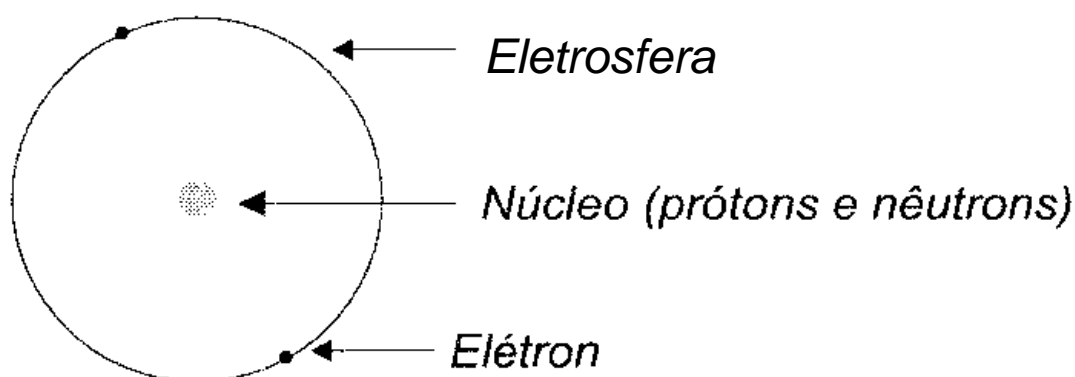


## Eletricidade

### Conceitos Fundamentais de Eletricidade

#### Constituição da matéria e carga elétrica

A matéria é constituída de moléculas, que por sua vez são formadas por átomos. Um modelo bastante conhecido e de fácil compreensão é o modelo de Bohr. Veja abaixo uma representação simbólica do átomo de Bohr.



Neste modelo, o átomo é constituído por um pequeno núcleo ao redor do qual partículas chamadas **elétrons** descrevem uma órbita fechada. No núcleo atômico, por sua vez, encontram-se partículas chamadas **prótons** e **nêutrons**.

Através de diversas experiências e estudos teóricos, verificou-se que o próton e o elétron possuem uma grandeza física associada a eles. Tal grandeza é a **carga elétrica** que está relacionada com a força de interação entre partículas carregadas.

Desta forma, arbitrariamente, batizou-se o tipo de carga elétrica do elétron de negativa e o tipo de carga elétrica do próton de positiva. Assim;

*Cargas elétricas de mesmo tipo se repelem e cargas elétricas de tipos diferentes se atraem.*

Um corpo é eletricamente neutro se o número de partículas com carga elétrica positiva (prótons) é igual ao número de partículas com carga elétrica negativa (elétrons). Como o nêutron não manifestou nenhuma influência devido à carga elétrica do próton ou do elétron, diz-se que a carga elétrica do nêutron é nula.

Milikan, após alguns experimentos, determinou o valor da carga elétrica, conhecida como **carga elementar** ( $q_{ei}$ ):

$$|q_{ei}| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

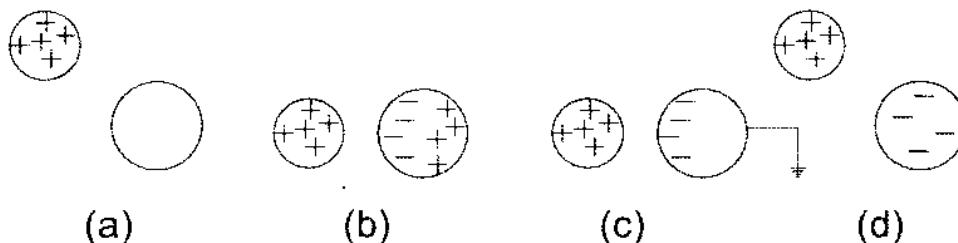
Um corpo pode tornar-se positivo ou negativo perdendo ou ganhando elétrons através de algum processo de eletrização. Para determinar a carga total de um corpo ( $Q$ ), basta fazer a carga elementar ( $q_{el}$ ) vezes o número de elétrons cedidos ou adquiridos pelo corpo ( $n$ )

$$Q = n \cdot q_{el}$$

### Processos de Eletrização

Existem vários processos de eletrização, dentre os quais podemos citar:

- Eletrização por atrito*: baseado na fricção de um corpo com outro de modo que um deles acabe cedendo elétrons ao outro.
- Eletrização por contato*: ocorre quando um corpo já eletrizado é posto em contato físico com outro eletricamente neutro.
- Eletrização por Indução*: um corpo já eletrizado é colocado nas proximidades de outro eletricamente neutro, provocando uma polarização das cargas deste último. Aí, é feita uma conexão do lado mais distante à terra, promovendo o escoamento ou acesso dos elétrons. Ambos os corpos tornam-se eletrizados, mas com sinais opostos. Veja o esquema a seguir onde: (a) estado inicial dos corpos; (b) polarização das cargas; (c) ligação à terra; (d) corpos eletrizados.



