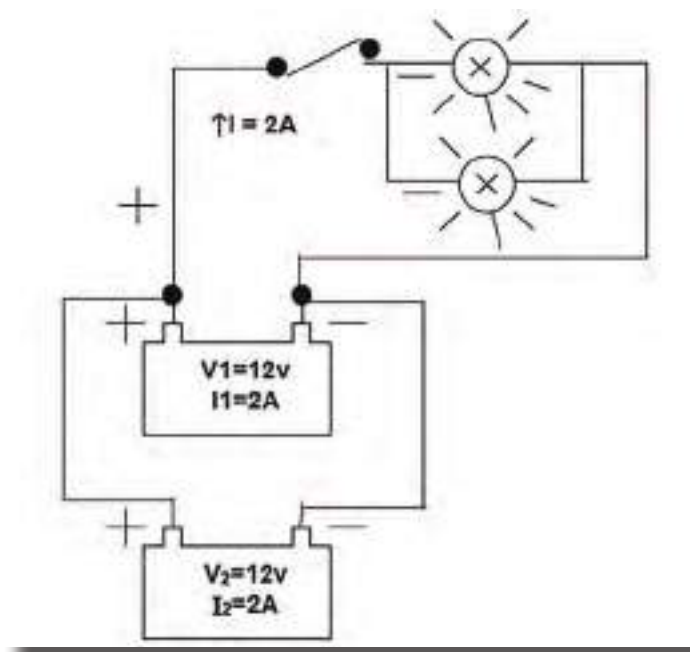


Figura 21 - Ligação de baterias em paralelo.

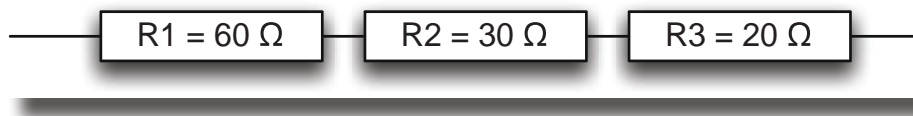
O tipo de montagem em paralelo trás uma grande vantagem que é aumentarmos o nível de intensidade de corrente disponível no circuito mantendo assim a diferença de potencial nos terminais de carga.

Este circuito é muito útil quando possuímos uma carga bastante grande, ou seja, uma potência bastante elevada e não temos uma fonte à altura do ponto de vista de fluxo de corrente disponível.

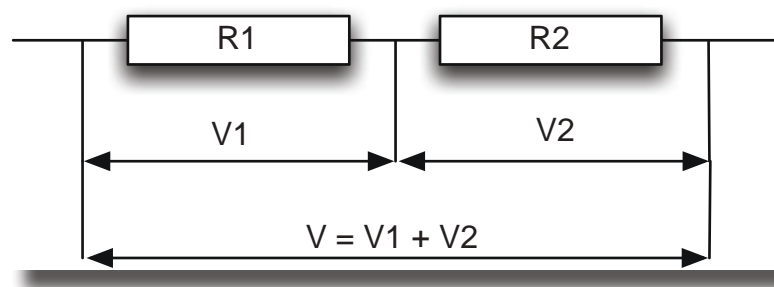


## EXERCÍCIOS TEÓRICOS

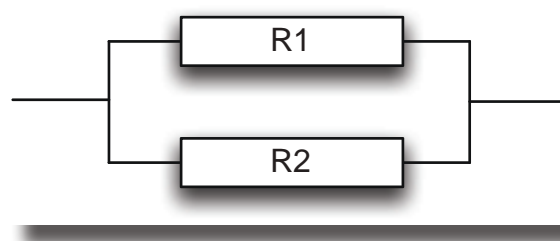
**EXERCÍCIO 1.** Determine a resistência equivalente ao agrupamento em série do seguinte circuito.



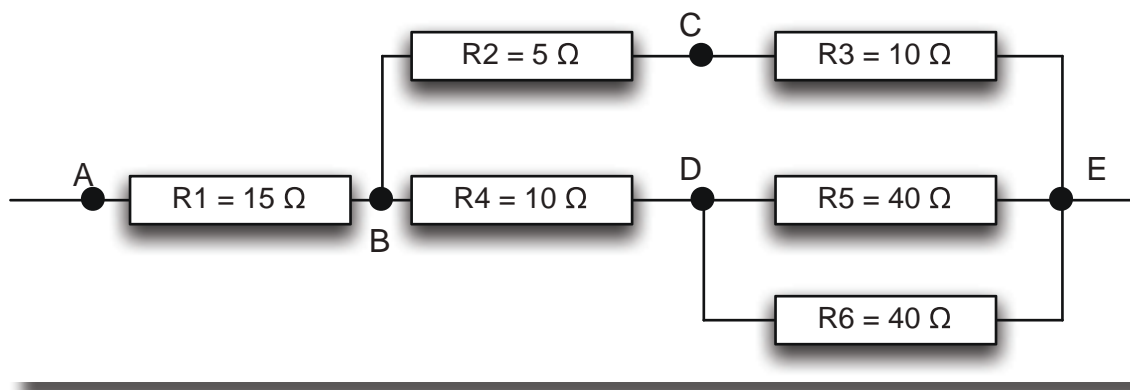
**EXERCÍCIO 2.** Dois recetores de  $60 \Omega$  e de  $30 \Omega$  de resistência estão agrupados em série e o conjunto submetido à diferença de potencial de  $225 \text{ V}$ . Determine a tensão nos extremos de cada recetor.



**EXERCÍCIO 3.** Dois recetores de  $60 \Omega$  e de  $30 \Omega$  de resistência estão agrupados em paralelo e o conjunto submetido à tensão de  $210 \text{ V}$ . Determinar: a) A intensidade de corrente na linha de alimentação do agrupamento; b) As intensidades das correntes que passam em cada um dos recetores.



**EXERCÍCIO 4.** Determinar a resistência equivalente do seguinte circuito.



**EXERCÍCIO 5.** Considerando que o circuito anterior está submetido à tensão de 75 V, determinar as tensões e as correntes em cada uma das resistências componentes.

**EXERCÍCIO 6.** Um gerador de corrente contínua de 250 V de f.e.m. e de 6 Ω de resistência interna alimenta, por intermédio de condutores de resistência desprezável, um recetor que absorve uma corrente de 5 A. Determinar:

- A resistência total do circuito;
- A resistência do recetor;
- a tensão a que está submetido o recetor;
- A tensão nos terminais do gerador.

**EXERCÍCIO 7.** Um gerador que admitimos ter resistência interna nula, tem uma f.e.m. de 230 V e alimenta um grupo de recetores. A linha bifilar é formada por condutores de cobre de 10 mm<sup>2</sup> de secção. O local dos recetores dista 1000 m do gerador, Determinar:

- A resistência na linha;
- As quedas de tensão devidas à linha quando nela passam as correntes de 2 A, de 4 A e de 8 A;
- As tensões a que estão submetidos os recetores nos casos das correntes da alínea anterior;
- Sendo 220 V a tensão nominal dos recetores, analise o que se passa.





# POTÊNCIA ELÉTRICA

## LEI DE JOULE

Quando a corrente percorre um condutor, uma certa quantidade de energia elétrica é transformada em calor.

