

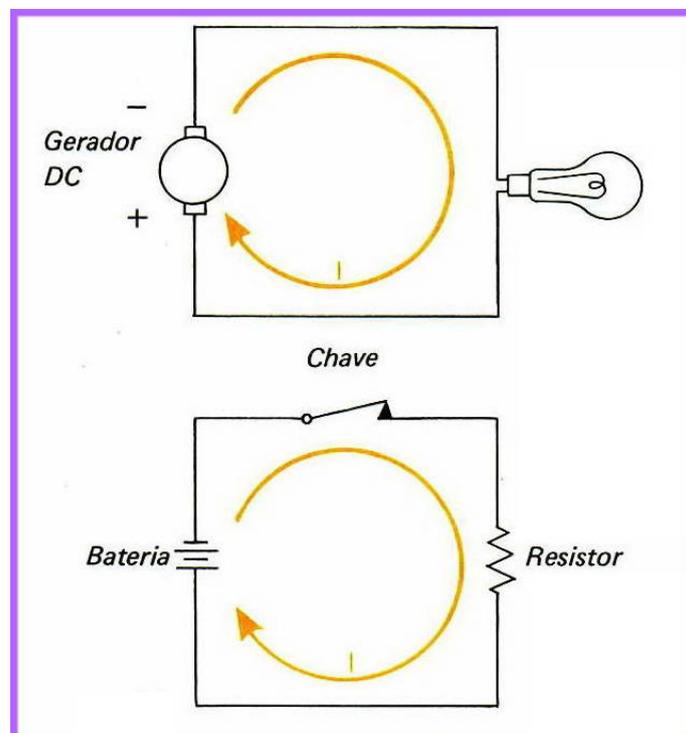
CIRCUITOS EM SÉRIE

A figura abaixo ilustra de forma resumida as unidades de medidas adotadas no SI (Sistema Internacional) para tensão, corrente, resistência e potência elétrica, com seus múltiplos e submúltiplos mais usados.

VOLT (V)	$1\ 000\ 000\ \text{volts} = 1\ \text{megavolt (MV)}$ $1\ 000\ \text{volts} = 1\ \text{quilovolt (kV)}$ $1/1\ 000\ \text{volt} = 1\ \text{milivolt (mV)}$ $1/1\ 000\ 000\ \text{volt} = 1\ \text{microvolt (}\mu\text{V)}$	OHM (Ω)	$1\ 000\ \text{ohms} = 1\ \text{quilohm (k}\Omega)$ $1\ 000\ 000\ \text{ohms} = 1\ \text{megohm (M}\Omega)$
AMPÈRE (A)	$1/1\ 000\ \text{ampère} = 1\ \text{miliampère (mA)}$ $1/1\ 000\ 000\ \text{ampère} = 1\ \text{microampère (}\mu\text{A)}$	WATT (W)	$1\ 000\ \text{watts} = 1\ \text{quilowatt (kW)}$ $1\ 000\ 000\ \text{watts} = 1\ \text{megawatt (MW)}$ $1/1\ 000\ \text{watt} = 1\ \text{miliwatt (mW)}$ $1/1\ 000\ 000\ \text{watt} = 1\ \text{microwatt (}\mu\text{W)}$

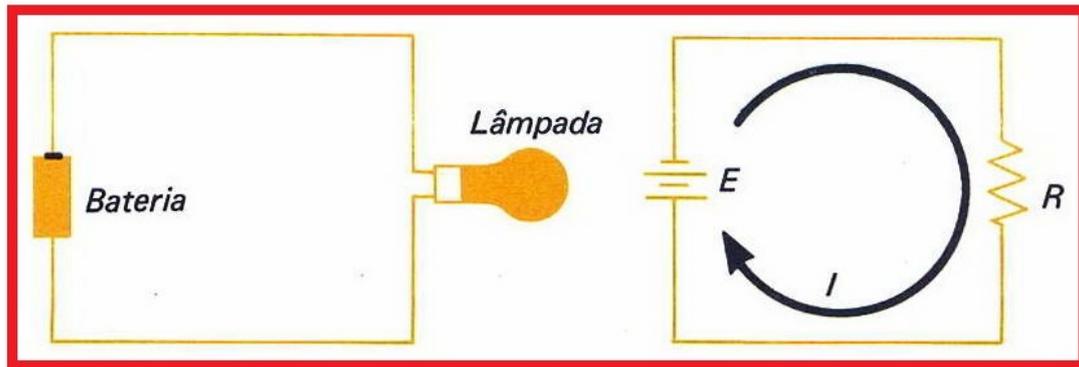
O que caracteriza um circuito em série?

O circuito em série caracteriza-se por permitir apenas um caminho para a corrente, conforme ilustra a figura abaixo:

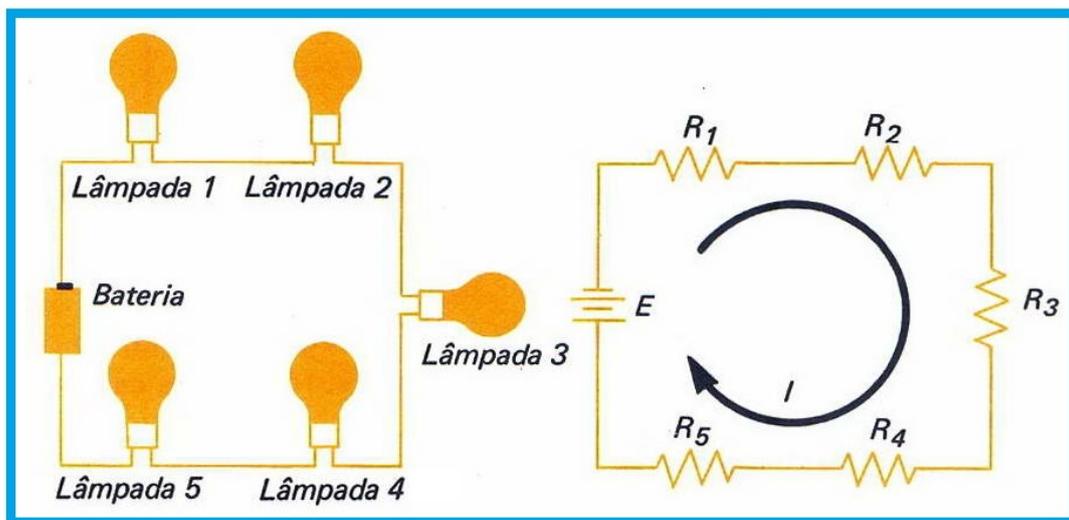


A interrupção em qualquer ponto do circuito faz cessar a corrente pelo mesmo, assim, uma carga conectada a esse circuito não funcionará.

A figura a seguir ilustra uma única carga ligada ao circuito.



A figura a seguir mostra o que é verdadeiramente um circuito em série.



Quaisquer que sejam os valores da resistência dos filamentos das lâmpadas, pelo circuito circulará uma única corrente, (corrente total) que será igual para todas as lâmpadas.

Tecnicamente dizemos que as cargas estão ligadas em série.

Se os filamentos das lâmpadas tiverem resistências diferentes, cada uma delas vai acender com brilho diferente.

