



ELETRÓSTÁTICA

Modificações por:
Maurício Ruv Lemes

(Doutor em Ciência pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA)

1 - ELETRICIDADE - PEQUENO HISTÓRICO (*)

A seguir colocamos em ordem cronológica alguns fatos de grande importância no desenvolvimento de teorias e conceitos sobre eletricidade.

600 a. C.	Tales de Mileto – Observação de um pedaço de âmbar atrai pequenos fragmentos de palha, quando previamente atritado.
1600	William Gilbert – Outras substâncias além do âmbar são capazes de adquirir propriedades elétricas. Estudos sobre ímãs e interpretação do magnetismo terrestre.
1672	Otto von Guericke – Invenção da primeira máquina eletrostática.
1729	Stephen Gray – Os metais tem a propriedade de transferir a eletricidade de um corpo a outro. Primeira caracterização de condutores e isolantes. Experiências sobre indução elétrica.
1763	Robert Symmer – Teoria dos Dois Fluidos: o corpo neutro tem quantidade “normal” de fluido elétrico. Quando é esfregado uma parte do seu fluido é transferida de um corpo para outro ficando um com excesso (carga positiva) e outro com falta (carga negativa). Fato importante: lei da conservação da carga.
1785	Charles A. Coulomb – Experiências quantitativas sobre interação entre cargas elétricas, com auxílio da balança de torção.

1800	Alessandro Volta – Invenção da Pilha.
1820	Hans Christian Oersted – Efeito Magnético da Corrente Elétrica.
1825	Andre Marie Ampere – Lei que governa a interação entre os ímãs e correntes elétricas.
1827	George Simon Ohm – Conceito de resistência elétrica de um fio. Dependência entre diferença de potencial e corrente.
1831	Michael Faraday – Lei da indução eletromagnética entre circuitos.
1832	Joseph Henry – Fenômenos da auto-indução.
1834	Heinrich Friedrich Lenz – Sentido da força eletromotriz induzida.
1834	Michael Faraday – Leis da eletrólise: evidência de que íons transportam a mesma quantidade de eletricidade proporcional a sua valência química.
1864	James Clerk Maxwell – Teoria do Eletromagnetismo. Previsão da existência de ondas eletromagnéticas. Natureza da luz.
1887	Heinrich Hertz – Produção de ondas eletromagnéticas em laboratórios.
1897	Joseph John Thomson – Descoberta do elétron.
1909	Robert Milikan – Medida da carga do elétron. Quantização da carga.

(*) Feito por Dr. Roberto A. Stempianiak (Prof. Dr. UNITAU)

2 - INTRODUÇÃO

2.1 - ESTRUTURA DA MATÉRIA - CARGA ELÉTRICA

A matéria é constituída por átomos, que são estruturados basicamente a partir de três partículas elementares: o elétron, o próton e o nêutron (*é importante ressaltar que essas não são as únicas partículas existentes no átomo, mas para o nosso propósito elas são suficientes*). Em cada átomo há uma parte central muito densa, o núcleo, onde estão os prótons e os nêutrons. Os elétrons, num modelo simplificado, podem ser imaginados descrevendo órbitas elípticas em torno do núcleo (fig. 1), como planetas descrevendo órbitas em torno do Sol. Essa região periférica do átomo é chamada de eletrosfera.

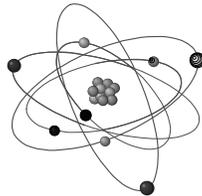


FIGURA 1

Experimentalmente provou-se que, quando em presença, prótons repele prótons, elétrons repele elétrons, ao passo que próton e elétron atraem-se mutuamente. O nêutron não manifesta nenhuma atração ou repulsão, qualquer que seja a partícula da qual se aproxima. Na figura 2 procuramos esquematizar essas ações.

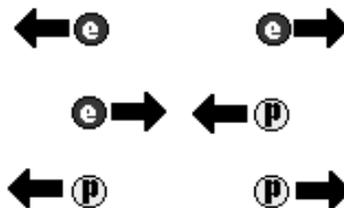


FIGURA 2

Dessas experiências é possível concluir que prótons e elétrons apresentam uma propriedade, não manifestada pelos nêutrons, denominada carga elétrica. Convenciona-se:

Carga elétrica positiva (+) \Rightarrow próton
Carga elétrica negativa (-) \Rightarrow elétron

Verifica-se que, quando um átomo apresenta um número de prótons igual ao número de elétrons, o átomo é eletricamente neutro. Se o átomo perder um ou mais elétrons, o número de prótons no núcleo passa a predominar e o átomo passa a manifestar propriedades elétricas, tornando-se um íon positivo. Se o átomo receber elétrons, ele passará a manifestar um comportamento elétrico oposto ao anterior e tornar-se-á um íon negativo.

Portanto, um corpo estará eletrizado quando o número total de prótons for diferente do número total de elétrons.

IMPORTANTE:

- ☞ $N_P < N_E \rightarrow$ corpo eletrizado negativamente
- ☞ $N_P > N_E \rightarrow$ corpo eletrizado positivamente
- ☞ $N_P = N_E \rightarrow$ corpo neutro
- ☞ **PRINCÍPIO BÁSICO DAS AÇÕES ELÉTRICAS** estabelece que: “corpos com cargas de mesmo sinal repelem-se e corpos com cargas de sinais contrários atraem-se”.

OBS: N_E é o número de elétrons e N_P o número de prótons.

UNIDADE DE CARGA ELÉTRICA (Q)

UNIDADE NO SI:

$Q \rightarrow$ carga elétrica \Rightarrow Coulomb (C)

CARGA ELEMENTAR (e)

A carga elétrica do elétron é chamada de carga elementar, em módulo, o seu valor é igual a carga elétrica do próton. Através de experiências, foi possível determinar seu valor:

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Tendo em vista que a eletrização de um corpo se deve a falta ou excesso de elétrons, podemos escrever que a carga elétrica de um corpo é calculada da seguinte forma:

$$Q = \pm n \cdot e$$

UNIDADES NO SI:

Q → carga elétrica ⇒ Coulomb (C)
 n → número de elétrons em excesso (-) ou em falta (+)
 e → carga elementar ⇒ Coulomb (C)

3 - PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

3.1 - ELETRIZAÇÃO POR ATRITO

Duas substâncias de naturezas diferentes, quando atritadas, eletrizam-se com igual quantidade de cargas em valor absoluto e de sinais contrários.

Se atritarmos vidro com seda, elétrons migrarão do vidro para seda, portanto o vidro ficará eletrizado positivamente e a seda negativamente.

3.2 - ELETRIZAÇÃO POR CONTATO

Quando um corpo neutro é posto em contato com um corpo eletrizado, eletriza-se com carga do mesmo sinal.

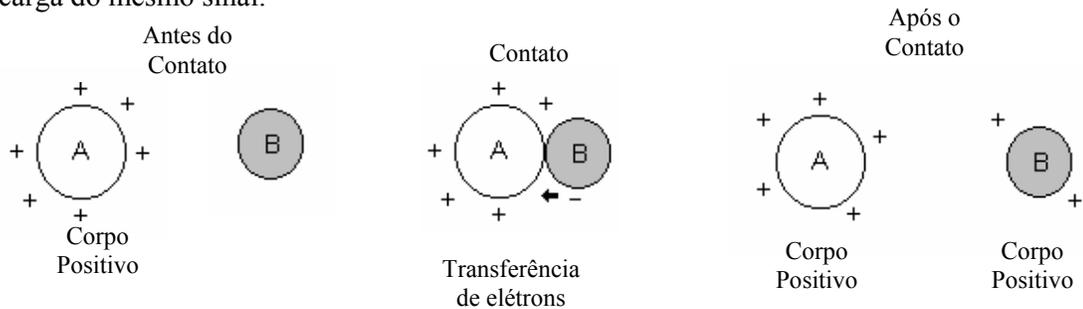


FIGURA 3

3.3 - ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO

Quando um corpo neutro é colocado próximo de um corpo eletrizado, sem que exista contato, o corpo neutro tem parte das cargas elétricas separadas (indução eletrostática), podendo ser eletrizado.

Ao atritarmos um pente e aproximamos o mesmo de um filete de água, a água será atraída pelo pente por indução.

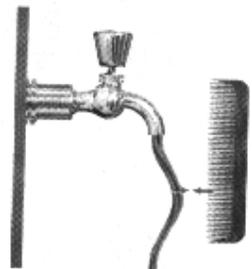


FIGURA 4

O processo de indução, simplesmente, não eletriza um corpo. O que ocorre é um rearranjo no posicionamento das cargas.

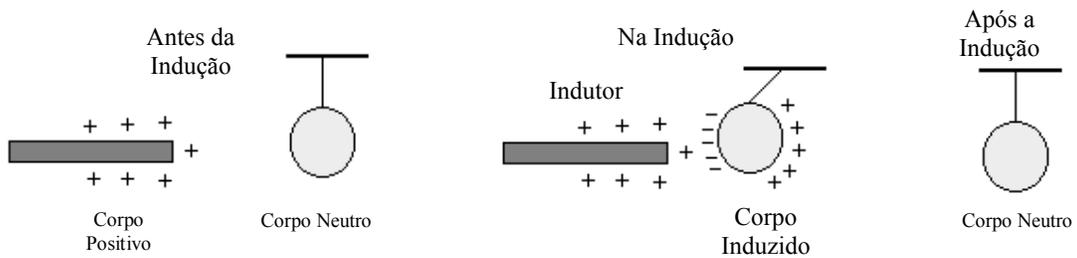
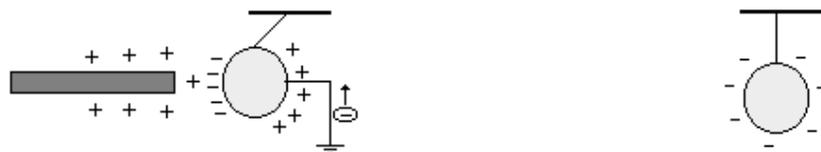


FIGURA 5

Podemos, dentro deste procedimento, fazer uma ligação a terra do corpo induzido e eletrizá-lo.