A **lei de Joule** diz o seguinte: A energia que se transforma em calor num condutor percorrido pela corrente é igual ao produto da resistência do condutor pelo quadrado da intensidade e pelo tempo.

$$E_t = R \times I^2 \times t$$

Onde:

$E_t$  = Energia térmica dissipada

$R$  = Resistência elétrica

$I$  = Corrente elétrica

$t$  = Tempo

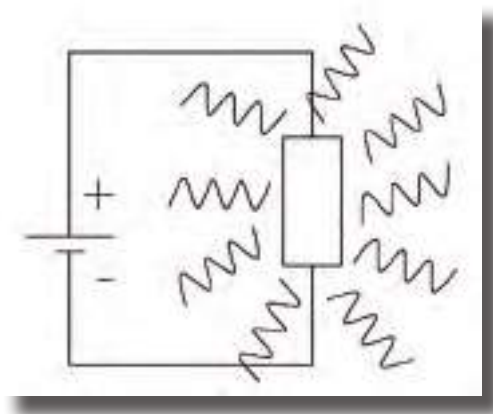


Figura 1 - Lei de Joule.

No caso de  $E_t$  ser expresso em calorias, a fórmula será:

$$E_t = 0,24 \times R \times I^2 \times t$$

A passagem de corrente elétrica nos condutores produz uma perda de energia que se manifesta sob a forma de calor. Por efeito disso, a temperatura dos condutores eleva-se progressivamente até que chega o momento em que deixa de subir. É certo que os condutores continuam a gastar energia, mas o calor que daí resulta vai-se libertando e, desta forma, a temperatura mantém-se constante em certo valor máximo, supondo que a intensidade de corrente não é alterada.

A temperatura que os condutores atingem por efeito de Joule é tanto maior quanto mais elevada for a intensidade de corrente e menor a secção dos condutores.



O aquecimento ainda depende da natureza dos condutores, do arejamento do local de instalação, etc.

**EXEMPLO.** Calcular a energia dissipada por efeito de Joule, em Joule (J) e em calorias (cal), numa resistência de  $10 \Omega$  percorrida por uma corrente de 3 A, num intervalo de tempo de 10 s.

*Dados:*

$$I = 3 \text{ A}$$

$$R = 10 \Omega$$

$$t = 10 \text{ s}$$

*Em Joules,*

$$E_t = R \times I^2 \times t$$

$$E_t = 10 \times 3^2 \times 10$$

$$E_t = 900 \text{ J}$$

*Em calorias,*

$$E_t = 0,24 \times 900$$

$$E_t = 216 \text{ cal}$$

Ao fazer-se uma instalação, é necessário escolher condutores de secção tal que, para uma determinada intensidade de corrente, o aquecimento não seja tão elevado que vá prejudicar o revestimento isolador, provocando incêndios ou causar a fusão dos fios.

Para isso, há tabelas que indicam as intensidades de corrente admissíveis para as diversas secções dos condutores.

Como vimos anteriormente, a condução nos metais faz-se por intermédio dos eletrões de valência dos átomos que trocam entre si os mesmos eletrões sendo estes os meios de transporte de carga elétrica constituindo assim a corrente elétrica.

Fique com a ideia de que, à medida que a corrente elétrica no condutor aumenta, o condutor vai começando a aquecer, dando-se o efeito de Joule. Com o aumento de temperatura, os seus eletrões deslocam-se das suas órbitas interiores, da mesma forma que os eletrões de valência.



Em instalações industriais, verificámos que para baixar a secção dos condutores, recorre-se à distribuição por alta tensão por forma a que as correntes sejam baixas e conseqüentemente a secção dos condutores diminua.

Seria impensável a ligação direta duma central geradora de energia até à cidade porque essa ligação teria de ser feita com condutores de secções tais que só o custo dos condutores tornaria a instalação inconcebível.

Para evitar esta situação, a central geradora de energia, produz alguns milhares de amperes dentro de uma tensão relativamente baixa (cerca de 60 kV) sendo esta tensão elevada, na subestação, até 450 kV baixando a corrente até às dezenas do ampere, cerca de 10 A.

É nestes níveis que a energia chega à periferia das cidades. Como esta tensão é bastante elevada, há a necessidade de a transformar em tensões mais baixas até chegar às nossas casas, sendo a corrente disponível para consumo alta.

Num automóvel o nível de tensão é praticamente igual em todos os equipamentos mas a corrente disponível pela bateria é bastante elevada. O sistema de iluminação e principalmente o motor de arranque são os aparelhos que consomem mais energia elétrica. Por este motivo, o motor de arranque possui um circuito elétrico específico estando ligado à bateria do automóvel por meio de condutores de grande secção comparativamente aos outros condutores.

## *CURTO-CIRCUITO*

Existe um curto circuito em qualquer das seguintes ocorrências:

- Contacto direto entre os terminais de uma lâmpada ou de uma resistência;
- Contacto entre dois fios não isoladores;
- Contacto direto entre os polos de um gerador;
- Ligações feitas incorretamente em algum ponto de circuito.

Num curto-circuito a resistência torna-se praticamente nula, o que resulta numa intensidade de corrente muito grande (sobrecarga), superior à normal, que pode avariar alguns dos componentes do circuito.



Os fusíveis constituem um dos dispositivos de segurança que se empregam para proteger os circuitos elétricos contra os efeitos de um curto circuito. Por outras palavras, **fusíveis** são pequenos fios ou lâminas metálicas que se intercalam nos círculos com fim de fundirem quando a intensidade da corrente excede determinado valor. Interrompem assim, automaticamente, os circuitos onde são intercalados, protegendo-os de correntes excessivas. O corta circuito fusível é o conjunto formado pelo fusível e por uma base onde o fusível é colocado de modo a ser intercalado no circuito.



*Figura 2 - Fusível elétrico.*

Os metais usados para os fios ou lâminas em fusíveis são o chumbo, estanho, cobre, zinco, alumínio, prata ou cobre prateado e a liga de chumbo-estanho. A liga de chumbo-estanho emprega-se em especial para fracas correntes, enquanto que o zinco, alumínio e prata são mais usados para maiores intensidades.

O fio fusível é muitas vezes envolvido por uma massa ou pó isolante (areia por exemplo) e incombustível, substâncias estas que absorvem o calor e o vapor metálico libertado quando o fusível funde evitando, assim, a produção do arco elétrico entre as pontas do fio fundido. Nos fusíveis vem marcado a intensidade nominal do fusível, ou seja, a corrente que ela pode suportar permanentemente sem fundir. Os fusíveis são em geral calculados para fundirem logo que a corrente atinja 1,5 ou 2 vezes a intensidade nominal respetivamente para fusíveis de grande e de pequeno calibre. Aguentam-se, porém, sem fundir com sobrecargas de 20 a 25% quando colocados para a fusão a 1,5 a intensidade nominal, ou com sobrecargas de cerca de 50% quando calculados para a fusão a duas vezes e intensidade nominal.



Por exemplo, um fusível de 10 A funde imediatamente assim que a corrente atinja 20 A.

Existem dois tipos de fusíveis:

- Os fusíveis de corte rápido;
- Os fusíveis de corte lento.

Os fusíveis de **corte rápido** são concebidos por um fio devidamente esticado fundido nas condições atrás descritas.

Estes são mais usuais, no ramo automóvel, normalmente em circuitos de iluminação, buzina, gestão eletrónica, etc.