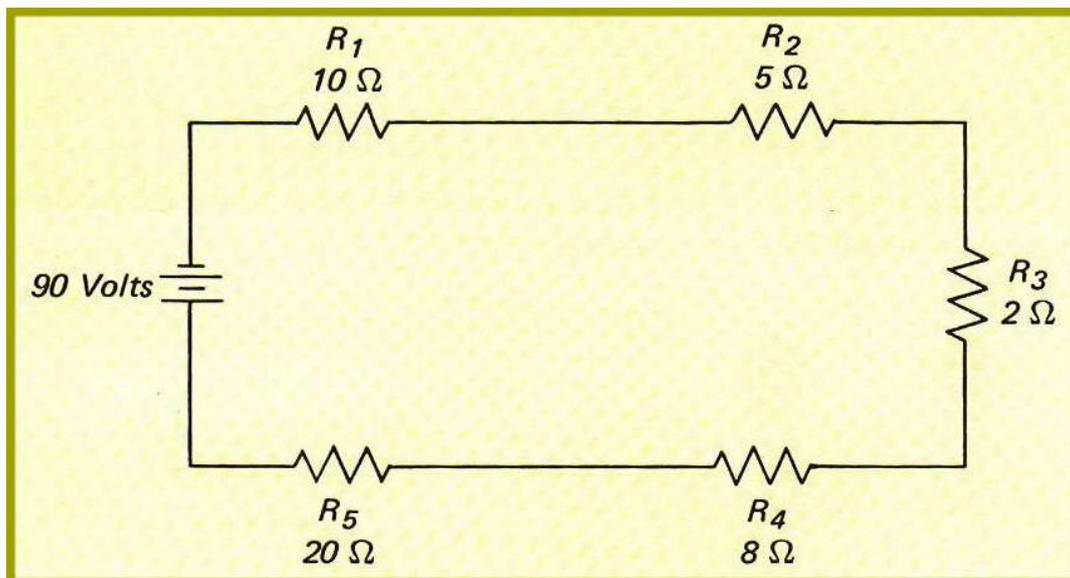
Portanto, a corrente de um circuito em série depende:

1. da fonte de tensão
2. da resistência total do circuito

Se o filamento de uma das lâmpadas queimar, as demais não acenderão, pois o circuito ficará aberto. Como sabemos, não circula corrente em um circuito aberto.

Influência das cargas em série sobre a corrente:

Vamos tomar como exemplo um circuito em série, com 5 resistores de valores diferentes, conforme ilustra a figura a seguir:



Calcular no circuito acima a corrente total.

O primeiro passo é calcular a resistência total do circuito. No caso da associação em série, a resistência total do circuito é o resultado da soma dos valores ôhmicos dos resistores.

Assim, resistência total = $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$

Resistência total = $10 + 5 + 2 + 8 + 20 = 45\ \text{ohms}$

Aplicando a Lei de Ohm, a corrente total no circuito será:

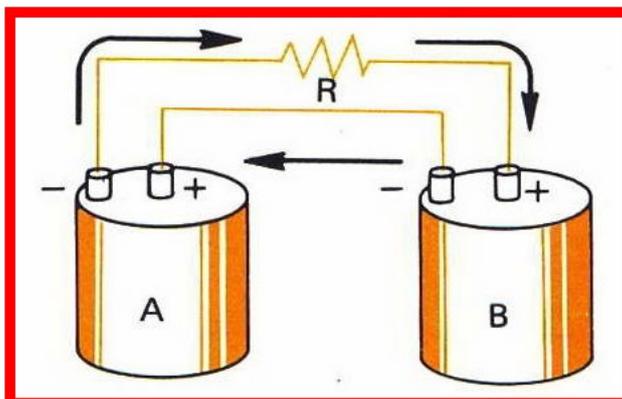
$$I = E/R = 90/45 = 2\ \text{ampères (2A)}$$

Fontes de tensão em série:

O caso mais comum de associação de fontes em série é a utilização de ligação de pilhas em série.

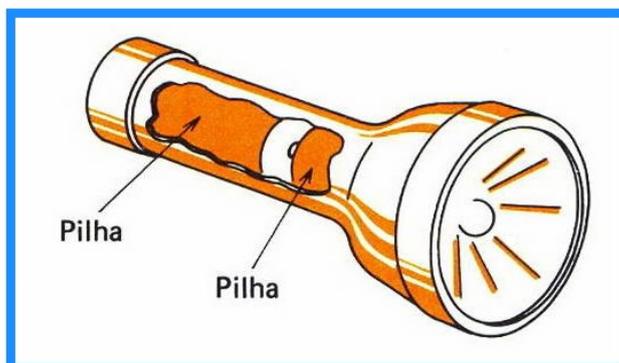
Normalmente pilhas comuns e alcalinas possuem uma tensão nominal de 1,5 volts. Como proceder se precisarmos alimentar um circuito que requer 3 volts?

Como não existem pilhas de 3 volts, a forma mais comum é associar duas pilhas de 1,5 volts em série.

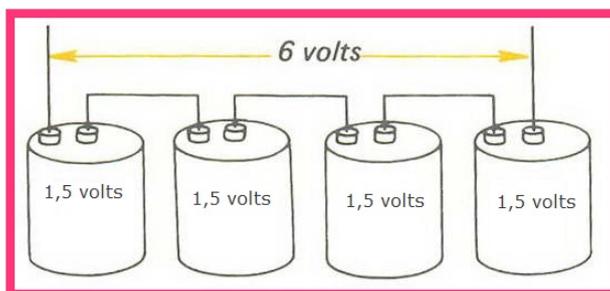


Na associação mostrada na figura acima, supondo que as pilhas A e B tenha 1,5 volts cada, a resistência R, estará recebendo uma tensão de 3 volts.

Uma aplicação muito comum de associação de pilhas em série é na lanterna de mão.

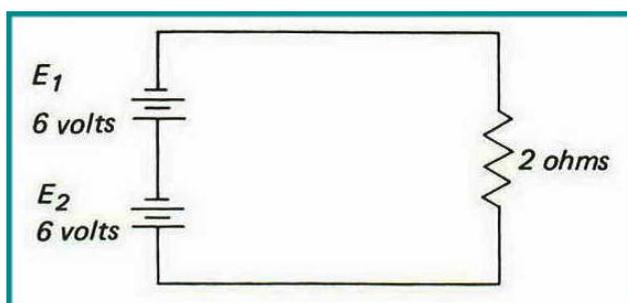


A figura a seguir ilustra uma associação de 4 pilhas em série, resultando em uma tensão total de 6 volts.



Quando ligamos várias fontes de energia em série, a tensão total é a soma das tensões individuais de cada fonte.

Vejamos um exemplo. Calcule a corrente total no circuito.

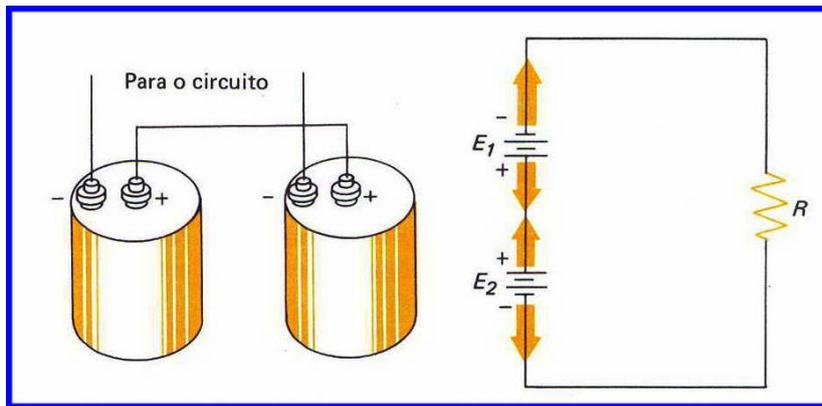


Solução: Tensão total = $6 + 6 = 12$ volts.

Pela Lei de Ohm: Corrente total = $12/2 = 6$ ampères

ATENÇÃO: Quando ligar baterias em série, muito cuidado com a polarização das pilhas quanto aos sinais positivo (+) e negativo (-) dos seus terminais.