Há ainda outros processos, como bombardeamento de partículas carregadas ou incidência de luz em metais.

### Condutores e Isolantes

Podemos classificar os materiais quanto a mobilidade ou não das cargas elétricas em seu interior.

**Isolantes:** Materiais onde as cargas elétricas permanecem estáticas, ou seja, não se movem “dentro” do corpo macroscópico.

**Condutores:** Materiais em que as cargas elétricas movimentam-se “dentro” do corpo macroscópico.

**Força elétrica, campo elétrico e potencial elétrico.**

**Força Elétrica** (ou Coulombiana): interação entre as cargas elétricas (atração ou repulsão).

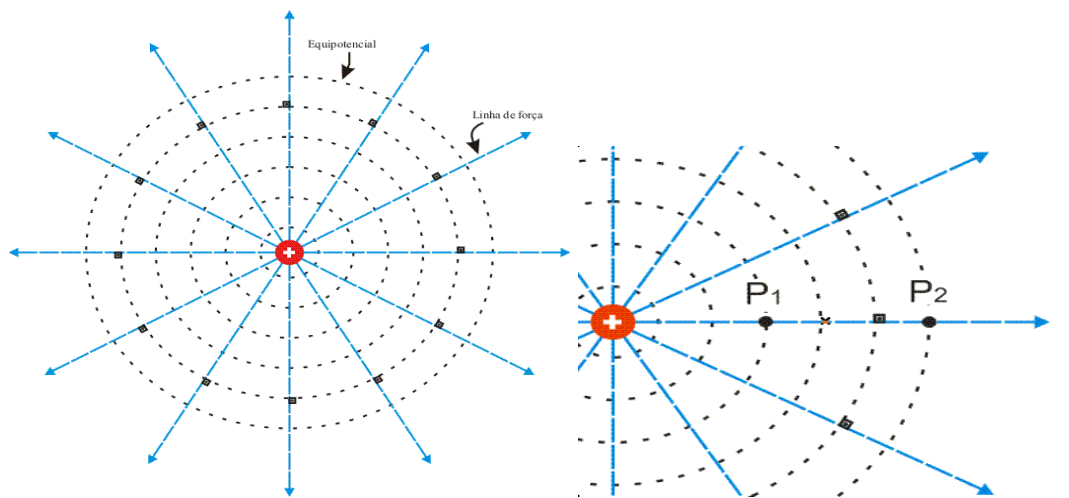
$$F = \frac{K \cdot q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Onde:

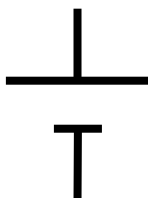
- F = força [N]
- K = constante que representa a influência do meio onde se encontram as partículas eletrizadas. Para o vácuo e também para o ar, com boa aproximação, o valor de K é  $9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ .
- d = distância entre as partículas [ $\text{m}^2$ ]
- $q_1, q_2$  = cargas eletrizadas [C]

**Campo Elétrico:** descreve a região do espaço onde se manifesta a força elétrica devido à presença de alguma carga. Uma partícula carregada origina ao seu redor um campo elétrico que interage com o campo de outra partícula carregada colocada na presença desta através da força coulombiana.

**Potencial Elétrico:** está relacionado o trabalho necessário para deslocar uma carga elétrica de um ponto para outro na presença de um campo elétrico.