Existem outros tipos de fusíveis, denominado de **corte lento** quando se pretende que o circuito admita grande parte da sobrecarga. São fusíveis que suportam normalmente uma corrente excessiva durante um curto período de tempo. Para isso o fusível contém um tipo de filamento que, tal como uma lâmpada, fica incandescente quando a corrente por ele percorrida atinge um valor acima do nominal, fundido pouco depois.

O uso de fusíveis num automóvel, quando utilizada uma bateria, é obrigatório pois colocada em curto-circuito, a bateria emite uma corrente bastante elevada que pode levar ao incêndio de toda a instalação elétrica do automóvel. É de verificar os calibres dos fusíveis do automóvel bem como o seu estado de conservação antes de ligar os bornes da bateria à instalação elétrica do automóvel.

O fusível é apenas um dos muitos aparelhos que traduzem o efeito de Joule. Existem no automóvel outros aparelhos como lâmpadas de incandescência, resistências de aquecimento dos bancos e em alguns modelos antigos, o aquecimento do interior do veículo. O aproveitamento do efeito Joule constitui o fundamento da construção de variada aparelhagem de uso doméstico como ferro de engomar, fogões elétricos, etc.

## TRABALHO

Num circuito, a função da fonte de alimentação é fornecer energia elétrica ao recetor (motor elétrico, resistência, etc.) para que este realize trabalho. A quantidade de trabalho executado pelo recetor depende da quantidade de energia que lhe é fornecida. Como a energia aplicada ao recetor resulta em trabalho, concluímos que este é diretamente



proporcional à tensão aplicada, à intensidade de corrente do circuito e ao tempo de transformação da energia disponível em trabalho. O trabalho tem como designação a letra  $W$  e pode vir expresso em Joule (J). Matematicamente, a expressão do trabalho é dada por:

$$W = V \times I \times t$$

*em que*

$W =$  Trabalho

$V =$  Tensão

$I =$  Intensidade de corrente

$t =$  Tempo de operação

## POTÊNCIA

O termo Potência é usado para descrever a velocidade com que uma carga pode realizar trabalho, isto é, representa a quantidade de trabalho realizado por unidade de tempo (geralmente um segundo).

É de notar que, num circuito elétrico, a carga pode realizar um trabalho útil, ou um trabalho perdido. Temos, por exemplo, o caso de motores elétricos que realizam trabalho útil, ou o caso do aquecimento dos fios condutores que representa um trabalho perdido. Quando existe trabalho perdido, diz-se que a potência está a ser dissipada. A potência é representada por  $P$ , sendo a sua unidade o Watt, com o símbolo  $W$ . A sua expressão matemática é dada por:

$$P = W / t = (V \times I \times t) / t$$

Ou seja,

$$P = V \times I$$

Podemos apresentar a fórmula para a potência em função da resistência. Esta fórmula deriva da Lei de Ohm:

$$P = V \times I = R \times I \times I$$

$$P = R \times I^2$$



## CÁLCULO DE TRABALHO E POTÊNCIA

**EXEMPLO 1.** Calcular o trabalho perdido num minuto e a potência dissipada pela resistência, sabendo que é alimentada a 12 V e atravessada por um corrente de 2 A.

Dados:

$$E = 12 \text{ V}$$

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

$$t = 1 \text{ min} = 30 \text{ s}$$

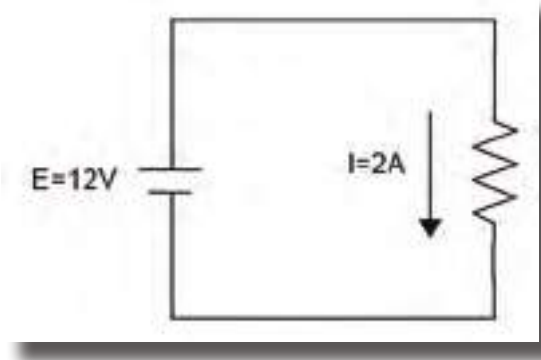


Figura 3 - Circuito.

$$W = E \times I \times t$$

$$W = 12 \times 2 \times 60$$

$$W = 1440 \text{ J}$$

$$P = E \times I$$

$$P = 12 \times 2$$

$$P = 24 \text{ W}$$

A potência dissipada pela resistência é 24 W

**EXEMPLO 2.** Calcular a potência e o trabalho produzido por um motor elétrico, durante 30 minutos, pressupondo um rendimento de 100%, alimentado com 100 V, cuja resistência equivalente é 100 Ω.

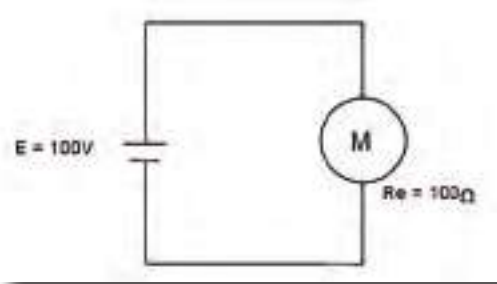


Figura 4 - Circuito.



Dados:

$$E = 100 \text{ V}$$

$$R = 100 \Omega$$

$$P = E \times I = R \times I^2$$

Temos de calcular a intensidade da corrente que atravessa o motor, através da Lei de Ohm.

$$I = E / R = 100 / 100 = 1 \text{ A}$$

Agora podemos calcular a potência desenvolvida:

$$P = 100 \times 1 = 100 \text{ W}$$

O trabalho será:

$$W = P \times t = 100 \times 30 \times 60 = 180\,000 \text{ J} = 180 \text{ kJ}$$

## RENDIMENTO

A energia útil  $W_u$  que as máquinas ou conjuntos de máquinas nos fornecem é sempre inferior à energia absorvida por essas máquinas  $W_a$ . Chamamos rendimento ao quociente da energia útil  $W_u$  pela energia absorvida  $W_a$ .

$$\eta = W_u / W_a$$

Se referirmos a energia à unidade de tempo, teremos o rendimento como o coeficiente entre a potência útil  $P_u$  e a potência absorvida  $P_a$ .

$$\eta = P_u / P_a$$

Este coeficiente é sempre inferior à unidade e, em geral, vem expresso em percentagem (%).

**EXEMPLO.** Um motor de corrente contínua pode fornecer uma potência Mecânica de 7,5 cv e absorve uma potência elétrica de 6,7 kW. Qual é o seu rendimento?





*Dados:*

$$P_u = 7,5 \text{ cv} = 7,5 \times 736 \text{ W} = 5520 \text{ W}$$

$$P_a = 6,7 \text{ kW} = 6700 \text{ W}$$

*O rendimento vem*

$$\eta = P_u / P_a = 5520 / 6700 = 0,82 \text{ 82} / 100 = 82 \%$$



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Uma lâmpada de incandescência tem marcado 60 W e 220 V. Determinar:

- A intensidade de corrente;
- A energia consumida ao fim de 20 h de funcionamento.

**EXERCÍCIO 2.** Qual é o custo mensal da energia consumida por 5 lâmpadas de 40 W, supondo que estão ligadas, em média, 2 h/dia? Considere o Kwh a \$1,50.