Ligando o corpo Induzido à terra, teremos, neste caso, o deslocamento de elétrons da terra para o corpo

Como o corpo estava neutro, bastava um único elétron que ele ficaria negativo.

FIGURA 6

OBS: Caso a região ligada à terra seja negativa, haverá deslocamento de elétrons do corpo para terra, fazendo com que o corpo fique positivo.

3.4 - ELETROSCÓPIOS

Para constatar se um corpo está ou não eletrizado, utilizamos dispositivos denominados eletroscópios. Existem os eletroscópios de folhas e o de pêndulo.

O eletroscópio de pêndulo é baseado no processo de indução para detectar se um corpo está ou não eletrizado. Ele possui um fio isolante amarrado a uma esfera metálica.



FIGURA 7

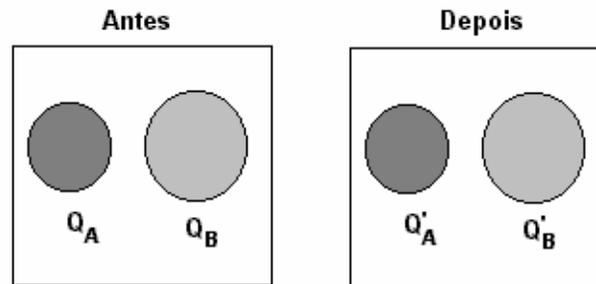
O eletroscópio de folhas também se utiliza do processo de indução para detectar se um corpo está ou não eletrizado. Caso seja aproximado um corpo eletrizado positivamente da esfera condutora, as cargas negativas serão atraídas para a esfera, já as cargas positivas se acumularão nas lâminas metálicas que irão abrir, devido a repulsão de cargas iguais.



FIGURA 8

3.5 - PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DA CARGA

Num sistema eletricamente isolado a carga elétrica total permanece constante.



$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B$$

FIGURA 9

IMPORTANTE:

Um corpo eletrizado, cuja dimensão é desprezível em relação às distâncias que o separam de outros corpos, será chamado de carga puntiforme.

EXERCÍCIOS

- 1> Quantos elétrons devemos colocar num corpo neutro para que o mesmo fique eletrizado com $-1,0 \text{ C}$ de carga ?
- 2> Quatro esferas metálicas idênticas estão isoladas uma das outras; X, Y e Z estão neutras enquanto W está eletrizada com carga Q . Indicar a carga final de W se ela for colocada em contato:
 - (a) sucessivo com X, Y e Z;
 - (b) simultâneo com X, Y e Z.

- 3> Um bastão de vidro, eletrizado positivamente, é aproximado de uma esfera condutora, sem tocá-la. Verifica-se que o bastão atrai a esfera. O que se pode afirmar sobre a carga elétrica da esfera?

4 - LEI DE COULOMB

No fim do século XVIII, o físico francês Charles Augustin Coulomb realizou uma série de experiências que permitiram medir o valor da força eletrostática que age sobre uma carga elétrica puntiforme, colocada uma em presença de uma outra.

Para duas cargas puntiformes q e Q , separadas por uma distância d , Coulomb concluiu:

- A intensidade da força elétrica é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa.

Podemos então escrever:

$$F = k \frac{|Qq|}{d^2}$$

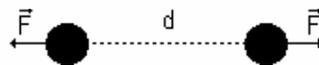
A constante k mostra a influência do meio onde a experiência é realizada. No vácuo, utilizando as unidades do SI seu valor será: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$.

UNIDADES NO SI:

Q e q → carga elétrica ⇒ Coulomb (C)
 d → distância entre as duas cargas ⇒ metro (m)
 k → constante eletrostática ⇒ $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$

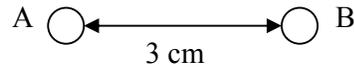
DIREÇÃO E SENTIDO:

Direção → Coincidente com a direção da reta que une as cargas.
 Sentido → depende dos sinais das cargas; casos as cargas possuam sinais iguais, teríamos:

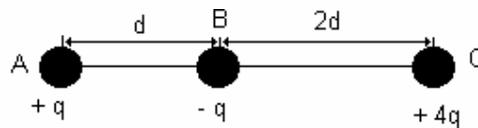


EXERCÍCIOS

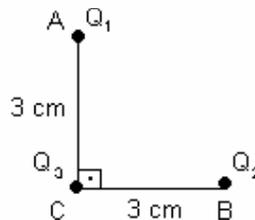
- 4> Duas cargas puntiformes $q_1 = 2 \mu\text{C}$ e $q_2 = -4 \mu\text{C}$ estão separadas por uma distância de 3 cm, no vácuo. Qual a intensidade da força elétrica que atua nessas cargas ?
- 5> Sabendo que as cargas A e B possuem valores respectivamente iguais a $-10 \mu\text{C}$, $9 \mu\text{C}$, determine a força elétrica e sua natureza (atrativa ou repulsiva) na situação dada abaixo:



- 6> Duas cargas puntiformes Q_1 e Q_2 , separadas por uma distância d , repelem-se com uma força de intensidade F ; se as cargas forem alteradas para $4.Q_1$ e $3.Q_2$ e a distância entre elas for quadruplicada, qual será a nova intensidade da força de repulsão entre as cargas ?
- 7> Na figura dada a seguir, temos que $q = 10^{-4} \text{ C}$ e as cargas extremas são fixas nos pontos A e C. Determine a intensidade da força resultante sobre a carga $-q$, fixa em B.



- 8> Duas cargas puntiformes $Q_1 = 6 \mu\text{C}$ e $Q_2 = -8 \mu\text{C}$ encontram-se fixadas nos pontos A e B como mostra a figura abaixo.



Determinar a intensidade da força resultante que atua sobre uma carga $Q_3 = 1 \mu\text{C}$ colocada no ponto C. Considere o meio como sendo o vácuo.

5 - CAMPO ELÉTRICO

5.1 - ANALOGIA DO CAMPO ELÉTRICO COM O CAMPO GRAVITACIONAL

Para entendermos o conceito de campo elétrico fazemos uma analogia com o campo gravitacional.

Sabemos que a Terra cria um campo gravitacional em torno de si e cada ponto desse campo existe um vetor campo gravitacional g . Assim um corpo colocado num ponto desse campo fica sujeito a uma força de atração gravitacional chamada Peso.

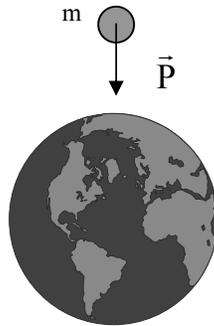
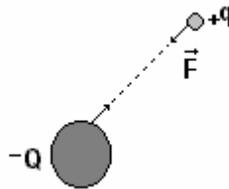


FIGURA 10

Com as cargas elétricas o fenômeno é semelhante, um corpo eletrizado cria em torno de si um campo elétrico. Cada ponto desse campo é caracterizado por um vetor campo elétrico E . Qualquer carga colocada num desses pontos ficará submetida a uma força elétrica. A grande diferença aqui é que a força poderá ser de atração ou repulsão.



Para determinarmos o módulo do vetor campo elétrico podemos recorrer a analogia feita anteriormente com o campo gravitacional. Sabemos que a aceleração da gravidade local pode ser calculada como sendo a razão do Peso e da massa de um corpo colocado na região do campo gravitacional.

$$g = \frac{P}{m}$$

Portanto o campo elétrico de uma carga de prova q colocada em um ponto desse mesmo campo será dado pela razão da Força sobre ela (natureza elétrica) e o valor dessa carga.

$$E = \frac{F}{|q|}$$

DIREÇÃO E SENTIDO:

Direção → É a mesma direção da Força Elétrica.

Sentido → se $q > 0$, o sentido é o mesmo da força;
se $q < 0$, o sentido é o contrário da força.

UNIDADES NO SI:

q → carga elétrica ⇒ Coulomb (C)

F → Força Elétrica ⇒ Newton (N)

E → Campo Elétrico ⇒ Newton/Coulomb (N/C)

EXERCÍCIOS

- 9> Uma carga $q = -2 \mu\text{C}$ é colocada num ponto A de um campo elétrico, ficando sujeita à ação de uma força de direção horizontal, sentido para a direita, e de módulo $F = 8 \cdot 10^{-3} \text{ N}$. Determine as características do vetor campo elétrico nesse ponto A.
- 10> Uma partícula de massa $m = 2,0 \text{ g}$ e carga elétrica $q = 5,0 \text{ C}$ está em equilíbrio estático, sujeita simultaneamente a ação de um campo elétrico vertical e ao campo gravitacional terrestre ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Determinar as características do vetor campo elétrico no ponto onde se encontra essa partícula.