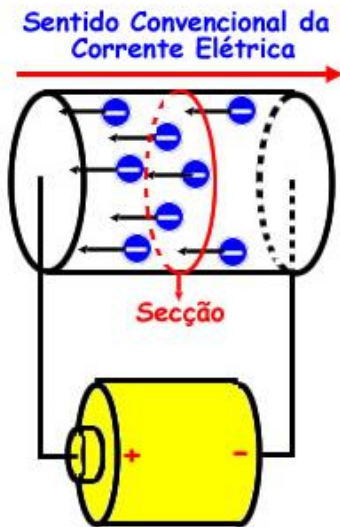


**Diferença de Potencial (d.d.p.) ou Tensão Elétrica:** diferença entre os potenciais dos dois pontos em questão. A unidade no Sistema Internacional é o Volt (V). Em eletricidade, utiliza-se muito um dispositivo bipolar (com dois terminais de acesso) que mantém de alguma forma uma diferença de potencial constante entre seus pólos, chamado **gerador** ou **fonte de tensão**.



O traço horizontal maior indica o pólo positivo, ou seja, aquele onde há falta de elétrons. O traço horizontal menor representa o pólo negativo, onde há um excesso de elétrons.

**Corrente Elétrica:** fluxo ordenado de cargas elétricas. Os elétrons saem da região de menor potencial buscando sempre o maior potencial (*sentido real da corrente elétrica*).



Porém, por razões históricas, adota-se o *sentido convencional* da corrente elétrica, em que os elétrons dirigem-se do maior para o menor potencial. A corrente elétrica média ( $I_M$ ) é a quantidade de carga ( $Q$ ) que atravessa a seção transversal de um condutor em um intervalo de tempo ( $\Delta t$ ). No SI, a corrente elétrica é expressa em Ampère (A), que equivale a Coulombs/segundo.

$$I_M = \frac{Q}{\Delta t} \quad [A = \frac{C}{s}]$$

Principais efeitos ocasionados pela passagem da corrente elétrica em um condutor:

*Efeito térmico* (Efeito Joule): relacionado com a produção de calor em um condutor, devido aos choques que ocorrem entre os elétrons livres com os átomos no condutor durante a passagem da corrente. Exemplos: chuveiros, aquecedores, secadores de cabelo.

*Efeito químico*: certas reações químicas que ocorrem quando a corrente elétrica atravessa soluções eletrolíticas. Exemplos: recobrimento de metais, como niquelação, cromação.

*Efeito magnético*: relacionado com a criação de campo magnético ao redor de um condutor percorrido por corrente elétrica. Exemplo: carregador de celular sem fio.

*Efeito fisiológico*: passagem da corrente elétrica em organismos vivos, atuando diretamente em seu sistema nervoso e provocando o que é chamado choque elétrico. Abaixo, a tabela ilustra os efeitos observados em função da intensidade da corrente que atravessa o corpo humano.

1 mA	Sensação de cócegas e formigamento
1 a 10 mA	Contração muscular
de 10 mA a 3A	Valores mortais

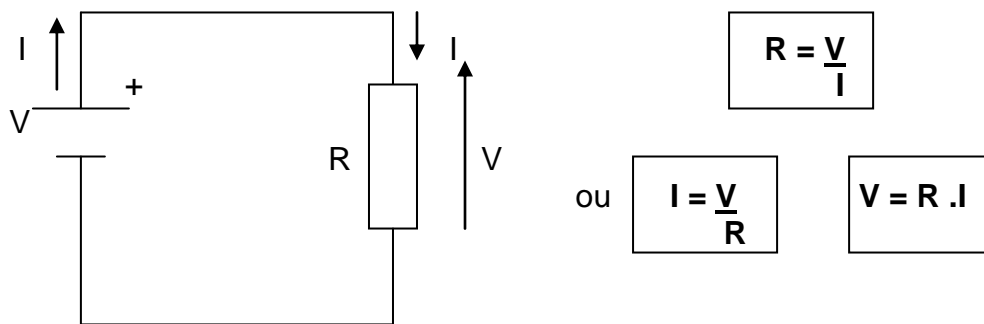
**Resistência Elétrica**

**Resistência Elétrica:** grandeza relacionada com a oposição à passagem de corrente elétrica. É expressa em Ohm ( $\Omega$ ) no Sistema Internacional.

**Resistores:** bipolos elétricos que apresentam um valor de resistência elétrica específico.

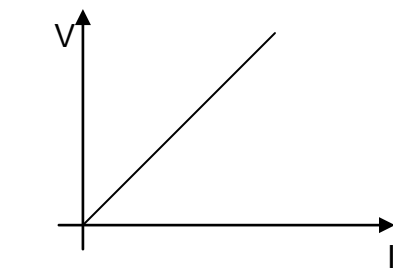
**1ª Lei de Ohm**

A resistência elétrica é relacionada com outras grandezas fundamentais da eletricidade, a corrente elétrica e a tensão elétrica, através de uma expressão matemática muito simples.