**EXERCÍCIO 3.** Qual a potência útil (em kW e em cv) de um motor que, ligado sob uma tensão contínua de 250 V, absorve uma corrente de 6,4 A? Considere o seu rendimento de 90%.

**EXERCÍCIO 4.** Qual a potência de um gerador que tem uma f.e.m. de 240 V e que está a debitar 3,8 A?

**EXERCÍCIO 5.** Se o gerador do problema anterior fosse acionado por um motor que estivesse a receber uma potência de 1,2 kW, qual seria o rendimento deste grupo motor-gerador?

**EXERCÍCIO 6.** Um motor de corrente contínua de 6 cv e 80% de rendimento está ligado a uma rede de 220 V. Determinar:

- A potência que absorve da rede;
- A intensidade de corrente.

**EXERCÍCIO 7.** Um ferro de soldar tem marcado 160 W e deve ser ligado a uma rede de 220 V. Determinar o valor da sua resistência em funcionamento normal.



# CONDENSADORES

Dá-se o nome de **condensador elétrico** ao aparelho formado por duas superfícies metálicas separadas por uma substância isolante (ar, vidro, papel, etc.). Um condensador muito simples é formado por duas folhas de alumínio coladas às duas faces de uma lâmina de plástico. As duas lâminas metálicas chamam-se armaduras e o isolante interposto tem o nome de dielétrico.



Figura 1 - Condensadores elétricos.

Variando as dimensões das armaduras ou as dimensões do dielétrico varia-se igualmente a capacidade, ou seja, o valor capacitivo do condensador.

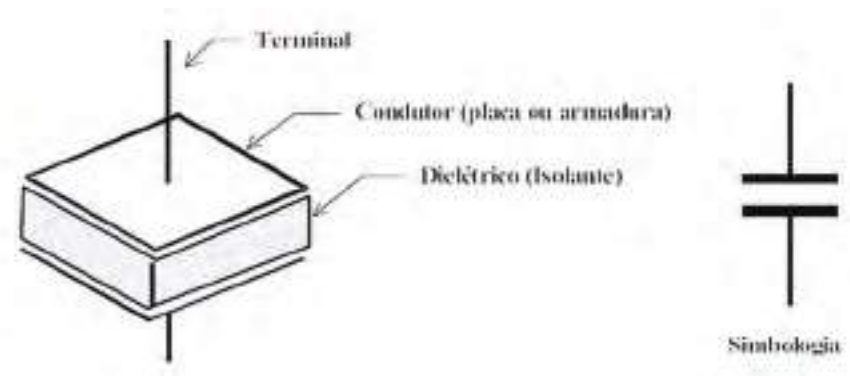


Figura 2 - Composição e simbologia de um condensador.

A capacidade pode também surgir em determinadas partes de um circuito, devido à disposição e localização dos seus componentes. Nesse caso, a capacitância introduzida é indesejável.



## CARGA DO CONDENSADOR

Um condensador encontra-se carregado quando existe uma diferença de potencial entre as suas placas. Para produzir uma diferença de potencial, ou seja, para se carregar um condensador deve-se acumular eletrões livres numa das placas, e ao mesmo tempo, retirar eletrões livres da outra. Uma das placas apresenta um excesso de eletrões livres, e a outra apresenta falta deles.

### Tensão de Rutura

Quando se aumenta sucessivamente a tensão aplicada às armaduras de um condensador, chega o momento em que se dá uma descarga em forma de faísca ou arco elétrico através do dielétrico se este for constituído por um corpo sólido (papel, plástico, vidro), o arco elétrico perfura-o inutilizando irremediavelmente o condensador. A tensão que produz a faísca ou arco elétrico através do dielétrico chama-se tensão de rutura. Ela depende da qualidade do dielétrico e é tanto mais elevada quanto maior for a espessura deste. Para o mesmo condensador, a tensão de rutura é variável com a temperatura, isto é, quanto mais elevada for a temperatura, menor será a tensão que produz a perfuração do dielétrico. Assim, um condensador que resista a uma certa tensão poderá não lhe resistir se a temperatura for aumentada.

Para que um condensador se encontre carregado armazenado energia elétrica, é necessário aplicar uma diferença potencial ou uma tensão entre as suas armaduras. Se esta tensão é fornecida por uma bateria, uma das placas do condensador fica ligado ao terminal positivo e a outra ligado ao terminal negativo da mesma.

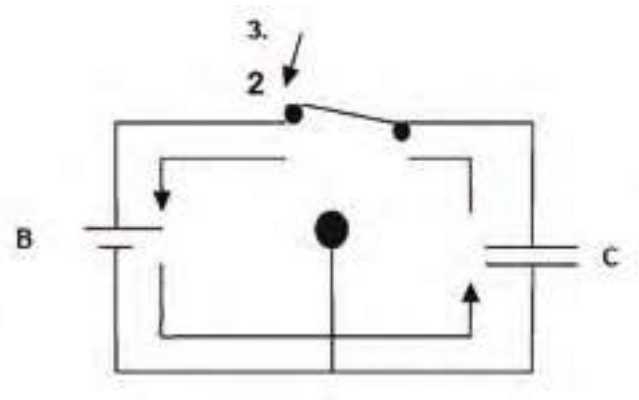


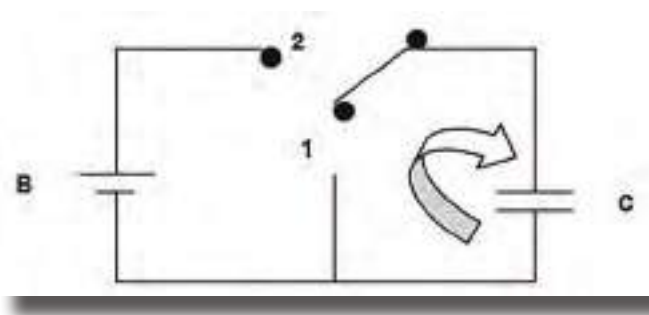
Figura 3 - Carga do condensador.



Na Figura 3 verifica-se que o interruptor I é deslocado do ponto 3 para 2 por forma que os terminais da bateria ligados ao condensador carregando-o. No momento de carga do condensador existe um fluxo de eletrões para a placa negativa e um fluxo de eletrões a saírem de placa positiva para a bateria. Passa a existir uma força eletrostática no dielétrico do condensador que denominamos de campo elétrico e pode ser representado por linhas de força existentes entre as duas placas. Em todos os condensadores é marcado, pelo fabricante, a capacidade do condensador, a tensão de rotura, a temperatura e muitas vezes a polaridade do mesmo.

### Descarga do Condensador

Como já vimos se um circuito adquirir um potencial igual ao dos polos do gerador, cessa a corrente no circuito. Se as armaduras forem depois desligadas do gerador e ligadas em 1 dá-se a descarga do condensador C (Figura 4).



No momento em que o interruptor I é posto na posição 1, produz-se uma corrente mas com sentido contrário à corrente de carga do condensador. Esta corrente termina quando não existir campo elétrico no dielétrico do condensador e consequentemente o potencial se igualar nas armaduras.