5.2 - CAMPO ELÉTRICO GERADO POR UMA CARGA PUNTIFORME

Consideremos uma carga puntiforme Q . Colocamos uma carga de prova q a uma distância d da carga geradora Q . Imaginando que as duas cargas são positivas, termos a situação que se segue:

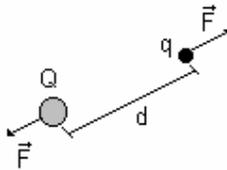


FIGURA 12

Demonstração

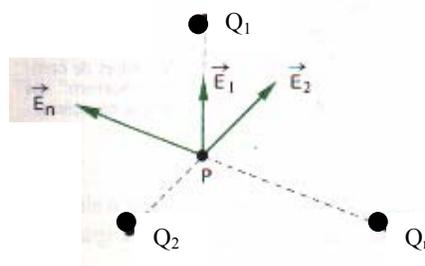
Partindo da definição de campo elétrico, temos:	$E = \frac{F}{q}$
Pela Lei de Coulomb, sabemos que:	$F = k \frac{ Q \cdot q }{d^2}$
Substituindo a lei de Coulomb na definição de Campo, temos:	$E = \frac{k \cancel{Q} \cancel{q}}{\cancel{q} d^2}$
Simplificando, fica:	$E = k \frac{Q}{d^2}$

IMPORTANTE:

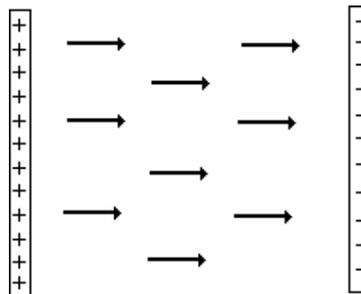
Como consequência, do que vimos acima, podemos concluir que o campo elétrico no ponto estudado não depende da carga de prova e sim da carga que gera o campo.

5.3 - CAMPO ELÉTRICO GERADO POR VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES.

Caso tenhamos mais do que uma carga puntiforme gerando campo elétrico, como na figura abaixo, o campo elétrico resultante será dado pela soma vetorial dos vetores campos elétricos produzidos por cada uma das cargas.

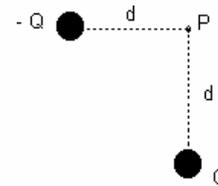
**FIGURA 13****5.4 - CAMPO ELÉTRICO UNIFORME.**

Um campo elétrico é chamado uniforme quando o vetor campo elétrico for o mesmo em todos os pontos desse campo. Este tipo de campo pode ser obtido através da eletrização de uma superfície plana, infinitamente grande e com uma distribuição homogênea de cargas.

**FIGURA 14****EXERCÍCIOS**

- 11> Determinar a intensidade do campo elétrico gerado por uma carga puntiforme $Q = 4,0 \mu\text{C}$, num ponto situado a $3,0 \text{ cm}$, admitindo que o meio seja o vácuo.

- 12> A intensidade do campo elétrico gerado por uma carga Q , puntiforme num ponto P , a uma distância d , é igual a E ; qual a nova intensidade do campo elétrico gerado por uma carga $3Q$ num ponto situado a uma distância igual $4d$?
- 13> Duas cargas puntiformes $Q_1 = 2,0 \mu\text{C}$ e $Q_2 = -2,0 \mu\text{C}$ estão fixas em dois vértices de um triângulo equilátero de lado $\ell = 6,0 \text{ cm}$. Determinar as características do vetor campo elétrico resultante no terceiro vértice.
- 14> Duas cargas puntiformes, $Q_1 = 4 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 9 \mu\text{C}$, estão separadas por uma distância de 15 cm ; em que ponto da reta que une essas cargas o campo elétrico resultante é nulo ?
- 15> Determine a intensidade, a direção e o sentido do vetor campo elétrico resultante no ponto P , criado pelas cargas elétricas. Considere $Q = 3\mu\text{C}$, $d = 2 \text{ cm}$.



5.5 - LINHAS DE FORÇA.

Quando quisermos visualizar a distribuição de um campo elétrico através do espaço, nós o faremos através do contorno das suas linhas de força que, por definição, são linhas imaginárias construídas de tal forma que o vetor campo elétrico seja tangente a elas em cada ponto. As linhas de força são sempre orientadas no mesmo sentido do campo.

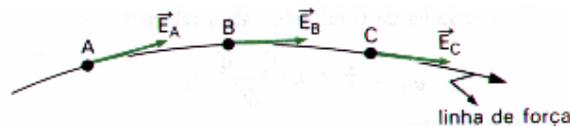


FIGURA 15

No caso de um campo elétrico gerado por uma carga puntiforme isolada, as linhas de força serão semi-retas.

Caso a carga geradora seja puntiforme e positiva, teremos:

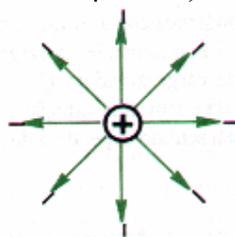


FIGURA 16

Se a carga geradora for negativa:

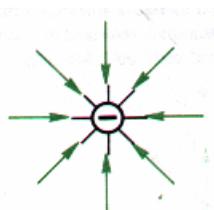
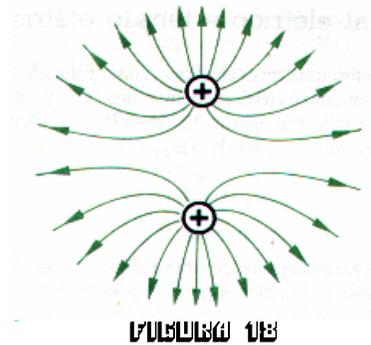


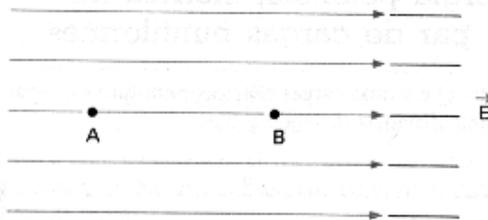
FIGURA 17

A seguir você tem o aspecto do campo elétrico resultante, gerado por duas cargas puntiformes iguais e positivas.



EXERCÍCIOS

16> Uma carga elétrica puntiforme $q = 1\mu\text{C}$, de massa $m = 10^{-6}$ kg é abandonada do repouso num ponto A de um campo elétrico uniforme de intensidade $E = 10^5$ N/C, conforme a figura.



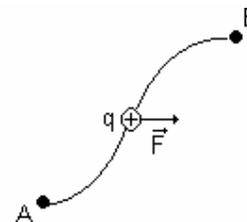
Determinar:

- (a) a intensidade da força que atua em q ;
- (b) o módulo da aceleração adquirida por q ;
- (c) a velocidade de q ao passar por B, situado a 0,2 m do ponto A.

6 - TRABALHO REALIZADO PELO CAMPO ELÉTRICO

6.1 - INTRODUÇÃO

Consideremos uma carga de prova q colocada num ponto A de um campo elétrico; sob ação da força elétrica, essa carga irá se deslocar até um ponto B desse campo.



O campo elétrico irá realizar sobre esta carga um trabalho τ_{AB} . Uma propriedade importante do campo elétrico é que ele é conservativo, ou seja, o valor do trabalho realizado independe da trajetória.

6.2 - POTENCIAL ELÉTRICO E TENSÃO ELÉTRICA

Uma carga elétrica q , ao ser colocada num ponto A de um campo elétrico, adquire uma certa quantidade de energia potencial elétrica E_p . Definimos o potencial elétrico do ponto A através da relação:

$$V_A = \frac{E_p}{q}$$

Essa relação não depende da carga q utilizada, pois se mudarmos a carga q mudaremos também o valor da E_p , mas a relação $\frac{E_p}{q}$, permanecerá constante.

UNIDADES NO SI:

$q \rightarrow$ carga elétrica \Rightarrow Coulomb (C)
 $E_p \rightarrow$ Energia Potencial \Rightarrow Joule (J)
 $V \rightarrow$ Potencial Elétrico \Rightarrow Joule/Coulomb (J/C) ou Volt (V)

Se considerarmos dois pontos A e B de um campo elétrico, sendo V_A e V_B os seus potenciais elétricos, definimos tensão elétrica ou diferença de potencial, ddp, entre os pontos A e B, através da expressão:

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

IMPORTANTE:

Observe ainda que as grandezas trabalho, energia potencial, potencial elétrico e tensão elétrica são grandezas escalares e por este motivo, deveremos trabalhar com os sinais + e - das grandezas envolvidas na resolução dos exercícios.

EXERCÍCIOS

- 17> Uma carga de prova $q = 2 \mu\text{C}$ adquire uma certa quantidade de energia potencial elétrica $2 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ ao ser colocada num ponto A de um campo elétrico; ao ser colocada em outro ponto B, adquire $3 \cdot 10^{-4} \text{ J}$. Determinar:
- os potenciais elétricos dos pontos A e B;
 - a diferença de potencial entre os pontos A e B.

6.3 - ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA DE UM PAR DE CARGAS PUNTIFORMES

Seja Q e q duas cargas elétricas puntiformes, separadas por uma distância d, sendo q fixa.

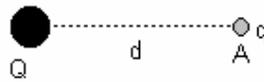


FIGURA 19

Se quisermos determinar o valor da energia potencial elétrica adquirida pela carga q ao ser colocada no ponto A, temos que calcular o trabalho realizado pelo o campo elétrico ao transportar a carga q do ponto A até o nível de referência.

$$E_p = k \frac{Q \cdot q}{d}$$

Observamos que se as cargas Q e q tiverem o mesmo sinal, a energia potencial do sistema será positiva e caso tenham sinais opostos a energia será negativa.

6.4 - POTENCIAL ELÉTRICO DEVIDO A VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES

Para determinarmos o potencial elétrico num ponto A de um campo elétrico gerado por uma carga puntiforme Q, coloquemos neste ponto uma carga de prova q.

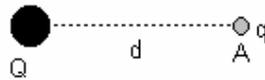


FIGURA 20

Demonstração

Partindo da definição de Potencial Elétrico, temos:	$V_A = \frac{E_p}{q}$
Sabemos que a energia potencial é:	$E_p = k \frac{Q \cdot q}{d}$
Substituindo a expressão de energia potencial na expressão de Potencial Elétrico:	$V_A = \frac{k \cancel{Q \cdot q}}{\cancel{d}}$
Simplificando, fica:	$V_A = k \frac{Q}{d}$

Se tivermos uma situação na qual existem várias cargas puntiformes, o potencial num ponto P desta região será dado pela soma algébrica dos potenciais devido a cada uma dessas cargas.