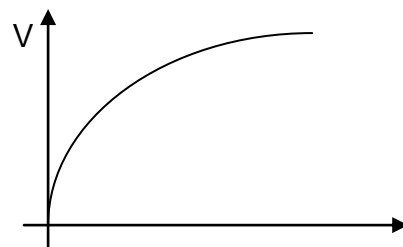


Os resistores que obedecem a 1ª Lei de Ohm são chamados *resistores ôhmicos*. Estes resistores apresentam uma relação linear entre a tensão aplicada sobre eles e a corrente que os atravessa, de modo que a curva característica de tensão versus corrente seja uma reta que passa pela origem.

Por outro lado, aqueles resistores que não apresentam tal linearidade entre tensão e corrente são chamados *resistores não-ôhmicos*, como por exemplo o LDR (resistor dependente de luz), o NTC e o PTC (resistores dependentes da temperatura).



Resistor Ôhmico



Resistor não-Ôhmico

**2ª Lei de Ohm**

Relaciona alguns fatores que influenciam no valor da resistência de um resistor. O material com que é construído o resistor ou o condutor influencia fundamentalmente no valor da resistência. A grandeza que define este parâmetro é a *resistividade elétrica* ( $\rho$ ) do material. Além disso, a dimensão física, ou seja, o *comprimento* (L) e a *área de seção transversal* (A) do condutor, também influem decisivamente para o valor da resistência.

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

A tabela a seguir traz os valores de resistividade dos materiais mais comuns:

Material	Resistividade a 20°C (x 10 <sup>-2</sup> Ω.mm <sup>2</sup> / m)
Prata	1,6
Cobre	1,7
Ouro	2,2
Alumínio	2,8
Tungstênio	5,6
Níquel	6,8
Ferro	10
Aço	18
Manganina	44
Carbono	3500

Comercialmente, os resistores utilizam um código de cores para identificação de seus valores.

The diagram shows a resistor with four color bands: brown, black, red, and gold. Lines connect these bands to a table below. The table provides the numerical value for each color, the multiplier, tolerance, and temperature coefficient.

Cor	1ª faixa	2ª faixa	3ª faixa	Multiplicador	Tolerância	Coef. de Temperatura
Preto	0	0	0	×10 <sup>0</sup>		
Marrom	1	1	1	×10 <sup>1</sup>	±1% (F)	100 ppm /°C
Vermelho	2	2	2	×10 <sup>2</sup>	±2% (G)	50 ppm /°C
Laranja	3	3	3	×10 <sup>3</sup>		15 ppm /°C
Amarelo	4	4	4	×10 <sup>4</sup>		25 ppm /°C
Verde	5	5	5	×10 <sup>5</sup>	±0.5% (D)	
Azul	6	6	6	×10 <sup>6</sup>	±0.25% (C)	10 ppm /°C
Violeta	7	7	7	×10 <sup>7</sup>	±0.1% (B)	5 ppm /°C
Cinza	8	8	8	×10 <sup>8</sup>	±0.05% (A)	1 ppm /°C
Branco	9	9	9	×10 <sup>9</sup>		
Ouro				×0.1	±5% (J)	
Prata				×0.01	±10% (K)	
Sem cor					±20% (M)	

Fonte: <http://eletrinform.blogspot.com.br/>

**Fundamentos Matemáticos:**

**Notação Científica:** Apenas um algarismo antes da vírgula, diferente de zero, seguido da potência de dez correspondente.

**Notação de Engenharia:** Expoentes de 3 em 3 unidades e utilização de prefixos numéricos.

Tabela de Prefixos Numéricos					
Submúltiplos			Múltiplos		
Prefixo	Símbolo	Valor	Prefixo	Símbolo	Valor
atto	a	$10^{-18}$	quilo	k	$10^3$
femto	f	$10^{-15}$	mega	M	$10^6$
pico	p	$10^{-12}$	giga	G	$10^9$
nano	n	$10^{-9}$	tera	T	$10^{12}$
micro	$\mu$	$10^{-6}$	petta	P	$10^{15}$
mili	m	$10^{-3}$	exa	E	$10^{18}$

**Potência de Dez:** É um recurso matemático utilizado para representar, de forma simplificada, quantidades muito grandes ou muito pequenas por meio da multiplicação do algarismo significativo pela base dez elevada a um expoente positivo ou negativo.