A inversão de polaridades simplesmente anula a tensão total, havendo até o risco de danificá-las.

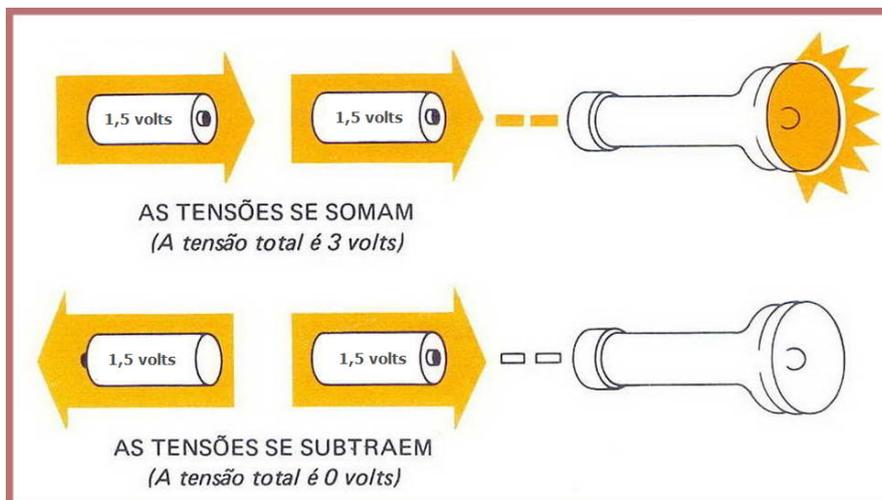


Tensão total = $E_1 - E_2 = 0$ (no caso das tensões de E_1 e E_2 serem iguais)

Se as tensões de E_1 e E_2 forem diferentes, então:

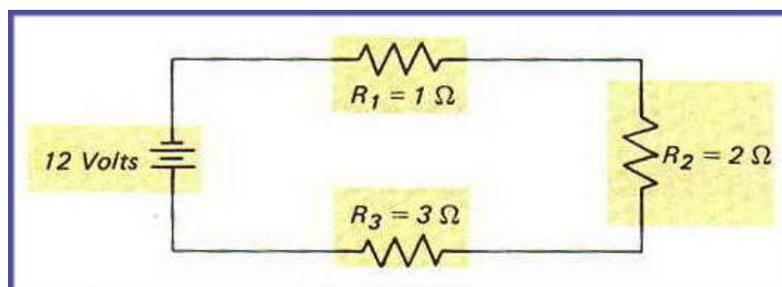
$$\text{Tensão total} = \text{tensão maior} - \text{tensão menor}$$

Na figura acima é mostrada uma ligação em série em "oposição".



Consumo de potência (potência dissipada) em um circuito série:

Tomemos como exemplo o circuito abaixo:



O primeiro passo é conhecer a corrente total do circuito.

Corrente total = E/R , onde R é a resistência total (R_{TOT}) ou (R_T)

Resistência total = $1 + 2 + 3 = 6$ ohms

Corrente total (I_T) = $12/6 = 2$ ampères

A potência dissipada pelo circuito pode ser calculada multiplicando-se a tensão aplicada (tensão da fonte) pela corrente total do circuito.

$$P = E.I$$
$$P = 12.2 = 24 \text{ watts}$$

Como em um circuito em série a corrente é a mesma para todos os componentes do circuito, podemos calcular a potência em cada um dos resistores:

$$P = R.I^2$$

Potência em $R_1 = 1 \times 2 \times 2 = 4$ watts

Potência em $R_2 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ watts

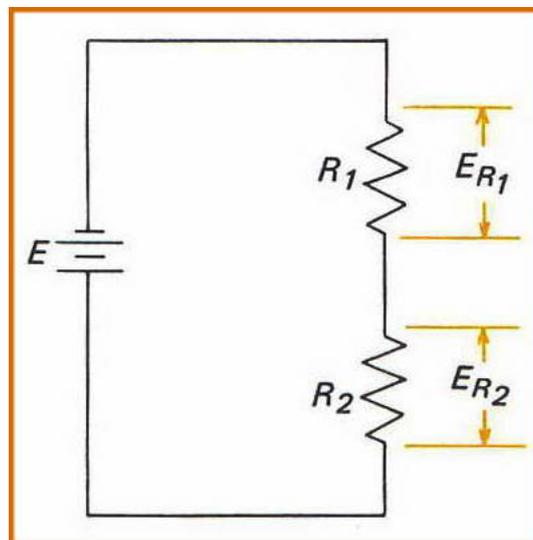
Potência em $R_3 = 3 \times 2 \times 2 = 12$ watts

A soma individual das potências nos dá também a potência total do circuito.

$$P = 4 + 8 + 12 = 24 \text{ watts}$$

Queda de tensão nas cargas:

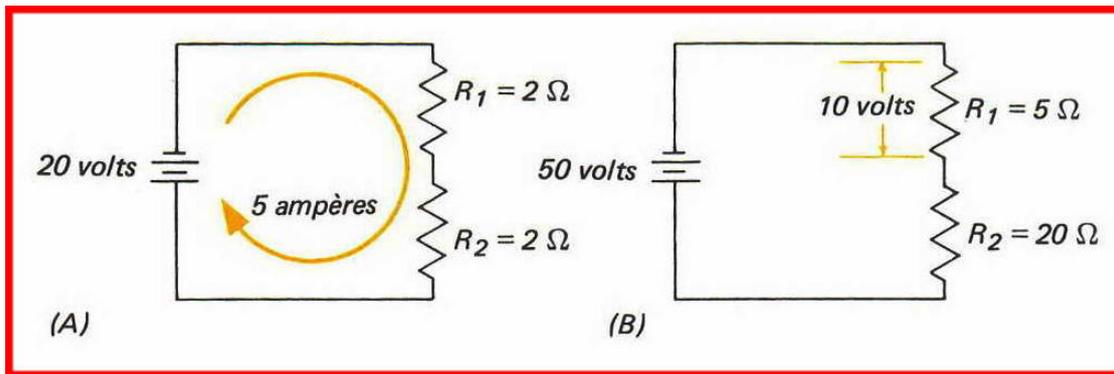
O circuito abaixo mostra que a tensão nas cargas se divide proporcionalmente de acordo com o valor ôhmico dos resistores. Se os resistores tiverem valores iguais, então as tensões E_{R1} e E_{R2} serão iguais, correspondentes à metade do valor de E .



A tensão E é igual da soma das tensões em cada resistor, portanto, $E = E_{R1} + E_{R2}$.

A fonte de tensão "E" sofre quedas de tensão através dos resistores. Essa queda de tensão pode ser interpretada como uma perda de energia do fluxo de elétrons, pois cada resistor dissipa energia em forma de calor. É bom lembrar que toda a energia dissipada em forma de calor pelos resistores é considerada como "energia perdida".

O circuito a seguir mostra como proceder ao cálculo das tensões e das potências dissipadas em cada resistor.



No circuito A, a queda de tensão em cada um dos resistores é de 10V, pois em virtude dos mesmos terem o mesmo valor ôhmico, a tensão se divide entre eles.

Assim: $E_{R1} = E_{R2} = 20/2 = 10$ volts.

No circuito B, por terem valores ôhmicos diferentes devemos proceder ao cálculo aplicando a Lei de Ohm.

1. Determinando a resistência total: $R_T = 5 + 20 = 25$ ohms
2. Determinando a corrente total: $I_T = 50/25 = 2$ ampères
3. A partir daí podemos calcular a tensão em cada resistor:

$$E_{R1} = 2 \times 5 = 10 \text{ volts}$$

$$E_{R2} = 2 \times 20 = 40 \text{ volts}$$

4. A soma das tensões dos resistores deve ser igual ao valor da tensão na fonte:

$$\text{Tensão da fonte} = 10 + 40 = 50 \text{ volts}$$

Polaridades:

Em se tratando de corrente contínua (DC) todas as tensões tem polaridade.