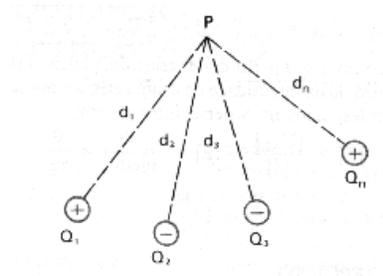


FIGURA 21

$$V_P = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

$$V_P = k \frac{Q_1}{d_1} + k \frac{(-Q_2)}{d_2} + k \frac{(-Q_3)}{d_3} + \dots + k \frac{Q_n}{d_n}$$

EXERCÍCIOS

- 18> Qual o valor do potencial elétrico gerado por uma carga puntiforme $Q = 6\mu\text{C}$, situada no vácuo, num ponto A a 20 cm da mesma ?
- 19> Duas cargas puntiformes $Q_1 = 4\mu\text{C}$ e $Q_2 = -8\mu\text{C}$ estão separadas por uma distância $d = 50\text{ cm}$. Determinar:
- o potencial elétrico resultante num ponto A, situado na reta que une as cargas e a 20 cm de Q_1 ;
 - o valor da energia potencial elétrica das cargas.

6.5 - RELAÇÃO ENTRE TRABALHO E TENSÃO ELÉTRICA

Consideremos uma carga q , deslocada de um ponto A até outro ponto B de um campo elétrico, e sejam V_A e V_B os valores dos potenciais elétricos nesses pontos.

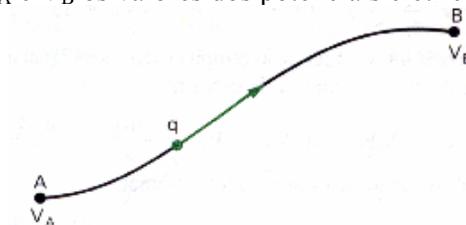


FIGURA 22

O trabalho realizado pelo campo elétrico nesse deslocamento é igual à diferença entre a energia potencial armazenada pela carga nos pontos A e B:

$$\tau_{AB} = E_{PA} - E_{PB}$$

Lembrando que $V = \frac{E_P}{q}$ ou $E_P = q \cdot V$, resulta:

$$\tau_{AB} = q \cdot V_A - q \cdot V_B$$

$$\tau_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$$

Esta expressão nos dá o valor do trabalho realizado pelo campo elétrico quando uma carga elétrica q se desloca no seu interior.

EXERCÍCIOS

20> Uma pequena partícula de massa $m = 30 \text{ mg}$, eletriza-se com carga $q = 1 \mu\text{C}$, é abandonada a partir do repouso num ponto A situado a uma distância de 2 m de uma carga puntiforme $Q = 4 \mu\text{C}$, situada no vácuo e fixa. Com que velocidade a carga q irá passar por um ponto B situado a uma distância de 3 m da carga Q ?

6.6 - TRABALHO DE UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

Seja q uma carga de prova que se desloca de um ponto A para um ponto B, no interior de um campo elétrico uniforme; para calcularmos o trabalho realizado pelo campo neste deslocamento vamos escolher uma trajetória retilínea, uma vez que o trabalho não depende da trajetória.

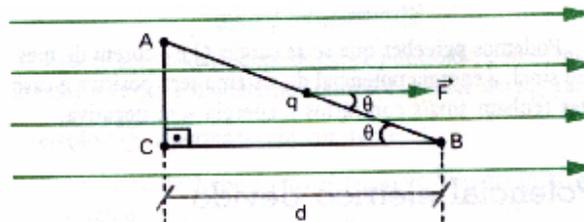


FIGURA 23

Sendo F constante, o trabalho do campo elétrico pode ser obtido a partir da expressão:

$$\tau_{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \theta ,$$

onde $F = q \cdot E$ e $AB \cdot \cos \theta = d$;

substituindo:

$$\tau_{AB} = q \cdot E \cdot d$$

É importante reconhecer que o valor da distância d nessa expressão não corresponde, necessariamente, à distância entre os pontos A e B, mas corresponde à distância entre dois planos perpendiculares às linhas de força contendo os pontos A e B.

Como consequência dessa expressão, podemos estabelecer uma relação entre a tensão elétrica existente entre os pontos A e B e a intensidade do campo elétrico E, na forma que se segue.

$$\tau_{AB} = q.(V_A - V_B) \Rightarrow \tau_{AB} = q.U_{AB}$$

Mas como vimos no caso de campo elétrico uniforme, o valor do trabalho é dado por:

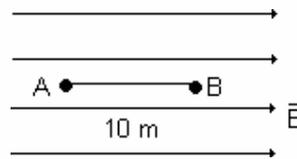
$$\tau_{AB} = q.E.d$$

Igualando as duas expressões, resulta:

$$q.U_{AB} = q.E.d \Rightarrow \boxed{U_{AB} = E.d}$$

EXERCÍCIOS

21> Uma carga $q = 4 \mu\text{C}$, de massa $m = 20 \text{ g}$, é abandonada em repouso num ponto A de um campo elétrico uniforme de intensidade $E = 4 \cdot 10^3 \text{ V/m}$; conforme mostra a figura a seguir.



Determinar:

- (a) o trabalho realizado pelo campo elétrico no deslocamento AB;
- (b) a diferença de potencial entre os pontos A e B;
- (c) a velocidade da partícula ao atingir o ponto B; despreze as ações gravitacionais

6.7 - SUPERFÍCIES EQÜIPOTENCIAIS

Chamamos de superfície eqüipotencial ao conjunto de pontos do espaço, tais que todos eles apresentem o mesmo potencial elétrico.

Vejamos os exemplos a seguir:

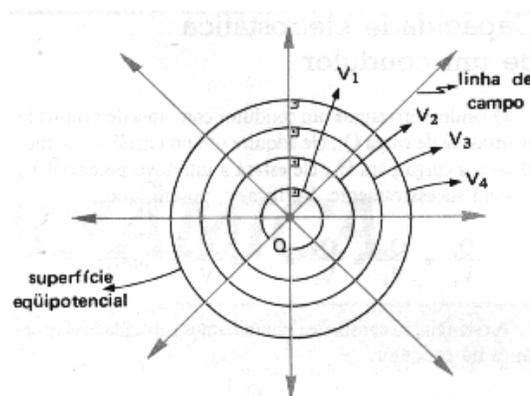
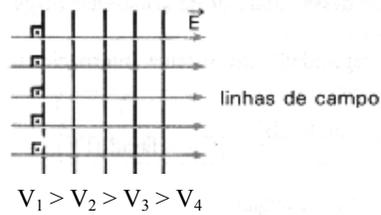


FIGURA 24

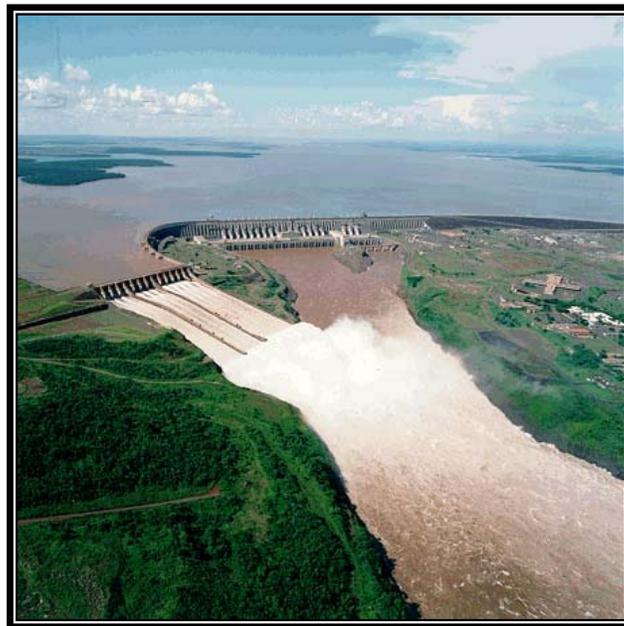
As superfícies eqüipotenciais de uma carga puntiforme são esféricas.

**FIGURA 25**

Num campo uniforme, as superfícies equipotenciais são planos paralelos entre si.

IMPORTANTE:

- AS LINHAS DE FORÇA DE UM CAMPO ELÉTRICO SÃO PERPENDICULARES ÀS SUPERFÍCIES EQUIPOTENCIAIS;
- QUANDO CAMINHAMOS NO MESMO SENTIDO DAS LINHAS DE FORÇA, O POTENCIAL ELÉTRICO DIMINUI.

**ELETRODINÂMICA****7 - CORRENTE ELÉTRICA****7.1 - INTRODUÇÃO**

A partir de agora passaremos a estudar o movimento da carga elétrica. Veremos desde os Princípios Básicos até como todo processo de produção de energia elétrica é realizado.

7.2 - CONDUTORES E ISOLANTES

Condutor elétrico é todo corpo que permite a movimentação de carga no seu interior. Caso não seja possível essa movimentação, então o corpo é chamado de isolante elétrico.

A seguir mostramos numa tabela alguns condutores e alguns isolantes:

BONS CONDUTORES	BONS ISOLANTES
☞ metais em geral	☞ vidro
☞ grafite	☞ cera
☞ cerâmica	☞ borracha
☞ água	☞ seda

Os condutores elétricos mais comuns são os metais, que caracterizam-se por possuírem grande quantidade de elétrons-livres, por exemplo: o alumínio possui 2 elétrons na última camada, já o ferro possui 2 e o cobre possui 1. Esses elétrons possuem uma ligação fraca com o núcleo, tendo certa liberdade de movimentação, o que confere condutibilidade aos metais.

Normalmente, o movimento dos elétrons livres no metal é caótico e imprevisível. No entanto, em certas condições, esse movimento torna-se ordenado, constituindo o que chamamos de corrente elétrica.