### Capacidade dos Condensadores

A quantidade de eletricidade armazenada num condensador (carga) é tanto maior quanto mais elevada for a tensão aplicada às armaduras. Essa quantidade de eletricidade (Q) é igual ao produto da tensão (V) pela capacidade de armazenamento deste (C):

$$Q = C \times V$$



onde:

$C$  = Capacidade do condensador

$Q$  = Carga armazenada pelo condensador

$E$  = Tensão aplicada aos terminais do condensador

A unidade de capacidade utilizada é o Farad, como um Farad representa uma capacidade. Como todo o circuito apresenta alguma resistência, para carregar um condensador sempre se leva um certo intervalo de tempo definido. O tempo exato depende tanto da resistência ( $R$ ) do circuito de carga, como da capacidade ( $C$ ) do condensador. A relação entre essas duas grandezas e o tempo de carga é expressa pela seguinte equação:

$$T = R \times C$$

Onde:

$T$  = Constante de tempo capacitivo

$R$  = Resistência

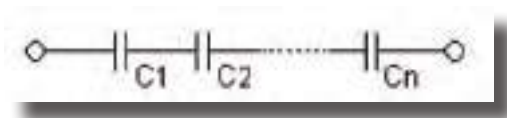
$C$  = Capacidade do condensador

## Associação de Condensadores

Os condensadores podem ser associados de vários modos:

- Associação em série;
- Associação em paralelo.

### Associação em Série



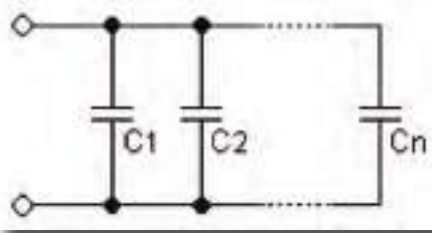
Na associação em série, a tensão aplicada ao grupo reparte-se por cada um dos compensadores na razão inversa das suas capacidades. A capacidade resultante pode ser calculada pela fórmula:



$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

### Associação em Paralelo

Neste caso, a capacidade  $C$  de um grupo de condensadores em paralelo é igual à soma das capacidades dos vários condensadores.



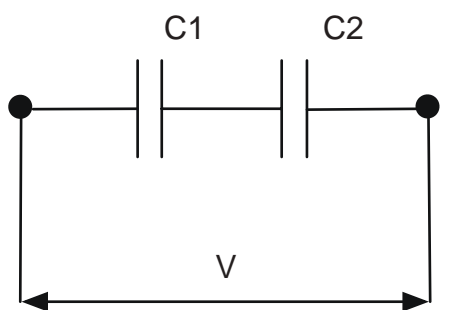
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$



## EXERCÍCIOS TEÓRICOS

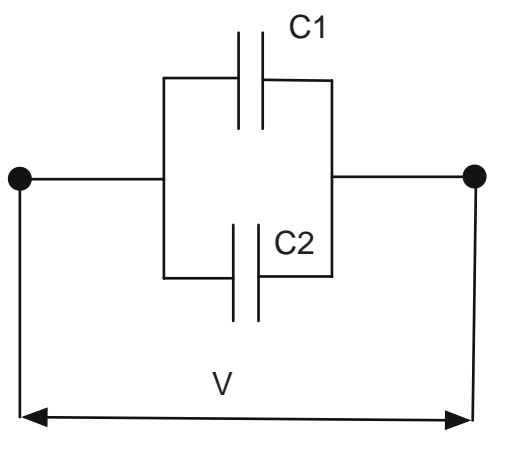
**EXERCÍCIO 1.** Um condensador armazena uma carga de  $0,5 \mu\text{F}$  quando submetido à tensão de  $220 \text{ V}$ . Qual a sua capacidade?

**EXERCÍCIO 2.** Dispomos de dois condensadores iguais com capacidades de  $8,0 \mu\text{F}$  e tensões nominais de  $500 \text{ V}$ .



- A capacidade equivalente do seu agrupamento em série;
- A maior tensão a que pode ser submetido o agrupamento;
- A quantidade de eletricidade armazenada quando o agrupamento está submetido a essa tensão máxima.

**EXERCÍCIO 3.** Resolva as questões anteriores para um agrupamento em paralelo dos condensadores.





# MAGNETISMO

A palavra magnetismo deriva de Magnésia, cidade da Ásia Menor, onde foi encontrado, há muitos séculos, um mineral de ferro (magnetite) que tinha a propriedade de atrair o ferro.

## ÍMANES

Chamamos magneto ou íman ao corpo que possui a propriedade de atrair ferro, níquel ou cobalto. As substâncias que são atraídas pelos ímanes (ferro, níquel, cobalto e algumas ligas compostas destes metais) são chamadas ferromagnéticas. A magnetite, também chamada **pedra íman**, é um íman natural, pois existe na natureza já com a propriedade de atrair corpos de ferro. A magnetite não tem qualidades de interesse prático, pois desagrega-se facilmente, a força atrativa é pequena, não se pode dar-lhe uma força conveniente, etc. Assim, foram criados os ímanes artificiais, a partir de ligas como o aço duro, alnico, ticonal, etc. Com estes materiais podemos construir ímanes com qualquer forma e com uma força atrativa muito elevada.

As formas mais habituais dos ímanes são: barras quadradas, retangulares ou redondas, retos, em forma de U e em losango (agulha magnética).



*Figura 1 - Íman em forma de U.*

Se deitarmos limalha de ferro sobre um íman, verificamos que essa limalha é atraída pelas extremidades.



As zonas, junto das extremidades, onde se verificam com maior intensidade as propriedades magnéticas, chamam-se polos magnéticos do íman. A zona intermédia é uma zona neutra, pois não tem ação magnética.



Figura 2 - Bússola magnética.

Com uma agulha magnética assente sobre uma ponta fina e podendo orientar-se livremente, podemos verificar que uma mesma extremidade desta agulha é atraída por uma das extremidades dum íman e repelida pela outra.

Também, fazendo a mesma experiência com dois ímanes e aproximando depois as extremidades destes dois ímanes que atraíam um dos polos da agulha magnética, verificamos que esses polos se repelem.

Temos, portanto, que os dois polos de um íman são distintos. Chamamos polo norte ao polo que repele a ponta azul (norte) da agulha magnética e polo sul ao que atrai essa ponta azul. Verificámos, assim, que «polos de nomes contrários atraem-se e polos do mesmo nome repelem-se».

Podemos procurar a polaridade de um íman aproximando um polo qualquer desse íman da ponta azulada da agulha magnética (norte). Se esta é repelida, trata-se do polo norte do íman; se é atraída, então, trata-se do polo sul.

## CAMPO MAGNÉTICO

Com uma pequena agulha magnética, assente sobre uma ponta ou suspensa por um fio sem torção, poderemos verificar a existência de um estado magnético à volta de um íman. Chama-se **campo magnético** de um íman ao espaço à volta do íman, onde se faz sentir a sua influência.



Colocando um íman sobre uma placa fina, por exemplo de plástico transparente, e peneirando, para essa placa, limalha de ferro, verificamos que os diferentes grãos de limalha se orientam, pois cada grão fica magnetizado por estar submetido à influência do íman. A limalha forma um conjunto de **linhas de força** (Figura 3) e toma o aspecto de uma figura a que chamamos espectro magnético.



Figura 3 - Linhas de campo magnético.

Ao conjunto das linhas que saem pelo polo norte chamamos **fluxo magnético**. O fluxo magnético representa-se por  $\Phi$  (lê-se fi) e a sua unidade S.I. é o weber, que tem o símbolo Wb.