Ao analisarmos um circuito DC qualquer, podemos adotar o sentido da corrente que circula pelo mesmo de duas formas:

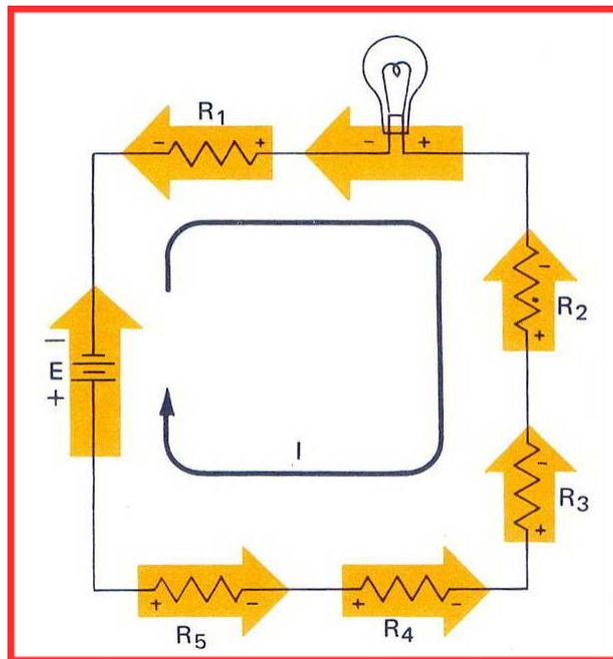
1. CORRENTE CONVENCIONAL: do "+" para o "-"
2. CORRENTE REAL: do "-" para o "+"

Pouco importa o sentido da corrente adotado: *O RESULTADO É O MESMO*, ou seja, a soma das tensões individuais dos resistores deve ser igual a tensão da fonte.

Outro aspecto importante a ser considerado é que, as quedas de tensão se opõem à tensão da fonte.

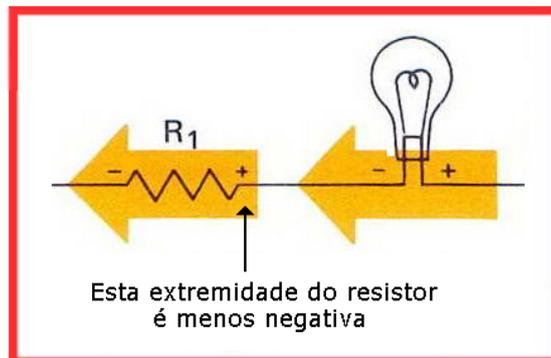
O circuito mostrado na figura a seguir mostra o sentido da corrente real, indo do negativo para o positivo.

Observe o sentido das setas.



Tomemos como exemplo R1. A ponta da seta indica polaridade negativa, ou seja, na extremidade da seta teremos uma tensão menos negativa devido a queda da tensão provocada pelo resistor R1.

Essa tensão menos negativa é representada pelo sinal "+".



Observe então que no circuito o sentido da seta da tensão "E" é oposto às setas que representam as tensões nos resistores.

Para melhor esclarecer a figura a seguir mostra o circuito montado em um simulador virtual, supondo:

- E = 100 volts
- R1 = 10 ohms
- R2 = 20 ohms
- R3 = 15 ohms
- R4 = 50 ohms
- R5 = 80 ohms
- L-1 = 10W/12V

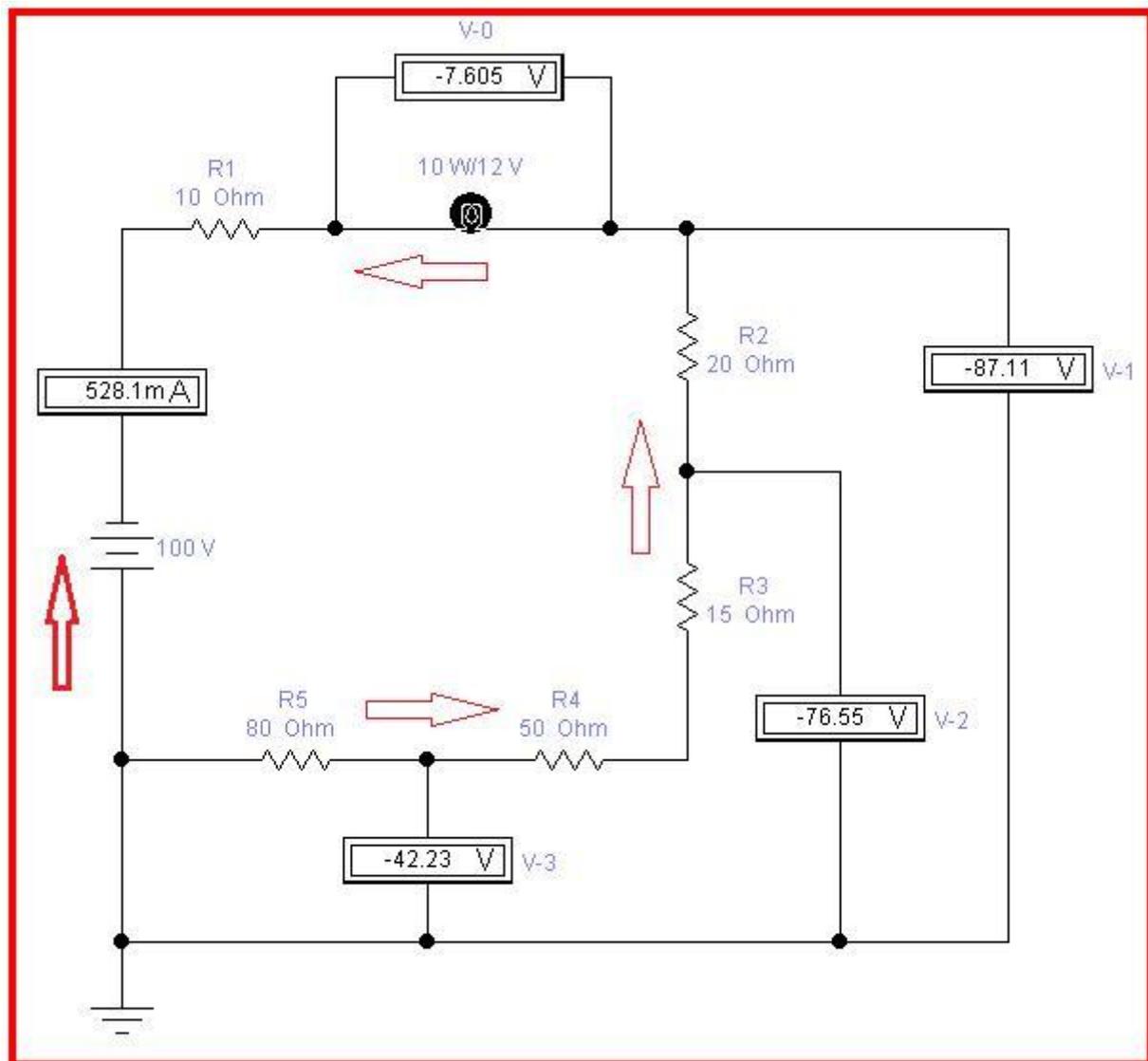
Para calcular a resistência total do circuito, devemos conhecer a resistência do filamento da lâmpada.