IMPORTANTE:

CORRENTE ELÉTRICA É O MOVIMENTO ORDENADO DE CARGAS ELÉTRICAS.

Embora a corrente elétrica nos metais seja constituída de elétrons em movimento ordenado, por convenção, tradicionalmente aceita, admite-se que o sentido da corrente elétrica é oposto ao movimento dos elétrons.

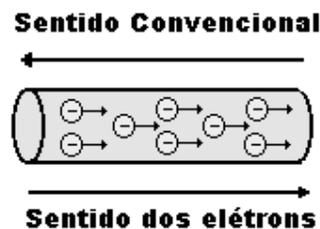


FIGURA 26

Portanto de agora em diante iremos utilizar o sentido convencional, para indicar o sentido da corrente elétrica.

7.3 - INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA

Definimos intensidade de corrente elétrica como sendo a quantidade de carga que passa numa seção transversal de um condutor durante um certo intervalo de tempo.

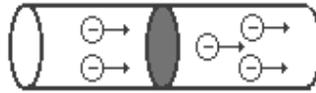


FIGURA 27

É importante dizer que seção transversal é um corte feito no fio para medir, como num pedágio, quantos elétrons passa por ali num intervalo de tempo. Portanto, podemos escrever que:

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

UNIDADES NO SI:

Q → carga elétrica ⇒ Coulomb (C)
 Δt → intervalo de tempo ⇒ segundo (s)
 i → intensidade de corrente elétrica ⇒ Coulomb por segundo (C/s) = Ampere (A)

IMPORTANTE:

☞ FREQUENTEMENTE UTILIZAMOS SUBMÚLTIPLOS DO AMPERE.

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A (miliampere)}$$

$$1 \text{ }\mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A (microampere)}$$

☞ Quando a corrente elétrica mantém sentido invariável ela é denominada **corrente contínua** (C.C.). Caso o sentido da corrente elétrica se modifique no decorrer do tempo, ela é denominada **corrente alternada** (C.A.)

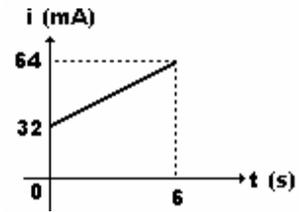
EXERCÍCIOS

22> Através de uma seção transversal de um fio condutor passaram $2,5 \times 10^{21}$ elétrons num intervalo de tempo de 200 s. Qual o valor da intensidade de corrente elétrica através desse condutor?

23> Determine o número de elétrons recebidos por um corpo carregado com a carga – 64 mC.

24> O gráfico anexo representa a intensidade da corrente que percorre um condutor em função do tempo. Sendo a carga elementar $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, determine:

- (a) a carga elétrica que atravessa a seção transversal do condutor em 6 s;
- (b) o número de elétrons que nesse intervalo de tempo atravessou a seção;
- (c) a intensidade média de corrente elétrica entre 0 e 6 s.



7.4 - TENSÃO ELÉTRICA OU DIFERENÇA DE POTENCIAL (d.d.p)

Normalmente as cargas elétricas livres de um condutor metálico isolado estão em movimento desordenado, caótico. Falamos anteriormente que em certas condições podemos transformar este movimento desordenado em movimento ordenado, basta ligarmos as extremidades do condutor aos terminais de um dispositivo chamado gerador. A função do gerador é fornecer às cargas elétricas energia elétrica, evidentemente à custa de outra forma de energia. Resumindo, um gerador é o dispositivo elétrico que transforma um tipo qualquer de energia em energia elétrica. São exemplos de geradores as pilhas, as baterias de relógio e as baterias de automóvel.

A medida que as cargas se movimentam elas se chocam com os átomos que constituem a rede cristalina do condutor, havendo uma conversão de energia elétrica em energia térmica. Assim, as cargas elétricas irão “perdendo” a energia elétrica que receberam do gerador. Portanto, considerando o condutor representado na figura 5 na extremidade B cada carga elementar possui uma energia elétrica E_B menor que a energia elétrica na extremidade A E_A ($E_B < E_A$).

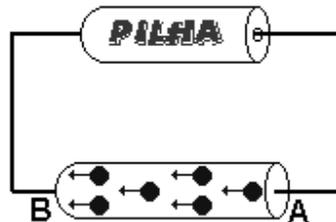


FIGURA 23

A relação entre energia elétrica que a partícula possui num determinado ponto do condutor e a sua carga elétrica (carga elementar) define uma grandeza física chamada de potencial elétrico (V).

$$\boxed{V_A = \frac{E_A}{e}} \quad \text{e} \quad \boxed{V_B = \frac{E_B}{e}}$$

Entre esses pontos haverá uma diferença de potencial elétrico (d.d.p.) ou tensão elétrica (U), dada por:

$$\boxed{U = V_A - V_B} \quad \text{onde } V_A > V_B$$

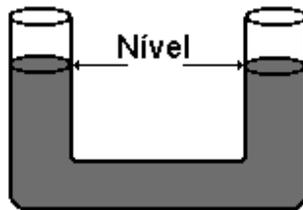
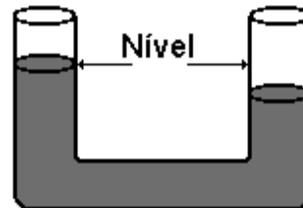
UNIDADES NO SI:

$E \rightarrow$ energia \Rightarrow Joule (J)
 $e \rightarrow$ carga elementar \Rightarrow Coulomb (C)
 $V \rightarrow$ potencial elétrico \Rightarrow Joule por Coulomb = Volt (V)
 $U \rightarrow$ d.d.p. \Rightarrow Joule por Coulomb = Volt (V)

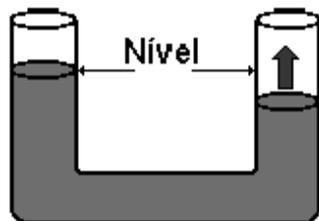
ENTENDA MELHOR O QUE É d.d.p

Para uma melhor compreensão da importância da d.d.p. dentro da eletricidade iremos fazer uma analogia com a hidrostática.

Observe a figura 29a abaixo e note que o nível do líquido é o mesmo dos dois lados do tubo (vaso comunicante). Neste caso não existe movimento do líquido para nenhum dos dois lados. Para que ocorra movimento é necessário um desnivelamento entre os dois lados do tubo (observe a figura 29b).

**FIGURA 29A****FIGURA 29B**

Neste caso o líquido tenderá a se mover até que os dois lados do tubo se nivelem novamente (figura 29c). Podemos concluir que para existir movimento é necessário que exista uma diferença de nível entre os dois lados do tubo (d.d.n.).

**FIGURA 29C****FIGURA 29D**

Para que o líquido fique sempre em movimento, podemos colocar uma bomba para retirar a água de um lado para o outro, fazendo com que sempre haja uma d.d.n. entre os dois tubos (figura 29d).

Podemos fazer uma analogia da situação descrita anteriormente com o movimento das cargas elétricas. Para isso vamos trocar os tubos por condutores elétricos (fios), a bomba por um gerador (pilha) e passaremos a ter a seguinte situação:

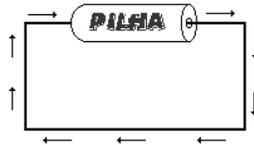


FIGURA 20

Da mesma forma que a bomba mantém uma diferença de nível para manter o movimento do líquido, o gerador mantém a diferença de potencial elétrico (d.d.p.) para manter o movimento ordenado de elétrons. Esquemáticamente temos:

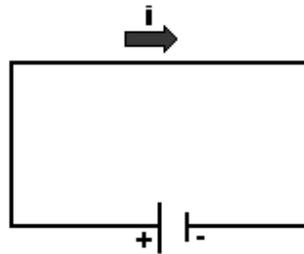


FIGURA 21

Pode-se verificar que no condutor, o sentido da corrente elétrica é da extremidade de maior potencial (pólo positivo) para a extremidade de menor potencial (pólo negativo).

EXERCÍCIOS

25> Ao se deslocar entre dois pontos de um condutor, uma carga elementar perde $3,2 \times 10^{-16}$ Joules de energia elétrica. Determine a d.d.p. entre os dois pontos considerados. A carga elementar é igual a $1,6 \times 10^{-19}$ C.

26> A corrente elétrica por um fio de cobre é constituída pelo deslocamento de:

- (a) Elétrons;
- (b) Prótons;
- (c) Íons negativos de cobre;
- (d) Íons positivos de cobre;
- (e) Átomos de cobre.

DESAFIO: 1> Uma carga +q move-se numa superfície de raio R com uma velocidade escalar v. A intensidade de corrente média em um ponto da circunferência é:



(a) $\frac{qR}{v}$; (b) $\frac{qv}{R}$; (c) $\frac{qv}{2\pi R}$; (d) $\frac{2\pi qR}{v}$; (e) $2\pi qRv$.

8 - RESISTORES

8.1 - INTRODUÇÃO

Num circuito elétrico, os condutores que atravessados por uma corrente elétrica transformam a energia elétrica em energia térmica (calor) são chamados de **resistores**.

Esquemáticamente:



FIGURA 32

Esse fenômeno de transformação é conhecido como **Efeito Joule** e é resultado de choques entre os elétrons que constituem a corrente elétrica e os átomos, o que ocasiona um aquecimento do condutor. Existem alguns eletrodomésticos que possuem como função básica a transformação de energia elétrica em energia térmica, tais como: ferro elétrico, chuveiro elétrico, aquecedores, etc.

Os resistores podem ser representados das seguintes maneiras:



FIGURA 33

Em nosso curso utilizaremos a segunda forma para sua representação.

8.2 - RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O resistor possui uma característica de dificultar a passagem de corrente elétrica através do condutor. Essa característica é chamada de resistência elétrica.