A densidade do fluxo, isto é, o fluxo por unidade de secção do íman, chamamos indução, que se representa por B e tem por unidade o weber por metro quadrado (Wb/m<sup>2</sup>)

$$B = \Phi / A$$

em que

$B$  = Indução

$\Phi$  = Fluxo magnético

$A$  = Área



Deixando orientar uma agulha magnética, ela toma uma posição próxima da direção norte-sul terrestre. A extremidade azulada fica aproximadamente orientada para norte e, por tal, tem o nome de polo norte; à extremidade branca metálica, que aponta aproximadamente para sul, chamou-se polo sul. Tudo se passa como se, no interior da Terra, existisse um íman gigantesco, cujo polo sul estivesse junto do polo norte terrestre. Este íman gigantesco é, portanto, a causa do campo magnético terrestre, cuja ação se faz sentir em toda a superfície da Terra.

A bússola (Figura 2) não é mais do que uma agulha magnética, encerrada numa caixa onde estão marcados os pontos cardiais. Para cada ponto da Terra, a direção norte-sul magnética faz um pequeno ângulo com a direção norte-sul terrestre. Este ângulo chama-se declinação magnética do lugar.

### MAGNETIZAÇÃO

Se dividirmos a meio um íman, verificamos que cada uma das partes constitui um íman, pois apresenta um polo norte e um polo sul. Se continuarmos a subdivisão, obteremos sempre ímanes, com dois polos, cada vez mais pequenos. Como limite da subdivisão, temos a molécula como o mais pequeno íman.

Se um corpo não está magnetizado, as suas moléculas têm todas as orientações possíveis, anulando-se mutuamente as suas ações magnéticas.

A magnetização faz-se submetendo um corpo à ação de um forte campo magnético. O campo magnético pode ser produzido por ímanes, como vimos, ou por correntes elétricas, como veremos mais tarde.

As peças de ferro e de aço extra macio magnetizam-se com muita facilidade, quando submetidas à ação de um campo magnético, mas logo que saem da ação deste campo perdem todo o magnetismo.



Figura 4 - Suporte com base magnética.



Verifica-se isto porque as moléculas de ferro, suas constituintes, rodam com muita facilidade, pelo que são fáceis de orientar por forma a que se somem as suas ações magnéticas. No entanto, suprimindo o campo excitador, as moléculas perdem facilmente essa orientação, desaparecendo o magnetismo da peça.

As barras de aço duro, alnico e ticonal, são de magnetização muito difícil, mas também depois não se desmagnetizam com facilidade, tornando-se ímanes permanentes. As peças de aço duro, depois de submetidas a um campo magnético, conservam-se magnetizadas. Chamamos magnetismo remanescente ao magnetismo que fica numa peça depois de deixar de estar submetida a um campo magnético.

Para desmagnetizar peças de aço que tenham adquirido magnetismo que não desejamos, podemos aquecer essa peça até uma temperatura (ponto de Curie), a partir da qual o material perde as propriedades magnéticas. Para o aço, o ponto de Curie é de  $775^{\circ}\text{C}$ , para o níquel de  $360^{\circ}\text{C}$  e, para o cobalto de  $1\ 100^{\circ}\text{C}$ .

Também podemos desmagnetizar uma peça de aço submetendo-a a sucessivas pancadas, as quais dispõem irregularmente as moléculas. A desmagnetização de peças ou aparelhos delicados faz-se metendo e retirando lentamente essa peça do interior de uma bobina onde passa uma corrente alternada.

Os ímanes permanentes têm inúmeras aplicações, principalmente depois do aparecimento de ligas especiais como o alnico e o ticonal. É o caso das aplicações em bases magnéticas (Figura 4) e em pratos magnéticos (Figura 5).



Figura 5 - Prato magnético.



A base magnética e o prato magnético são constituídos por ímanes de grande força atrativa, cilíndricos ou em barras retangulares, que podem tomar duas posições relativamente ao aparelho. Na posição de repouso, as linhas de fluxo fecham-se pelo interior do aparelho e, por tal, não há força atrativa para as penas exteriores. Na posição de aderência, obrigamos as linhas de fluxo a fecharem-se pelas peças exteriores, pois nos aparelhos há a interposição de peças de latão. O latão comporta-se como se fosse uma camada de ar. O deslocamento dos ímanes pode fazer-se por meio de um botão, que é impulsionado nos dois sentidos, ou por meio de uma alavanca, que aciona um parafuso e faz correr os ímanes.

### BOBINAS

A passagem da corrente elétrica provoca, como vimos, o desvio de uma agulha magnética que era paralela no condutor. Esta experiência, realizada pela primeira vez por Oersted, mostra que uma corrente elétrica cria à sua volta um campo magnético.

Considerando um qualquer plano perpendicular ao condutor retilíneo, as linhas de força situadas nesse plano são circunferências concêntricas e têm um sentido que é dado pela regra do saca-rolhas: o saca-rolhas caminha no sentido da corrente e roda no sentido das linhas de força.

Como as linhas de força entram pelo polo sul de um íman e saem pelo seu polo norte, temos a justificação do desvio da agulha magnética para uma posição que tende a ser perpendicular ao condutor, a fim de que as linhas de força criadas pela corrente entrem pelo polo sul, ou seja, a extremidade branca metálica.

Enrolando um condutor e dando-lhe a forma de circunferência, isto é, construído uma espira onde fazemos passar uma corrente, verifica-se que, por aplicação da regra do saca-rolhas em vários pontos desse condutor, as linhas de força têm todas o mesmo sentido na zona interior da espira. Assim, a regra do saca-rolhas pode, neste caso, enunciar-se da seguinte forma: rodando o saca-rolhas no sentido da corrente, ele desloca-se no sentido das linhas de força pelo interior da espira (Figura 3).



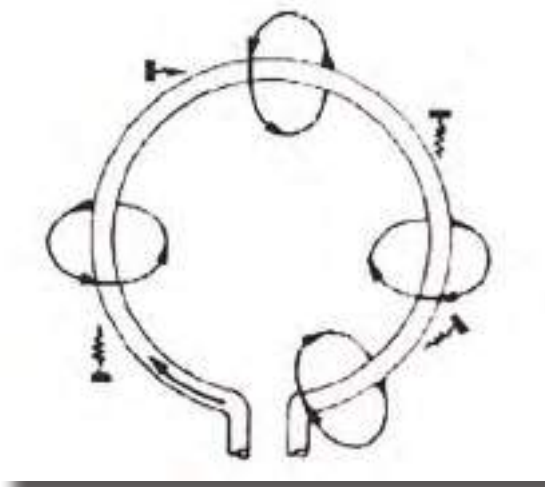


Figura 3 - Corrente circular (espira).

Agrupando um certo número de espiras construímos uma bobina ou solenoide. Fazendo passar uma corrente, as linhas de força, todas com o mesmo sentido no interior de cada espira, associam-se e tomam o aspeto da figura 4.

O fluxo magnético  $\phi$  através de uma superfície plana (secção A média da bobina), é, como no caso dos imanes,

$$\phi = B \times A$$

sendo B a indução num ponto médio da bobina.