Usando a fórmula: $P = E^2/R$

$$R = E^2 / P$$
$$R = 12 \times 12 / 10$$
$$R = 144 / 10 = 14,4 \text{ ohms}$$

A resistência total do circuito é: $10 + 14,4 + 20 + 15 + 50 + 80 = 189,4 \text{ ohms}$

A corrente total do circuito é: $100/189,4 = 0,52798 \text{ ampères}$



Temos como corrente total mostrada no amperímetro: 528,1mA. A partir daí, podemos calcular a queda de tensão em cada componente.

$$\text{Tensão em R1} = 527,98\text{mA} \times 10 \text{ ohms} = 5,28\text{V}$$

$$\text{Tensão em L-1} = 527,98\text{mA} \times 14,4 \text{ ohms} = 7,60\text{V}$$

$$\text{Tensão em R2} = 527,98\text{mA} \times 20 \text{ ohms} = 10,56\text{V}$$

$$\text{Tensão em R3} = 527,98\text{mA} \times 15 \text{ ohms} = 7,92\text{V}$$

$$\text{Tensão em } R_4 = 527,98\text{mA} \times 50 \text{ ohms} = 26,4\text{V}$$

$$\text{Tensão em } R_5 = 527,98\text{mA} \times 80 \text{ ohms} = 42,24\text{V}$$

Somando as tensões em cada resistor e na lâmpada devemos ter o valor da tensão da fonte, ou seja, 100 volts.

Conferindo:

$$\text{Tensão total } (E_{\text{TOT}}) = 5,28 + 7,60 + 10,56 + 7,92 + 26,4 + 42,24 = 100,00 \text{ volts, ou seja, } 100\text{V}$$

Observe que as medidas nos voltímetros V-1, V-2 e V-3 vão se tornando menos negativas, à medida que nos aproximamos do referencial (terra).

Conferindo:

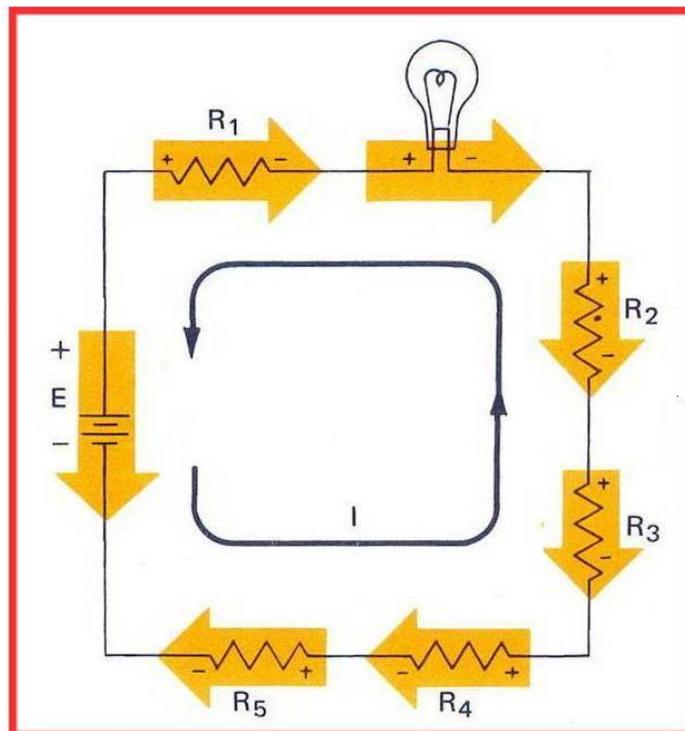
$$1. \text{ tensão lida em V-1} = -100 - (-5,28) - (-7,60) = -100 (+5,28 + 7,60) = -87,12 \text{ volts; leitura no voltímetro igual a } (-87,11 \text{ volts})$$

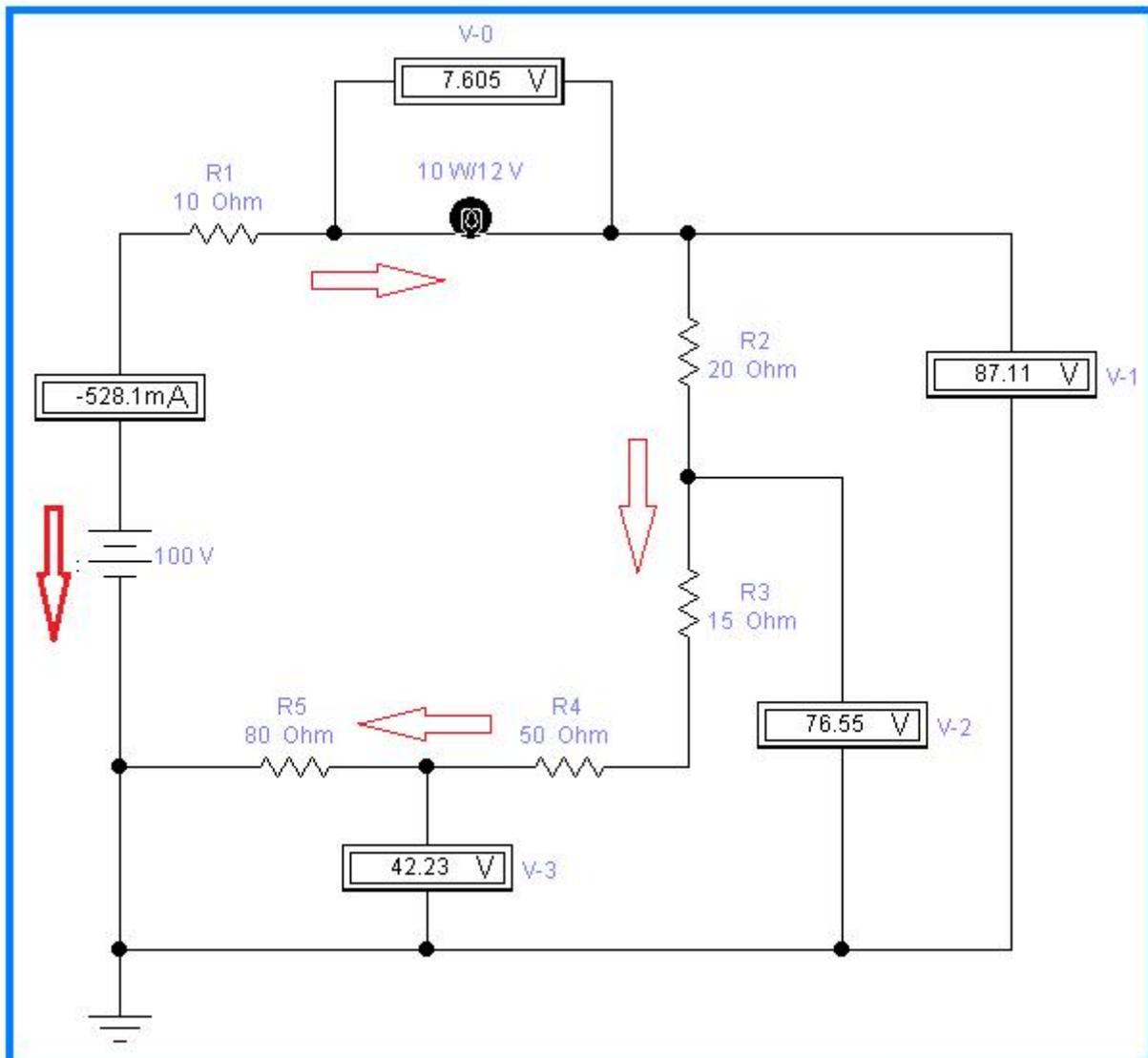
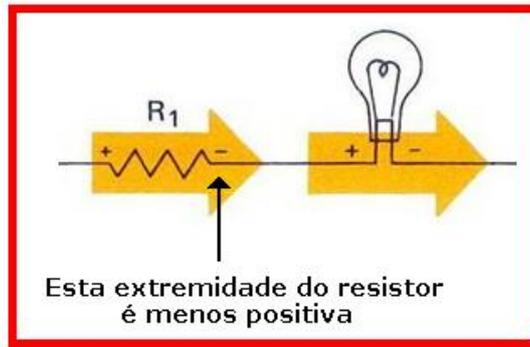
$$2. \text{ tensão lida em V-2} = -100 - (-5,28) - (-7,60) - (-10,56) = -100 (+5,28+7,60+10,56) = -76,56 \text{ volts; leitura no voltímetro igual a } (-76,55 \text{ volts})$$

$$3. \text{ tensão lida em V-3} = -100 - (-5,28) - (-7,60) - (-10,56) - (-7,92) - (-26,4) = -100 (+5,28+7,60+10,56+7,92+26,4) = -42,24 \text{ volts; leitura no voltímetro igual a } (-42,23 \text{ volts})$$