1ª LEI DE OHM

O físico George S. Ohm verificou, experimentalmente, no século XIX, que alguns condutores possuíam um comportamento similar.

Ao alterar a tensão (figura 11) para valores $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$, a intensidade de corrente no condutor também se altera, mas de uma maneira sempre igual.

De tal forma que ao dividirmos as tensões pelas respectivas intensidades de corrente elétrica, para um mesmo condutor, a divisão será uma constante, esta constante é a resistência elétrica.

$$\frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \frac{U_3}{i_3} = \dots = \frac{U_N}{i_N} = R$$

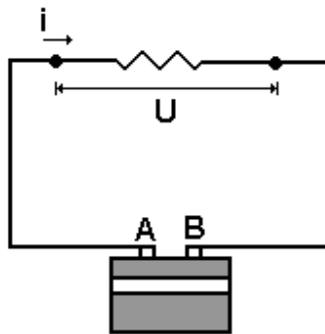


FIGURA 24: Consideremos um resistor, submetido a uma d.d.p. U e atravessado por uma corrente elétrica i .

Os condutores que possuem este comportamento são chamados de **condutores ôhmicos** e para eles vale a seguinte relação:

$$U = R \cdot i$$

UNIDADES NO SI:

$U \rightarrow$ d.d.p entre os pontos A e B ou tensão elétrica \Rightarrow Volt (V)
 $i \rightarrow$ intensidade de corrente elétrica \Rightarrow Ampere (A)
 $R \rightarrow$ resistência elétrica \Rightarrow Ohm (Ω)

Graficamente um condutor ôhmico é representado como na figura 35a, já a figura 35b mostra o comportamento de algum condutor que não respeita a lei de Ohm. Este condutor é chamado de não-ôhmico.

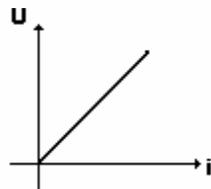


FIGURA 35A

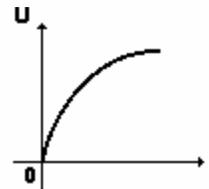
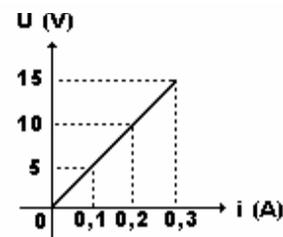


FIGURA 35B

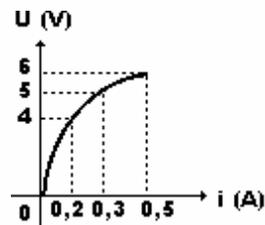
EXERCÍCIOS

- 27> Um resistor ôhmico é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade 5 A, quando submetido a uma d.d.p. de 100 V. Determine:
- (a) a resistência elétrica do resistor;
 - (b) a intensidade de corrente que percorre o resistor quando submetido a uma d.d.p. de 250 V;
 - (c) a d.d.p. a que deve ser submetido para que a corrente que o percorre tenha intensidade de 2 A.

- 28> Variando-se a d.d.p. U nos terminais de um resistor ôhmico; a intensidade da corrente i que percorre varia de acordo com o gráfico da figura. Determine:
- (a) a resistência elétrica do resistor;
 - (b) a intensidade de corrente que atravessa o resistor quando a d.d.p. em seus terminais for 100 V;
 - (c) a d.d.p. que deve ser estabelecida nos terminais desse resistor para que ele seja percorrido por corrente de intensidade 6 A.



- 29> O gráfico da figura mostra como varia a d.d.p. U nos terminais de um resistor não ôhmico em função da intensidade de corrente que o atravessa. Determine:
- (a) a resistência elétrica desse resistor quando a corrente que o percorre tem intensidade 0,5 A;
 - (b) a resistência elétrica desse resistor quando a d.d.p nos seus terminais vale 4 V;
 - (c) comente os resultados encontrados anteriormente.



8.3 - RESISTIVIDADE - 2ª LEI DE OHM

É importante salientar que o título 2ª Lei de Ohm é apenas didático. Na História da Física temos apenas o conhecimento da Lei de Ohm e não 1ª e 2ª, mas para fins de uma melhor organização do conteúdo faremos essa separação.

Um aspecto importante, levantado por Ohm, foi a descoberta de fatores que influem no valor da resistência elétrica de um resistor, são eles:

- ☞ a dimensão do resistor (área e comprimento);
- ☞ o material que constitui este resistor.

Consideremos um fio condutor de comprimento **L** e área de seção transversal **A**.



FIGURA 26

Para compreendermos melhor a relação entre resistência, área e comprimento, podemos fazer uma analogia com tubos de água, vejamos a figura posterior:

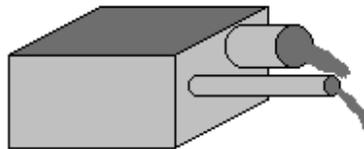


FIGURA 27

Como podemos notar na figura 14, a água possui maior facilidade para sair pelo cano de menor comprimento e maior área, já no cano mais longo existe uma maior dificuldade para água se locomover e o estreitamento do cano aumenta esta dificuldade.

No caso da energia elétrica e do condutor o comportamento é mantido o mesmo:

- ☞ a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento do fio, ou seja, quanto maior o comprimento do fio maior é a dificuldade de movimentação dos elétrons.
- ☞ A resistência elétrica é inversamente proporcional ao valor da área da seção transversal do fio, ou seja, quanto maior a área mais fácil é a movimentação dos elétrons, portanto a resistência elétrica diminui.

Logo podemos escrever que:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

UNIDADES NO SI:

$R \rightarrow$ resistência elétrica \Rightarrow Ohm (Ω)
 $L \rightarrow$ comprimento do fio \Rightarrow metro (m)
 $A \rightarrow$ área da seção transversal \Rightarrow metro quadrado (m^2)
 $\rho \rightarrow$ resistividade \Rightarrow Ohm . metro ($\Omega \cdot m$)

IMPORTANTE:

REOSTATOS são resistores cuja resistência elétrica pode ser variada.

Abaixo mostraremos como um reostato é simbolizado:

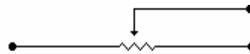


FIGURA 38

EXERCÍCIOS

- 30> Um fio metálico é feito de um material cuja resistividade é $0,20 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ e tem seção transversal de área $0,10 \text{ mm}^2$. Determine a resistência elétrica desse fio por metro de comprimento.
- 31> Um fio metálico é esticado de modo que seu comprimento triplique. O seu volume não varia no processo. Como se modifica a resistência elétrica do fio? E a intensidade de corrente elétrica que percorre para uma mesma d.d.p.?
- 32> Um reostato de cursor tem resistência elétrica igual a 20Ω , quando o fio que o constitui tem comprimento igual a 25 cm. Qual a resistência elétrica do reostato para um comprimento de fio de 2,0 m?
- 33> A resistência elétrica de um resistor de fio metálico é de 60Ω . Cortando-se um pedaço de 3 m de fio, verifica-se que a resistência do resistor passa a ser 15Ω . Calcule o comprimento do fio.

8.4 - ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Até agora aprendemos a trabalhar com apenas um resistor. Na prática teremos circuitos com vários resistores ligados entre si, constituindo o que chamamos de uma associação de resistores. Portanto a partir de agora iremos trabalhar com dois tipos básicos de associação: a associação em série e a associação em paralelo. Após o

estudos minucioso desses dois tipos passaremos a resolver problemas com associações mistas (série mais paralelo).

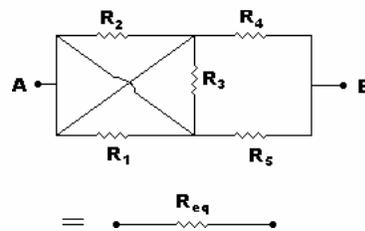


FIGURA 39

Estaremos preocupados em determinar o valor da chamada resistência equivalente a uma dada associação; entende-se por resistência equivalente a uma única resistência que submetida à mesma tensão da associação deverá ser percorrida pela mesma corrente (fig.16).

8.4.1 - ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE

Um grupo de resistores está associado em série quando estiverem ligados de tal forma que sejam percorridos pela mesma corrente elétrica.

Consideremos três resistores, associados em série:

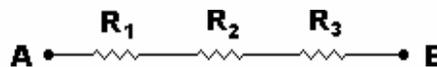


FIGURA 40

Os três resistores serão percorridos pela mesma corrente elétrica e portanto cada resistor possuirá uma d.d.p. correspondente ao valor de sua resistência.

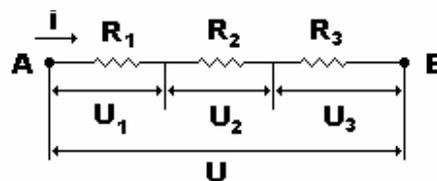


FIGURA 41

NOMENCLATURA:

i → intensidade de corrente elétrica que atravessa os resistores
 U → tensão elétrica total
 R_1, R_2, R_3 → resistência elétrica 1, 2 e 3
 U_1, U_2, U_3 → tensão elétrica 1, 2 e 3

Para determinarmos a resistência equivalente R_{eq} (Fig. 19), ou seja, aquela que submetida a mesma tensão U é atravessada pela mesma corrente i , devemos proceder da seguinte maneira:

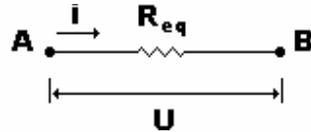


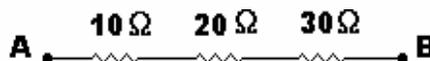
FIGURA 42

Demonstração

Sabemos que a intensidade de corrente elétrica é igual nos três resistores, ou seja:	$i_1 = i_2 = i_3 = i$
As tensões U_1, U_2, U_3 correspondem às resistências R_1, R_2 e R_3 , respectivamente. Portanto:	$U = U_1 + U_2 + U_3$
Aplicando a 1ª Lei de Ohm nas resistências da Figura 17, temos:	$U_1 = R_1 \cdot i \quad U_2 = R_2 \cdot i$ $U_3 = R_3 \cdot i$
Substituindo as expressões anteriores na equação de tensão elétrica, obtemos:	$R_{eq} \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i$
Portanto para associações em série, calculamos a resistência equivalente da seguinte forma:	$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

EXERCÍCIOS

34> Na associação de resistores dada a seguir, a d.d.p. entre os pontos A e B é igual a 120 V.