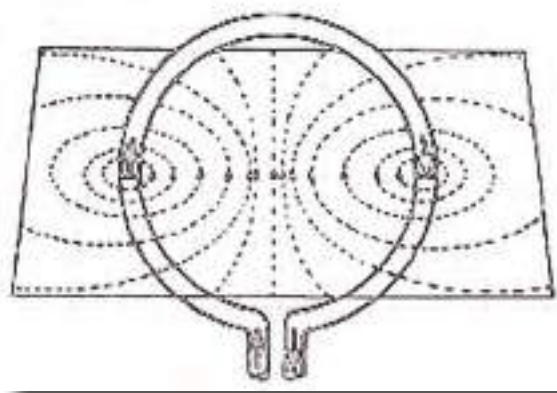


Figura 4 - Campo criado por uma espira.



## ELETROÍMANES

Se introduzirmos um núcleo de ferro no interior de uma bobina, construindo assim um eletroímã, verificamos que o conjunto adquire propriedades magnéticas muito mais importantes do que no caso da bobina com núcleo de ar e com a mesma intensidade da corrente. Estas propriedades magnéticas só existem enquanto passar a corrente na bobina.

As aplicações mais vulgares dos eletroímãs são as campainhas elétricas (Figura 5), aparelhos de comando e proteção de máquinas elétricas, instrumentos de medida e alguns tipos de mesas eletromagnéticas (idênticas às mesas magnéticas mas, em vez de imanes, têm eletroímãs).

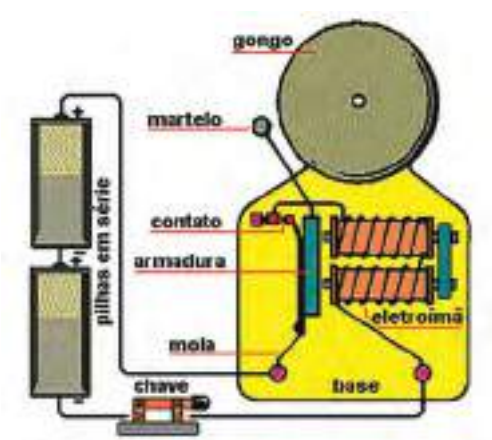


Figura 5 - Campainha elétrica.

## CONTACTOR

O contactor é um aparelho destinado a fechar, ou abrir, um certo número de contactos por ação da força atrativa de um eletroímã sobre a armadura enquanto se faz passar uma corrente na sua bobina (bobina de chamada) (Figura 5).

O estabelecimento ou corte da corrente na bobina de chamada pode ser comandado no local ou à distância, por meio de:

- Interruptor (comando por contacto permanente);
- Botões de pressão (comando por impulso).







*Figura 6 - Contactor.*

Para comando e proteção dos motores que acionam as máquinas-ferramenta aplicam-se, em geral, um contactor-disjuntor em conjunto com corta-circuitos fusíveis. A proteção contra curto-circuito é feita pelos corta-circuitos fusíveis.

Um contactor-disjuntor é constituído por um contactor que, quando excitado por uma corrente, atrai uma armadura. Este movimento de armadura faz vários contactos que estabelecem a ligação dos condutores que vêm da rede com os condutores que vão para o motor.



*Figura 7 - Contactor-disjuntor.*

A corrente que excita o eletroímã é tirada da rede e, ligada ou desligada, respetivamente, por meio dos botões de comando I (verde) e O (vermelho).



O botão de comando (ligar) só estabelece a ligação quando é premido manualmente. Logo que deixamos de fazer pressão, volta a desfazer-se a ligação, o que coitaria o circuito do eletroímã se o movimento da armadura não tivesse realizado o contacto A (em derivação com I).

O botão de comando O (desligar) está, normalmente, fechado. Quando fazemos pressão sobre ele, interrompe-se o circuito do eletroímã, que, assim, deixa de ter ação sobre a armadura.

Deste modo, a armadura separa-se, devido a uma mola, desfazendo-se os contactos A e da ligação da rede ao motor, pelo que o motor para

Vimos como se realiza o comando por botões e a proteção contra curto-circuitos das máquinas-ferramentas. Há ainda necessidade de proteger o motor contra sobrecargas. Diz-se que há uma sobrecarga quando o motor está a fazer maior esforço do que aquele para que está calculado. Nestas circunstâncias, o motor absorve uma corrente superior à corrente nominal ou de funcionamento normal, que é indicada na chapa de características do motor. Assim, o aquecimento é maior e o motor corre o perigo de avariar, se deixarmos permanecer essa corrente por longo tempo.

Para evitar que se mantenham correntes superiores às normais usam-se lâminas bimetálicas que são constituídas por dois materiais de diferentes coeficientes de dilatação (um dos materiais é o invar, substância que praticamente não dilata com o aumento de temperatura). Faz-se passar a corrente que alimenta o motor por lâminas bimetálicas (BM), as quais aquecem e, como uma parte se dilata, começam a inclinar-se. Com a corrente normal, a inclinação das lâminas não aciona um dos contactos. Quando a corrente ultrapassa o valor normal em qualquer dos condutores de alimentação do motor, então a inclinação do bimetálico torna-se maior e aciona o interruptor do circuito do eletroímã.

A intensidade da corrente que provoca a atuação do bimetálico pode ser regulada, dentro de certos limites, por um botão que se encontra no interior da caixa do contactor-disjuntor.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Assinale as palavra corretas:

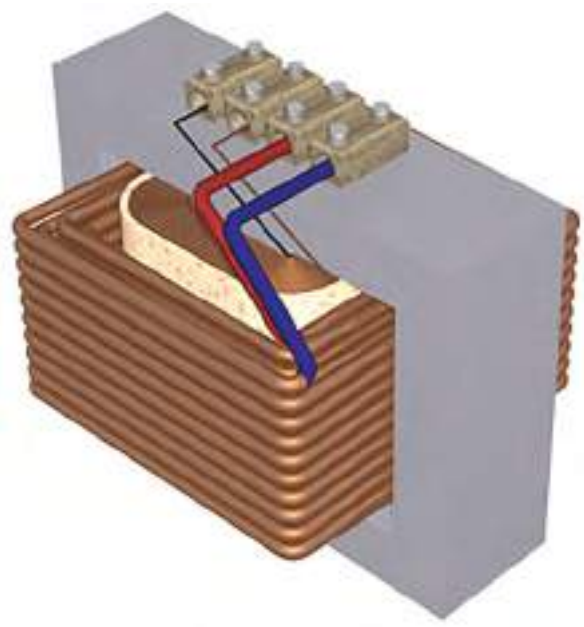
- a. Chamamos magneto ou íman ao corpo que possui a propriedade de atrair **ferro, níquel, alumínio, pedra, borracha e cobalto;**
- b. Se deitarmos limalha de ferro sobre um íman, verificamos que essa limalha é atraída pelas extremidades. As zonas junto das extremidades, onde se verificam com maior intensidade as propriedades magnéticas, chamam-se polos **elétricos/magnéticos/opostos** do íman. A zona intermédia é uma zona neutra, pois não tem ação **elétrica/magnética;**
- c. Com uma pequena agulha magnética, assente sobre uma ponta ou suspensa por um fio sem torção, poderemos verificar a existência de um estado **elétrico/magnético** à volta de um íman. Chama-se campo **elétrico/magnético** de um íman ao espaço à volta do íman, onde se faz sentir a sua influência;
- d. Colocando um íman sobre uma placa fina, por exemplo de plástico transparente, e peneirando, para essa placa, limalha de ferro, verificamos que os diferentes grãos de limalha se orientam, pois cada grão fica magnetizado por estar submetido à influência do íman. A limalha forma um conjunto de **linhas de força/curvas de força/linhas de atração;**
- e. Se um corpo **está/não está** magnetizado, as suas moléculas têm todas as orientações possíveis, anulando-se mutuamente as suas ações magnéticas.
- f. A passagem da corrente elétrica provoca o desvio de uma agulha magnética paralela ao condutor. Esta experiência, realizada pela primeira vez por Oersted, mostra que uma corrente **elétrica/magnética** cria à sua volta um campo **elétrico/magnético;**
- g. Se introduzirmos um núcleo de **ferro/água/alumínio/papel** no interior de uma bobina, construindo assim um **eletroíman/bobina/íman**, verificamos que o conjunto adquire propriedades magnéticas muito mais importantes do que no caso da bobina com núcleo de ar e com a mesma intensidade da corrente. Estas propriedades magnéticas só existem enquanto passar a **tensão/resistência/corrente** na bobina.