Observe que a tensão da fonte (100 volts) se opõe às tensões dos componentes, daí então a obtenção das equações acima.

Ao se inverter a polaridade da fonte "E", o sentido de corrente muda, mas os valores não mudam.





Como a tensão da fonte teve a sua polaridade invertida, a equação deve ser assim escrita.

$$E_{TOT} = 100 - 5,28 - 7,60 - 10,56 - 7,92 - 26,4 - 42,24 = 0$$

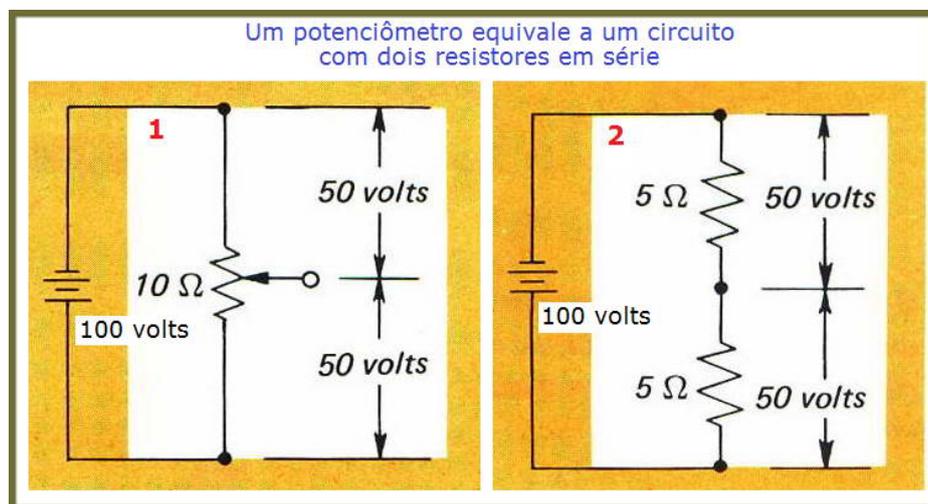
Assim, para saber a tensão lida no voltímetro V-2, por exemplo, podemos escrever:

$$Tensão\ lida\ em\ V-2 = 100 - 5,28 - 7,60 - 10,56 = 76,56\ volts$$

Diferente da análise anterior se observa agora que, as medidas nos voltímetros V-1, V-2 e V-3 vão se tornando menos positivas, à medida que nos aproximamos do referencial (terra).

O circuito do potenciômetro:

Um potenciômetro pode ser equiparado a um circuito em série, formado basicamente por dois resistores.



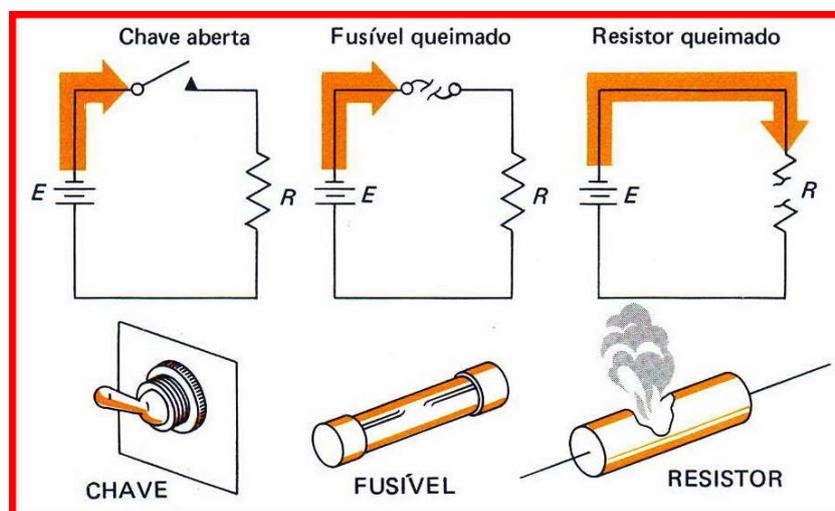
A resistência total de um potenciômetro pode ser dividida em 2 resistores em série de quaisquer valores, de forma a se obter diferentes quedas de tensão.

O ponto de referência é o cursor central: se este estiver na posição média, os dois resistores serão iguais, conforme mostra a figura acima.

O potenciômetro passa a ser muito útil quando desejamos obter uma gama grande de valores ôhmicos na carga.

Circuitos abertos:

Como sabemos, um circuito deve apresentar um caminho completo para o fluxo de corrente, de um terminal para outro da fonte.



Um circuito pode ser aberto deliberadamente por uma chave, sendo este o método mais comum.

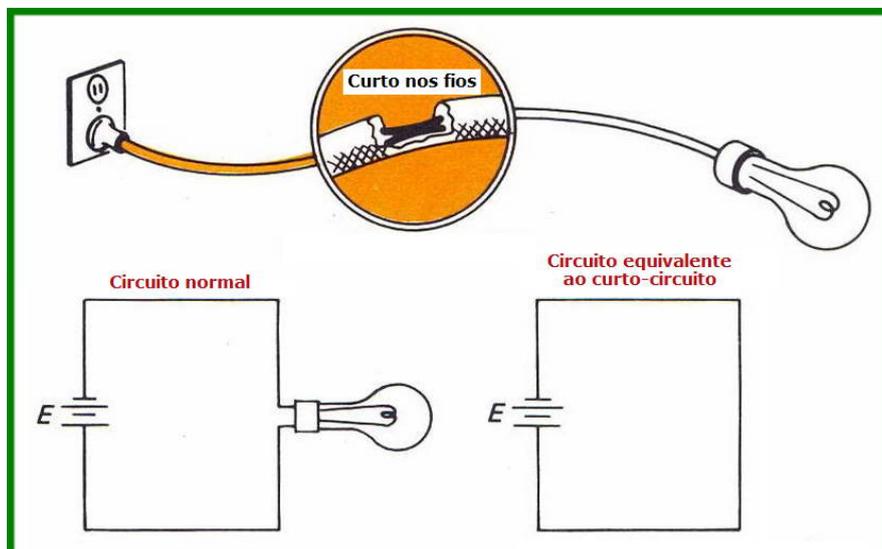
No entanto um circuito pode abrir como consequência de um defeito, como fio quebrado, fusível aberto ou resistor queimado.

Não havendo corrente em um circuito em série aberto, não haverá também tensão nas cargas, tendo como consequência um consumo de potência nulo.

Curto-circuito:

Em um circuito podemos dizer que a resistência é o único elemento que se opõe à passagem da corrente. Se essa resistência se anular subitamente, ocorrerá uma corrente extremamente alta, podendo colocar em risco o circuito e principalmente a fonte de alimentação.