(a) determine a resistência equivalente entre os pontos A e B;

- (b) determine a intensidade da corrente no trecho AB;
- (c) qual a d.d.p. em cada resistor ?

35> Têm-se 16 lâmpadas, de resistência elétrica 2Ω cada uma, para associar em série, afim de enfeitar uma árvore de Natal. Cada lâmpada suporta, no máximo, corrente elétrica de intensidade 3,5 A.

- (a) o que acontece com as demais lâmpadas se uma delas se queimar ?
- (b) qual a resistência elétrica da associação ?
- (c) qual a d.d.p. máxima a que pode ser submetida a associação, sem perigo de queima de nenhuma lâmpada ?
- (d) qual a d.d.p. a que cada lâmpada fica submetida nas condições do item anterior ?

8.4.2 - ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM PARALELO

Um grupo de resistores está associado em paralelo quando todos eles estiverem submetidos a uma mesma diferença de potencial elétrico (d.d.p.).

Consideremos 3 resistores associados em paralelo:

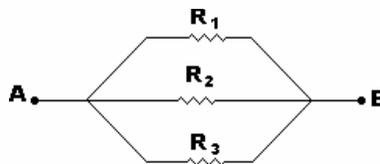


FIGURA 43

A intensidade de corrente elétrica é dividida para cada resistor de acordo com o valor de cada resistência elétrica, mas a d.d.p. é igual para todos os resistores.

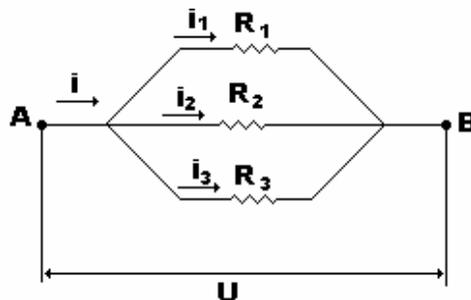


FIGURA 44

NOMENCLATURA:

$i \rightarrow$ intensidade de corrente elétrica total.

$U \rightarrow$ tensão elétrica total.

$R_1, R_2, R_3 \rightarrow$ resistência elétrica 1, 2 e 3.

$i_1, i_2, i_3 \rightarrow$ intensidade de corrente elétrica para os resistores 1, 2 e 3.

A resistência equivalente R_{eq} , seria a representada abaixo:

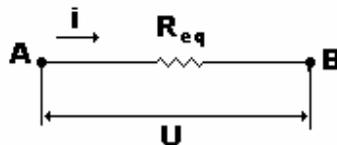


FIGURA 4B

Para determinarmos a resistência equivalente neste tipo de associação deveríamos proceder da seguinte forma:

Demonstração

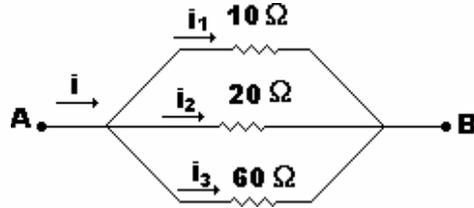
<p>Sabemos que a intensidade de corrente elétrica total no circuito é a soma da corrente elétrica em cada resistor, ou seja:</p>	$i = i_1 + i_2 + i_3$
<p>As tensões U_1, U_2, U_3 correspondem às resistências R_1, R_2 e R_3, respectivamente. Portanto:</p>	$U = U_1 = U_2 = U_3$
<p>Da 1ª Lei de Ohm sabemos que $i = \frac{U}{R}$, portanto:</p>	$i_1 = \frac{U}{R_1} \quad i_2 = \frac{U}{R_2}$ $i_3 = \frac{U}{R_3} \quad i = \frac{U}{R_{eq}}$
<p>Substituindo as expressões anteriores na equação de tensão elétrica, obtemos:</p>	$\frac{U}{R_{eq}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$
<p>Portanto para associações em paralelo, calculamos a resistência equivalente da seguinte forma:</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ </div>

EXERCÍCIOS

36> No circuito esquematizado a seguir, a tensão entre os pontos A e B é 120 V.

Determine:

- (a) a resistência equivalente;
- (b) a corrente elétrica total;
- (c) a corrente que atravessa cada resistor.

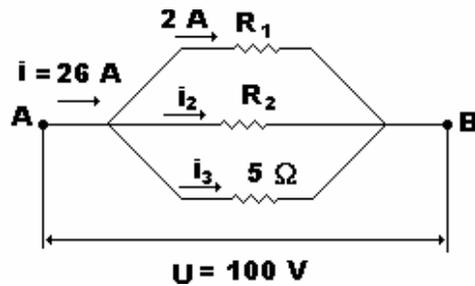


37> Três resistores de resistências elétricas $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 8 \Omega$ e $R_3 = 10 \Omega$ são associados em paralelo. A associação é percorrida por uma corrente de intensidade de 20 A. Determine:

- (a) a resistência equivalente;
- (b) a d.d.p. a que está submetida a associação;
- (c) a intensidade da corrente que percorre cada um dos resistores;
- (d) a d.d.p a que está submetido cada um dos resistores.

38> Para a associação esquematizada na figura, determine:

- (a) a resistência elétrica R_1 ;
- (b) a intensidade de corrente i_3 ;
- (c) a intensidade de corrente i_2 ;
- (d) a resistência elétrica R_2 ;
- (e) a resistência equivalente da associação.



8.4.3 - CURTO-CIRCUITO

Em algumas associações de resistores, poderemos encontrar um resistor em curto-circuito; isto ocorre quando tivermos um resistor em paralelo com um fio sem resistência.

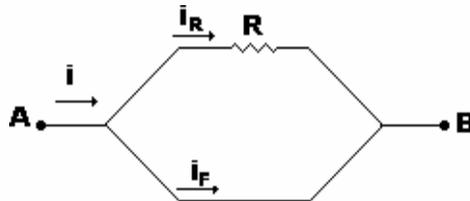


FIGURA 46

Como o fio não possui resistência, não há dissipação de energia no trecho AB, portanto:

- ☞ Potencial Elétrico em A é igual em B, portanto a diferença de potencial elétrico é igual a zero e a intensidade de corrente elétrica no resistor também será zero:

$$V_A = V_B \Rightarrow U_{AB} = 0 \Rightarrow i_R = 0$$

☞ Como a corrente no resistor é zero a corrente no fio sem resistor será a corrente total:

$$i_R = 0 \Rightarrow i_F = i$$

IMPORTANTE:

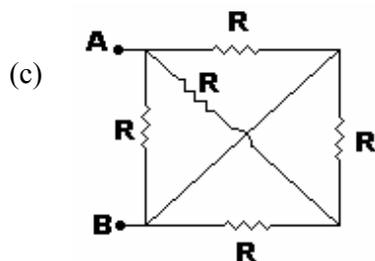
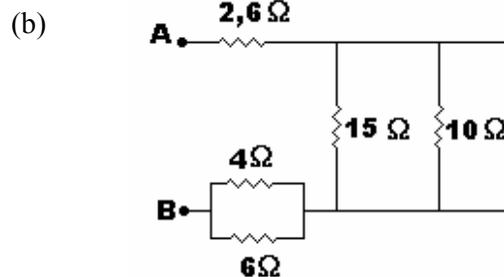
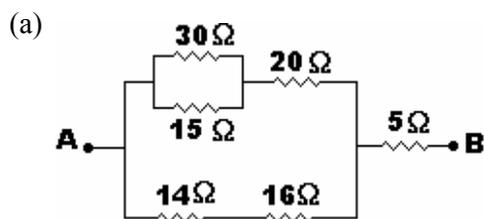
Havendo curto-circuito, toda a corrente elétrica do circuito se desvia pelo condutor de resistência nula. Para todos efeitos práticos é como se o resistor não estivesse associado no circuito. Num novo esquema do circuito, podemos considerar os pontos ligados pelo condutor (A e B) como coincidentes, deixando de representar o resistor.

8.4.4 - ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES MISTA

Na maioria dos exercícios e na prática do dia-a-dia encontraremos associações em série e paralelo no mesmo circuito, este tipo de associação é chamada mista. Faremos vários exercícios com este tipo de associação a partir de agora.

EXERCÍCIOS

39> Determine a resistência equivalente entre os pontos A e B em cada caso abaixo:



Dado que $R = 12 \Omega$

DESAFIO: 2> Determine a resistência equivalente entre os pontos A e B em cada caso abaixo:

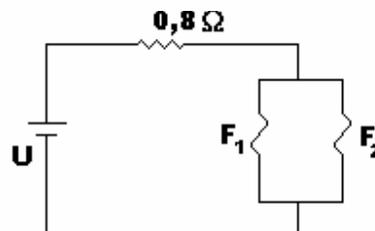
(a)

(b)

(c)

Utilize, em todos os casos, $R = 6 \Omega$

40> No circuito a seguir, F1 é um fusível de resistência $0,3 \Omega$ e que suporta uma corrente máxima de 5 A e F2 é um fusível de resistência $0,6 \Omega$ que suporta uma corrente máxima de 2 A. Determine o maior valor da tensão U, de modo a não queimar nenhum fusível.