Exemplos: a)  $2.540 = 2,54 \times 1000 = 2,54 \times 10^3$   
 b)  $0,00834 = 8,34 \times 0,001 = 8,34 \times 10^{-3}$

**Operações com Potências de Dez**

- **Soma e Subtração:** Ajustar as potências de dez dos operandos para um mesmo expoente e somar ou subtrair os seus algarismos significativos, conforme a operação desejada.

Exemplos:

a)  $35 \times 10^{-5} + 8,6 \times 10^{-3} = 0,35 \times 10^{-3} + 8,6 \times 10^{-3} = 8,95 \times 10^{-3}$   
 b)  $95 \times 10^4 - 3,8 \times 10^5 = 9,5 \times 10^5 - 3,8 \times 10^5 = (9,5 - 3,8) \times 10^5 = 5,7 \times 10^5$

- **Multiplicação:** Multiplicar os algarismos significativos dos operandos e somar os expoentes das potências de dez.

Exemplo: a)  $6,7 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^3 = 6,7 \times 2 \times 10^{-5+3} = 13,4 \times 10^{-2}$

- **Divisão:** Dividir os algarismos significativos dos operandos e subtrair os expoentes das potências de dez.

Exemplo: a)  $48 \times 10^6 / 1,2 \times 10^4 = (48/1,2) \times 10^{6-4} = 40 \times 10^2$

- **Potenciação:** Aplicar a potência ao algarismo significativo e multiplicar o expoente da base de dez pela potência.

Exemplo: a)  $(2 \times 10^{-2})^3 = 2^3 \times 10^{(-2) \cdot 3} = 8 \times 10^{-6}$

- **Radiciação:** Extrair a raiz do algarismo significativo e dividir o expoente da base de dez pelo índice da raiz. \_\_\_\_\_

Exemplo: a)  $\sqrt{16 \times 10^4} = 4 \times 10^{4/2} = 4 \times 10^2$

### Regra de Três (Simples e Composta)

**Regra de três simples** é um processo prático para resolver problemas que envolvam quatro valores dos quais conhecemos três deles. Devemos, portanto, determinar um valor a partir dos três já conhecidos. A **regra de três composta** é utilizada em problemas com mais de duas grandezas, direta ou inversamente proporcionais.

*Passos utilizados numa regra de três simples:*

- 1º) Construir uma tabela, agrupando as grandezas da mesma espécie em colunas e mantendo na mesma linha as grandezas de espécies diferentes em correspondência.
- 2º) Identificar se as grandezas são diretamente ou inversamente proporcionais.
- 3º) Montar a proporção e resolver a equação.

### Teoria do Arredondamento:

O arredondamento é um recurso adotado para abreviar quantidades com muitas casas decimais, desde que o erro inserido não comprometa o resultado do que está sendo avaliado.

<b>Crítérios para o Arredondamento</b>
Após determinar o número desejado de casas decimais, o último algarismo desejado deve:
I – ser conservado se o seguinte for inferior a 5;
II – ser acrescido de uma unidade se o seguinte for superior ou igual a 5 seguido de outros algarismos;
III – ser conservado se ele for par e se o seguinte for igual a 5, apenas;
IV – ser acrescido de uma unidade se ele for ímpar e se o seguinte for igual a 5, apenas.



## Potência Elétrica

Uma outra grandeza, bastante importante em Eletricidade, é aquela relacionada com a energia elétrica envolvida em algum sistema. Em termos práticos, entretanto, é mais útil expressar este consumo energético em termos de uma taxa temporal de energia.

Define-se como **potência elétrica** (P) a taxa com que a energia elétrica é transformada em alguma outra forma de energia por unidade de tempo. Ou ainda, a capacidade de determinado dispositivo em transformar a energia elétrica noutro tipo de energia.

Assim, quando uma determinada quantidade de **energia elétrica** (E) é transformada em calor, através do Efeito Joule, por exemplo, em um intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), a potência será:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad E = P \cdot \Delta t \text{ [kW.h]}$$

A potência elétrica é expressa em Watt (W) no Sistema Internacional.