Essa corrente extremamente alta, que pode tender momentaneamente ao infinito, chama-se *corrente de curto-circuito*.



A figura acima mostra o circuito equivalente de uma condição de curto-circuito, onde se observa que a fonte acaba por operar contando apenas com a resistência ôhmica do fio.

Circuitos de proteção:

FUSÍVEL: sua função é abrir o circuito, para evitar que altas correntes o danifiquem.

Existem vários tipos de fusíveis, mas a finalidade de todos é abrir o circuito no caso de corrente excessiva.

A grande maioria dos fusíveis consiste basicamente de um pedaço de condutor o algum tipo de elemento mole, que pode entrar em fusão no caso de correntes altas.

São vários os tipos de materiais usados para a sua fabricação, dependendo de sua capacidade nominal.

Todos os fusíveis, de qualquer tipo, são danificados quando são operados, isto é, precisam ser substituídos, o que implica que deve ser mantido um estoque de fusíveis para eventuais reposições.

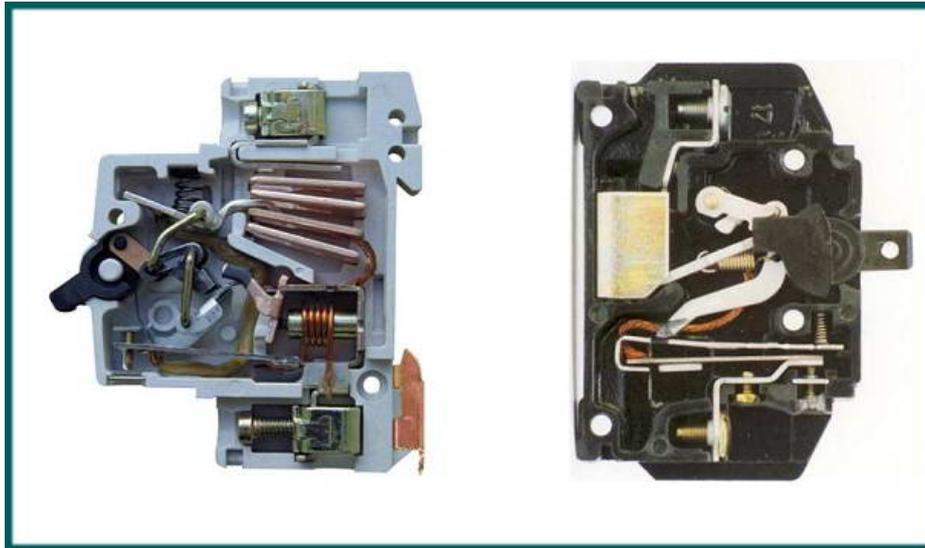


DISJUNTOR: Basicamente possui a função de um fusível, com a vantagem de que não precisam ser substituídos quando entram em operação.



A figura acima ilustra disjuntores muito utilizados na proteção de instalações elétricas prediais e residenciais.

Veja na figura a seguir o aspecto interno de um disjuntor.



TIPOS DE DISJUNTORES:

1. Disjuntores eletromagnéticos ou magnéticos:

Uma corrente elétrica que percorre um condutor elétrico gera um campo magnético essa lei do eletromagnetismo nos permite dimensionar uma bobina que quando atingida por uma forte corrente elétrica desloca um contato seccionando assim um circuito, esse é o princípio de funcionamento do disjuntor magnético, esse efeito é instantâneo o que garante uma incrível precisão a este disjuntor.

Sua grande vantagem é a precisão e a possibilidade de proteger contra curtos circuitos em contrapartida tem um preço mais elevado.

2. Disjuntores térmicos:

Os disjuntores térmicos funcionam através da deformação de uma lâmina bi metálica, quando ocorre uma sobre carga e a corrente elétrica neste disjuntor é maior que a aceitável, a lâmina bi metálica se aquece por efeito joule e começa a se deformar.

Essa deformação age diretamente sobre um contato que em um determinado nível de deformação se abre.

A vantagem do disjuntor térmico é ser um componente mecanicamente simples e robusto, desta maneira é um componente relativamente barato, em contrapartida sua desvantagem é não possuir uma grande precisão de corrente de seccionamento e ser usada apenas para aquecimentos de longo prazo, não sendo possível o seu uso para proteção contra curto-circuitos.

3. Disjuntores termomagnéticos:

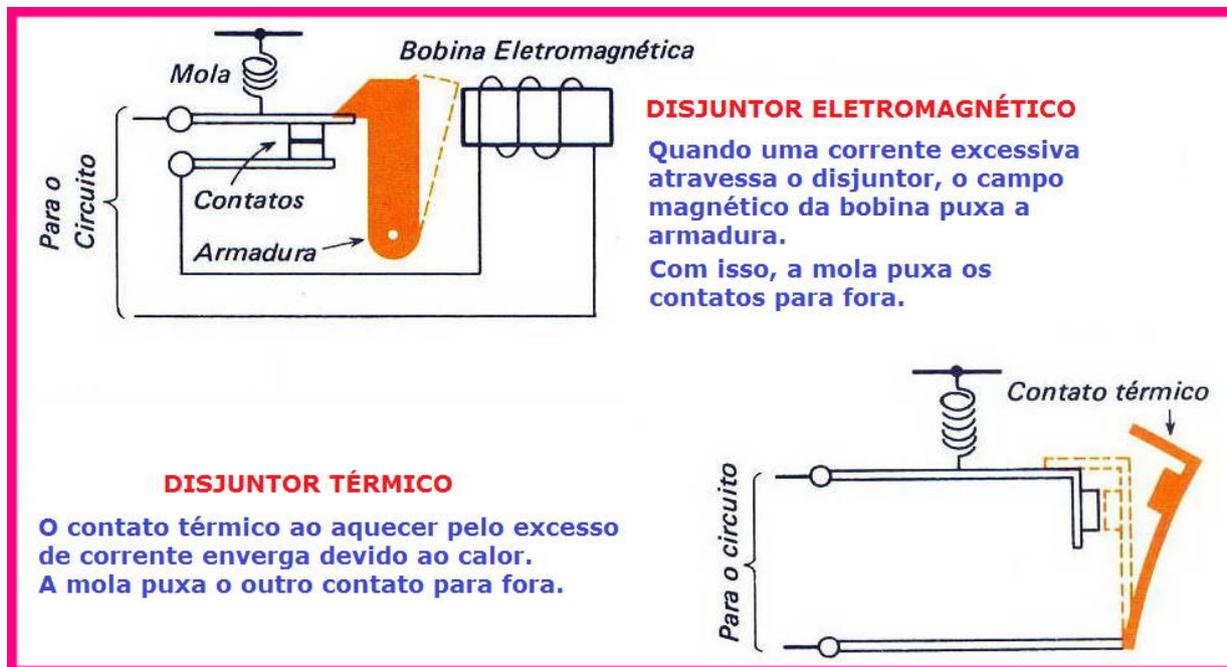
Este tipo de disjuntor é uma combinação da proteção térmica e magnética, sendo muito utilizado atualmente nas instalações elétricas residências, comerciais e industriais.

Possui as vantagens de poder ser usado para manobras de ligar e desligar os circuitos, proteção contra aquecimentos e curtos circuitos.