8.5 - AMPERÍMETRO E VOLTÍMETRO - MEDIÇÕES ELÉTRICAS

Na prática são utilizados nos circuitos elétricos aparelhos destinados a medições elétricas, chamados de forma genérica **galvanômetros**.

Quando este aparelho é destinado a medir intensidade de corrente elétrica, ele é chamado de **Amperímetro**. Será considerado ideal, quando sua resistência interna for nula.

COMO LIGAR UM AMPERÍMETRO ?

Devemos ligar um amperímetro em série no circuito, fazendo com que a corrente elétrica passe por ele e então registre o seu valor. É exatamente por isso que num amperímetro ideal a resistência interna deve ser nula, já que o mínimo valor existente de resistência mudará o resultado marcado no amperímetro.

COMO REPRESENTAR UM AMPERÍMETRO NO CIRCUITO?

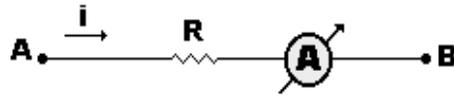


FIGURA 47

Quando o aparelho é destinado a medir a d.d.p. entre dois pontos de um circuito, ele é chamado de **Voltímetro**. Será considerado ideal, quando possuir resistência interna infinitamente grande.

COMO LIGAR UM VOLTÍMETRO ?

Devemos ligar um voltímetro em paralelo ao resistor que queremos medir sua d.d.p., fazendo com que nenhuma corrente elétrica passe por ele. É exatamente por isso que no caso ideal devemos possuir resistência elétrica infinita, fazendo com que a corrente elétrica procure o caminho de menor resistência.

COMO REPRESENTAR UM VOLTÍMETRO NO CIRCUITO?

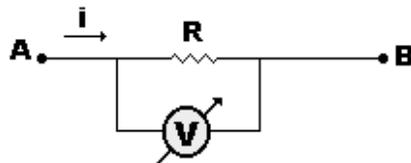
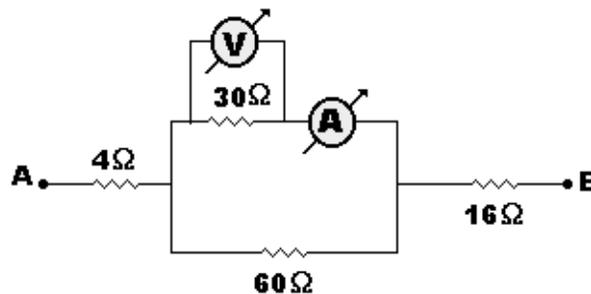


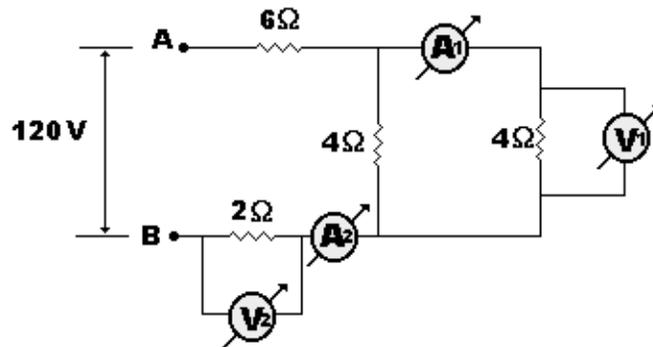
FIGURA 48

EXERCÍCIOS

41> No circuito dado a seguir, determine a indicação no amperímetro e no voltímetro (considere dispositivos ideais). Dado que a tensão entre A e B é igual a 120 V.



42> Considerando todos os dispositivos ideais, determine o que marca cada amperímetro e cada voltímetro a seguir:



9 - GERADORES, RECEPTORES E CAPACITORES

9.1 - INTRODUÇÃO

Neste item discutiremos de maneira rápida e objetiva a função e aplicação de alguns instrumentos elétricos de grande importância.

9.2 - GERADORES

Como já foi falado anteriormente o Gerador é um dispositivo elétrico que possui a função de transformar energia qualquer em energia elétrica, como exemplo podemos citar a pilha que transforma energia química em energia elétrica.

É importante dizer que o Gerador como sendo um dispositivo elétrico está sujeito a resistência elétrica, ou seja, energia dissipada. Até agora não considerávamos esta dissipação.

A d.d.p. realmente criada dentro do gerador é chamada de força eletromotriz (ϵ). Para sabermos quanto é liberada para fora do Gerador devemos descontar a parte dissipada pela resistência interna (r), logo teremos:

$$U = \epsilon - r.i$$

Esta equação é chamada de Equação do Gerador, onde:

NOMENCLATURA:

- $U \rightarrow$ d.d.p. fornecida pelo gerador
- $\epsilon \rightarrow$ força eletromotriz
- $r \rightarrow$ resistência interna do gerador
- $i \rightarrow$ corrente elétrica que atravessa o gerador.

Esquemáticamente temos:

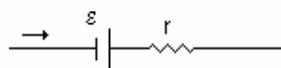


FIGURA 49

9.3 - RECEPTORES

Receptor é um dispositivo elétrico que possui a função de transformar energia elétrica em energia qualquer. (Desde que não seja térmica) Como exemplo podemos citar o liquidificador que transforma energia elétrica em energia cinética, a televisão que transforma energia elétrica em sonora e luminosa e outros dispositivos.

É importante dizer que o Receptor como sendo um dispositivo elétrico está sujeito a resistência elétrica, ou seja, energia dissipada. Portanto para o seu funcionamento correto ele deverá receber a energia normal de funcionamento mais a parte que irá dissipar.

A d.d.p. realmente utilizada por um receptor para cumprir sua função é chamada de força contra-eletromotriz. (ε'). Para sabermos quanto o receptor deve receber para seu funcionamento correto devemos considera a força contra-eletromotriz mais a d.d.p dissipada por sua resistência interna (r'), logo teremos:

$$U = \varepsilon' + r' i$$

Esta equação é chamada de Equação do Receptor, onde:

NOMENCLATURA:

$U \rightarrow$ d.d.p. recebida pelo receptor
 $\varepsilon' \rightarrow$ força contra-eletromotriz
 $r' \rightarrow$ resistência interna do receptor
 $i \rightarrow$ corrente elétrica que atravessa o receptor.

Esquemáticamente temos:

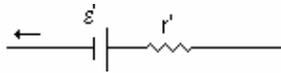


FIGURA 50

9.4 - CIRCUITO GERADOR, RECEPTOR E RESISTOR.

Para resolvermos circuitos com geradores, receptores e resistores, devemos proceder da seguinte forma:

- (i) Analisar e separar os geradores, os receptores e os resistores.
- (ii) Observar o sentido da corrente elétrica quando tiver mais de um receptor ou gerador.
- (iii) Somar todos os valores de força eletromotriz (ε) e todos os valores de força contra-eletromotriz (ε').
- (iv) Determinar a Resistência equivalente do circuito.
- (v) Determinar a corrente elétrica total do circuito.
- (vi) Determinar o que se pede em seguida no problema (Geralmente o que marca Voltímetros e Amperímetros).

O Cálculo da corrente total é feito da seguinte forma:

$$i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R_{eq}}$$

Os Voltímetros seguem a regra:

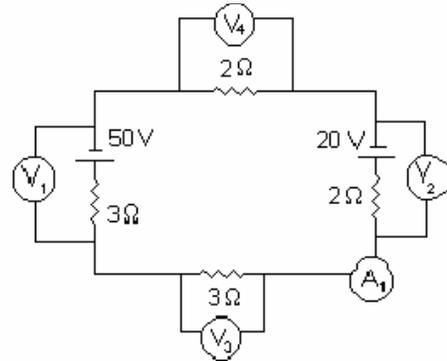
(a) Voltímetro Ligado no Gerador: $U = \varepsilon - r.i$

(b) Voltímetro Ligado no Receptor: $U = \varepsilon' + r'.i$

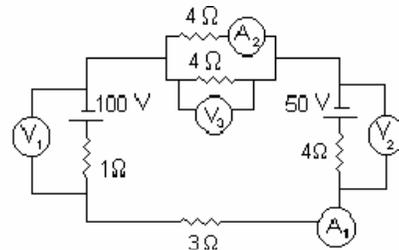
(c) Voltímetro Ligado no Resistor: $U = R.i$

EXERCÍCIOS

43> Determine o que marca cada amperímetro e cada voltagem abaixo. Considere os aparelhos ideais.



44> Determine o que marca cada amperímetro e cada voltagem abaixo. Considere os aparelhos ideais.



9.5 - CAPACITORES

Capacitores são dispositivos elétricos que possuem a função de armazenar carga elétrica. Aparelhos de TV, Máquinas Fotográficas entre outros possuem capacitores, que permitem uma resposta imediata quando o aparelho é ligado ou disparado.

Os capacitores mais comuns são chamados de capacitores planos e possuem a seguinte simbologia:

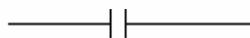


FIGURA 51

A carga armazenada em cada armadura é de mesmo valor, mas de sinal diferente.

9.5.1 - A GARRAFA DE LEYDEN

Um dos primeiros capacitores construído foi chamado de garrafa de Leyden. Construída na Universidade de Leyden, na Holanda, em 1746 tinha a função de armazenar carga elétrica a partir de algum processo de eletrização. O carregamento da garrafa era feito da seguinte forma:

- 1> Algum corpo eletrizado tocava a esfera metálica superior da garrafa;
- 2> A armadura interna da garrafa passava a possuir o sinal do contato.
- 3> A armadura externa estava em contato com a Terra .
- 4> A armadura externa passa a ter carga de sinal contrário da interna.
- 5> Ao passar o tempo o contato com a Terra era eliminado.
- 6> As carga passavam a ficar aprisionadas na garrafa e se mantinham na forças eletrostáticas.