Uma outra forma de expressar a potência elétrica em um dispositivo é através da tensão aplicada sobre o mesmo e a corrente que o atravessa:

$$P = V \cdot I$$

Se o dispositivo envolvido for um resistor ôhmico, pode-se fazer uso da 1ª Lei de Ohm para escrever:

$$P = R \cdot I^2 \quad \text{e} \quad P = \frac{V^2}{R}$$

**Potência Média de Alguns Dispositivos Elétricos**

<b>Aparelhos Elétricos</b>	<b>Potência Média [Watts]</b>
Aquecedor de Ambiente	1550
Ar Condicionado 12.000 BTU	1450
Churrasqueira Elétrica	3800
Chuveiro Elétrico	3500
Computador/Impressora/Estabilizador	180
Ferro Elétrico	1000
Fogão Elétrico 4 chapas	9120
Forno à Resistência pequeno	800
Forno Microondas	1200
Freezer Vertical / Horizontal	130
Geladeira 2 portas	130
Grill	900
Lavadora de Louças	1500
Lavadora de Roupas	500
Panela Elétrica	1100
Sauna	5000
Secadora de Roupa grande	3500
Torradeira	800
TV em Cores 29"	110
Ventilador de Teto	120
Videogame	15

Fonte: [http://www.rc.unesp.br/comsupervig/tabela\\_consumo.pdf](http://www.rc.unesp.br/comsupervig/tabela_consumo.pdf)

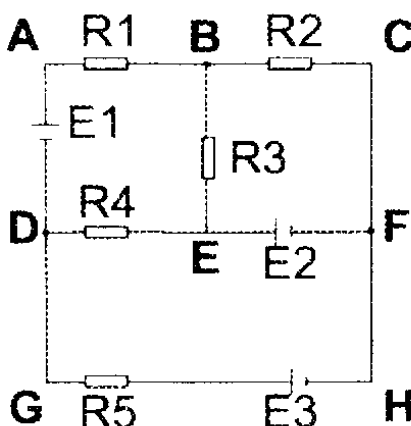
## Circuitos Elétricos Básicos em Corrente Contínua

### Elementos de Circuitos Elétricos

Para facilitar o entendimento, vamos definir os principais elementos que constituem os circuitos elétricos e os temos pelos quais são conhecidos.

**Circuito elétrico:** um caminho fechado, constituído por condutores, pelo qual passam as cargas elétricas.

Exemplo:  
Circuito X



**Ramo:** um trecho de um circuito elétrico, constituído de um ou mais bipolos ligados em série.

No circuito X são exemplos de ramos: os trechos GH, BF, BD, etc.

**Nó:** intersecção de três ou mais ramos

São exemplos de nó, no circuito X : B, E, F, etc.

**Malha:** polígono fechado cujos lados são constituídos de ramos.

No circuito X podemos citar como exemplo de malhas: ABED, BCFE, ABCFED, etc.

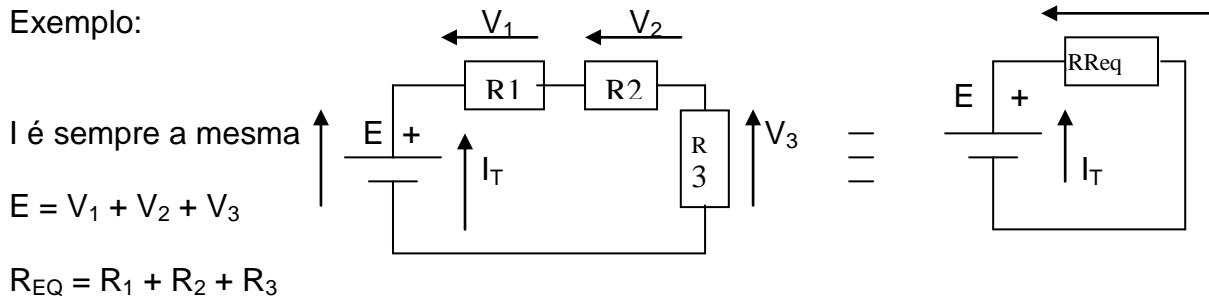
### Associação de Resistores

Num circuito elétrico, os resistores podem estar ligados em série e/ou paralelo, em função da necessidade de dividir uma tensão ou corrente, ou de obter uma resistência com valor diferente dos valores encontrados comercialmente.