# TRANSFORMADORES

Os transformadores vêm sendo aplicados na eletricidade e na eletrônica em várias áreas como a geração de energia, a transmissão, a distribuição e nos circuitos eletrônicos.

Um **transformador** é um dispositivo que tem como finalidade transmitir energia elétrica ou potência elétrica de um circuito a outro, convertendo tensões, correntes e de modificar os valores da impedância elétrica de um circuito. Trata-se de um dispositivo de corrente alternada que opera baseado nos princípios eletromagnéticos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz.



*Figura 1 - Transformador.*

Existem diversos modelos de transformadores, mas todos adotam o mesmo princípio da utilização do campo magnético como forma de acoplamento. As exigências técnicas e econômicas impõem à construção de grandes fábricas elétricas, muitas vezes localizadas fora dos grandes centros populacionais, que devem utilizar a energia hidráulica dos lagos e rios das montanhas. Surge assim a necessidade do transporte da energia elétrica através de linhas de comprimento considerável.



Devido a fatores económicos e de construção, as secções dos condutores destas linhas devem ser limitadas, o que torna necessária a limitação da intensidade das correntes nas mesmas. Assim sendo, as linhas deverão ser construídas para funcionar com uma tensão elevada, que em certos casos atinge a centenas de milhares de volts.

Estas realizações são possíveis em virtude de a corrente alternada poder ser transformada facilmente de baixa para alta tensão e vice-versa, por meio de uma máquina estática, de construção simples e rendimento elevado, que é o transformador.

## *PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO*

Quando o indutor é ligado a um fonte de alimentação em corrente alternada ocorre o aparecimento de um campo magnético induzido. Quando um segundo indutor é imerso sobre esse campo magnético, ocorre o processo de indução, onde o campo magnético é convertido pelo indutor em forma de tensão induzida.

No modelo básico de um transformador, a sua estrutura é formada por duas bobinas isoladas eletricamente e enroladas em torno de um núcleo comum. Para se transferir a energia elétrica de uma bobina para a outra utiliza-se o acoplamento magnético. A bobina que recebe a energia de uma fonte CA recebe a denominação de primário. A bobina que fornece energia para uma carga CA é designada como secundário. O núcleo dos transformadores usados em baixa frequência é feito geralmente de material magnético, normalmente aço laminado. Os núcleos dos transformadores usados em altas frequências são feitos de pó de ferro e cerâmica ou de materiais não magnéticos. Algumas bobinas são simplesmente enroladas em torno de formas ocas não magnéticas como, por exemplo, papelão ou plástico, de modo a que o material que forma o núcleo seja o ar. Em condições ideais, a transferência de energia de uma tensão para outra se faz sem nenhuma perda.



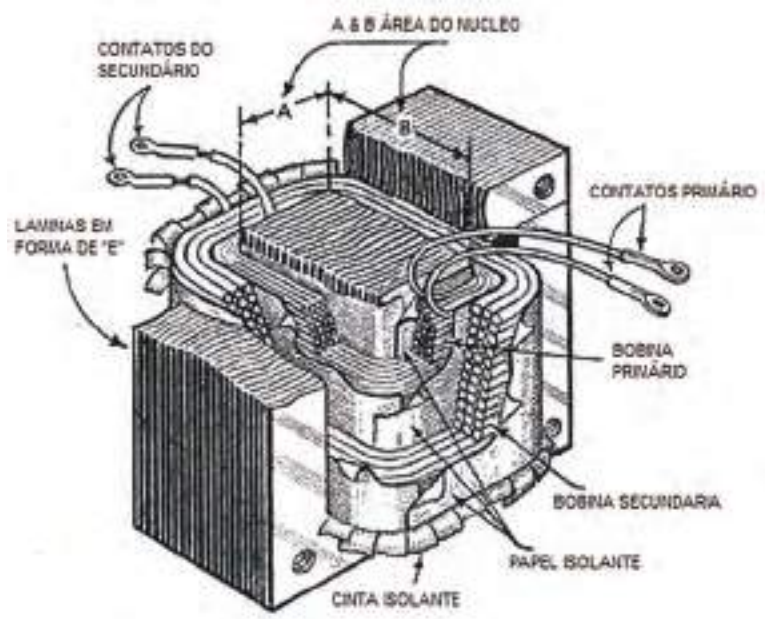


Figura 2 - Aspeto do interior de um transformador típico.

A tensão elétrica induzida no secundário de um transformador é proporcional ao número de linhas magnéticas que trespasam a bobina do secundário, por esse motivo as bobinas são montadas sobre um material ferro magnético, de forma a diminuir a dispersão das linhas, concentrando o campo magnético sobre a bobina do secundário. Por vezes utiliza-se um núcleo magnético para melhorar o fluxo magnético. No entanto, aparece o problema do aquecimento devido à utilização de um núcleo maciço. Assim, utiliza-se chapas de ferro silicioso e laminado para a construção do núcleo, que reduz ocorre o aparecimento de correntes parasitas, também conhecidas como correntes de Foucault.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** O que é um transformador?

**EXERCÍCIO 2.** Porque se utilizam os transformadores na distribuição de energia elétrica?



## BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

COOPER, Alain - Ciência Visual ELETRICIDADE , Editorial Pública.

CRUZEIRO, Mário Rodrigues - Estudo da Eletricidade, III Volume, Edições Salesianas.

CASTELA, Comandante José Filipe - Electrotecnia e Máquinas Elétricas, Ministério da Marinha (Escola Náutica).

BENEVIDES, Francisco Fonseca - Noções de Física Moderna, Tomo II, Academia Real das Ciências.

SILVA, Rogério Castro - Curso de Eletricidade Prática, 3ª Edição, Editorial de Marinha, Ministério da Marinha (Escola Náutica).

CEPRA - Eletricidade Básica, Coleção Formação Modular Automóvel, IEFP, 2000.

MORAIS, Simões - Elementos de Eletricidade, 14ª Edição, Porto Editora.

CAPUANO, Francisco Grabiél, MARINO, Maria Aparecida Mendes - Laboratório de Eletricidade e Eletrônica, 24ª Edição, Editora Erica.