### Associação Série

Numa associação série de resistores a corrente que passa por um deles é a mesma que passa por todos os outros. No entanto, a tensão da fonte se divide proporcionalmente entre os resistores.

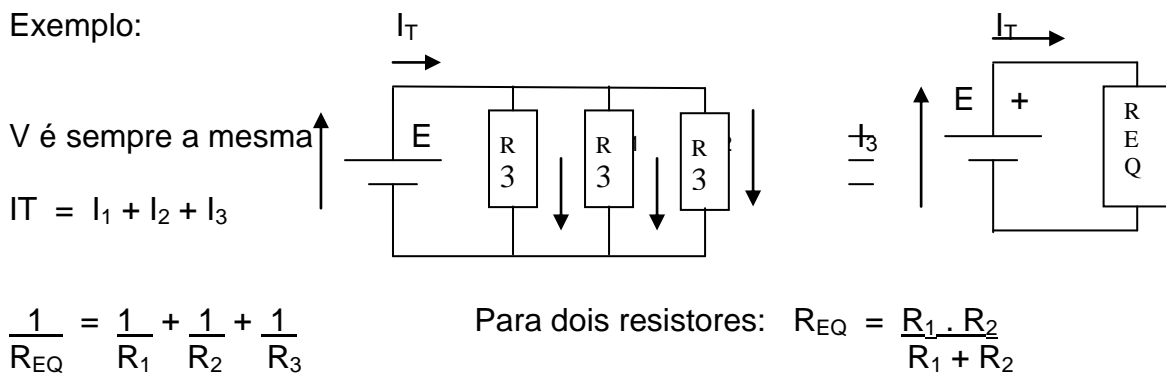
Exemplo:



### Associação Paralela

Numa associação paralela de resistores a tensão sobre um deles é a mesma sobre todos os outros. No entanto, a corrente total da fonte se divide proporcionalmente entre os resistores.

Exemplo:



### Associação Mista

A associação mista é formada por resistores ligados em série e em paralelo, não existindo uma equação geral para a resistência equivalente, pois ela depende da configuração do circuito.

### Leis de Kirchhoff

As duas leis de Kirchhoff sintetizam duas propriedades importantes dos circuitos elétricos que são essenciais na resolução dos mesmos.

**1ª Lei de Kirchhoff (ou lei dos nós)**

*A soma algébrica das correntes num nó é nula.*

Também podemos enunciá-la como sendo:

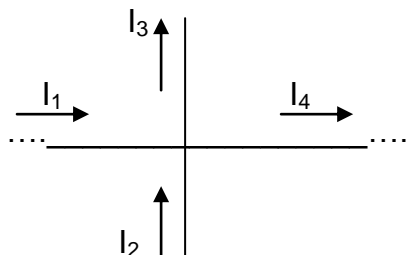
*A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que saem do mesmo nó.*

Exemplo:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

ou

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$



**2ª Lei de Kirchhoff (ou lei das malhas)**

*A soma algébrica das tensões numa malha é nula.*

Também podemos enuncia-la como sendo:

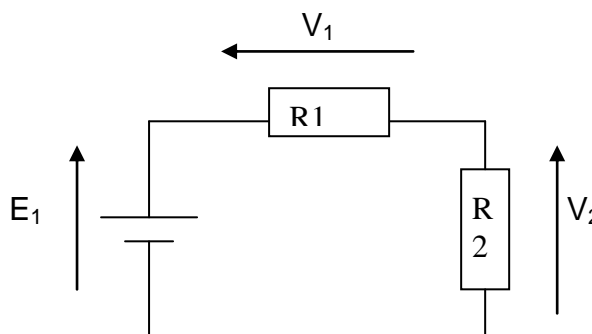
*A soma das tensões orientadas no sentido horário em uma malha é igual à soma das tensões orientadas no sentido anti-horário na mesma malha.*

Exemplo:

$$E_1 = V_1 + V_2$$

ou

$$E_1 - V_1 - V_2 = 0$$



**Referências Bibliográficas:**

Hino, R., Hara, P., Ramos, C. M. – *Apostila de Eletricidade, Curso Técnico de Eletrônica*; SENAI – SP, 2002.

Cipelli, M., Cipelli, O. M. – *Ensino Modular: Circuitos em Corrente Contínua*; Editora Érica – São Paulo, 1999.