Os disjuntores possuem diversas faixas de correntes de interrupção bem como os métodos de fixação que são padronizados por normas técnicas. Da mesma forma a sua

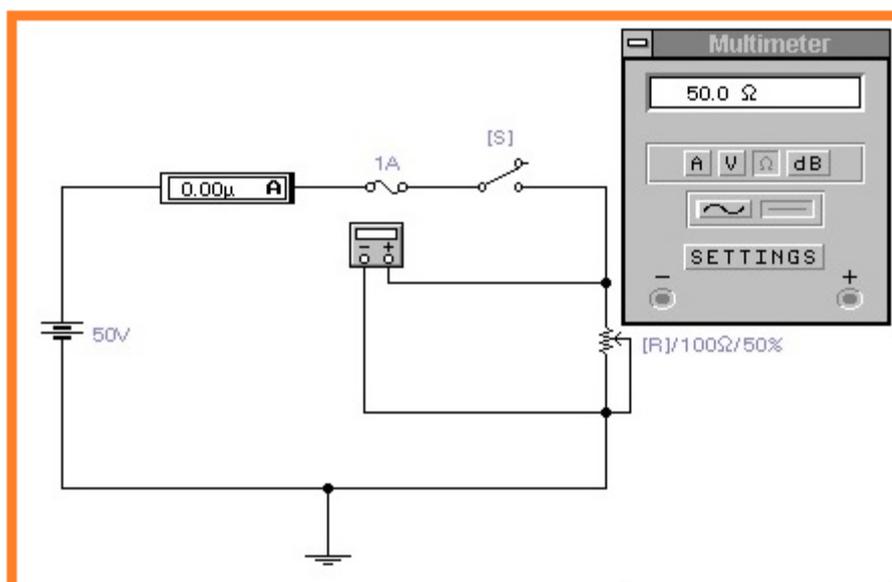
fabricação e padrões de segurança, são também padronizados por normas nacionais e internacionais. Vale ressaltar que disjuntor é sinônimo de segurança e desta forma não pode haver dúvidas para o eletricitista quanto o correto dimensionamento bem como sua correta instalação.

A figura a seguir ilustra um diagrama de dois tipos de disjuntores muito utilizados.



Exercícios resolvidos:

1. No circuito abaixo, qual deve ser o menor valor que o reostato deve ser ajustado para que a corrente no circuito não ultrapasse 1 ampère e queime o fusível?

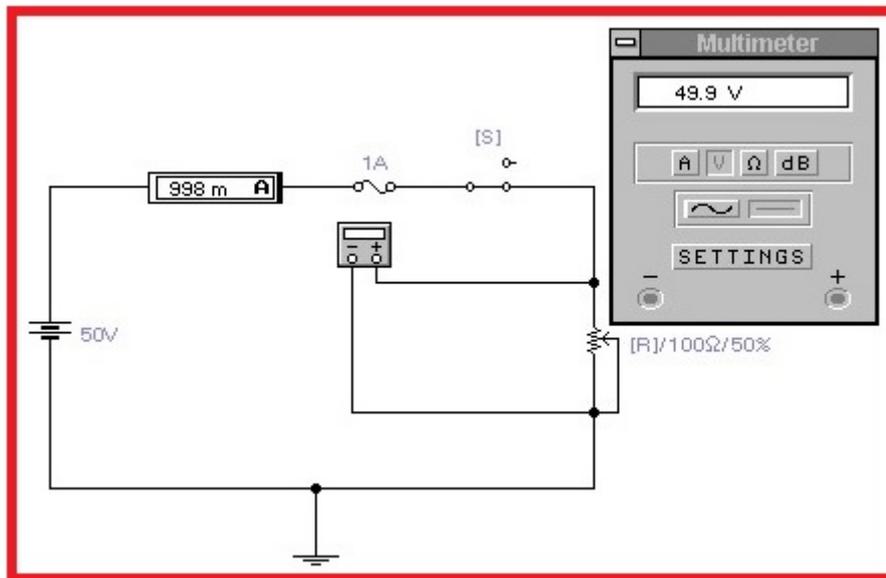


O circuito é alimentado com uma tensão de 50 volts e tem como carga um reostato de 100 ohms, ajustado para uma resistência de 50 ohms.

A corrente que circulará pelo circuito será então:

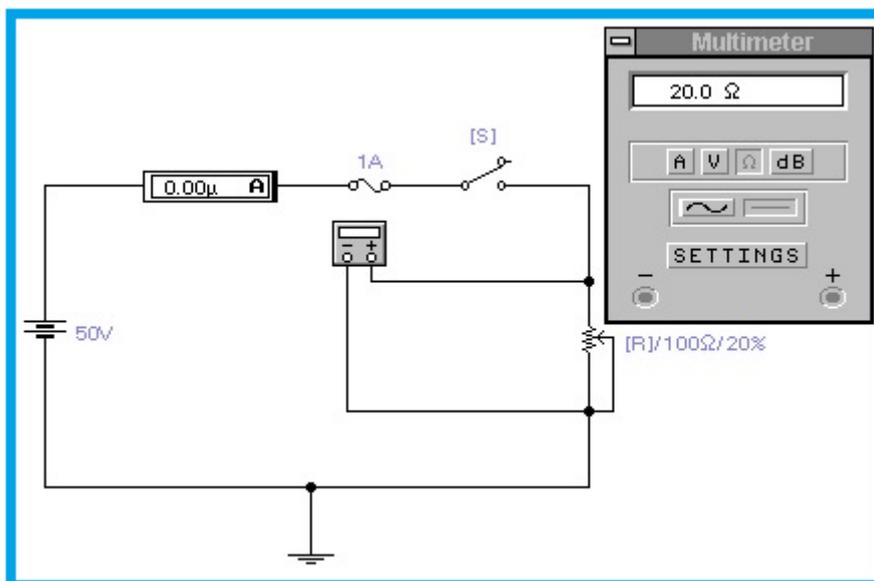
$$I = E/R$$
$$I = 50/50 = 1 \text{ ampère}$$

Ao acionar a chave "S" verifica-se que a corrente no circuito não ultrapassa o limite da corrente nominal do fusível.



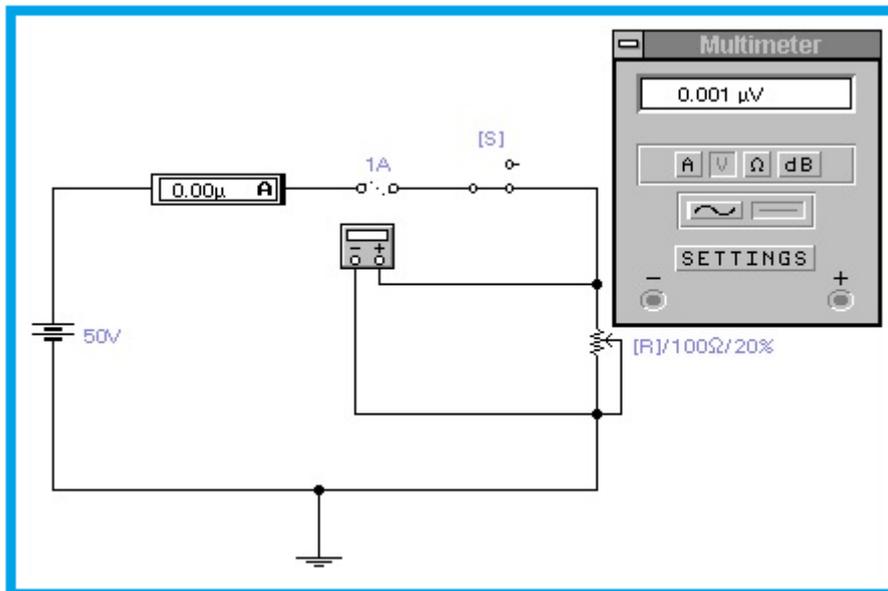
Ajustando o valor do reostato para 20 ohms, e calculando a corrente que deverá circular pelo circuito:

$$I = E/R$$
$$I = 50/20 = 2,5 \text{ ampères}$$

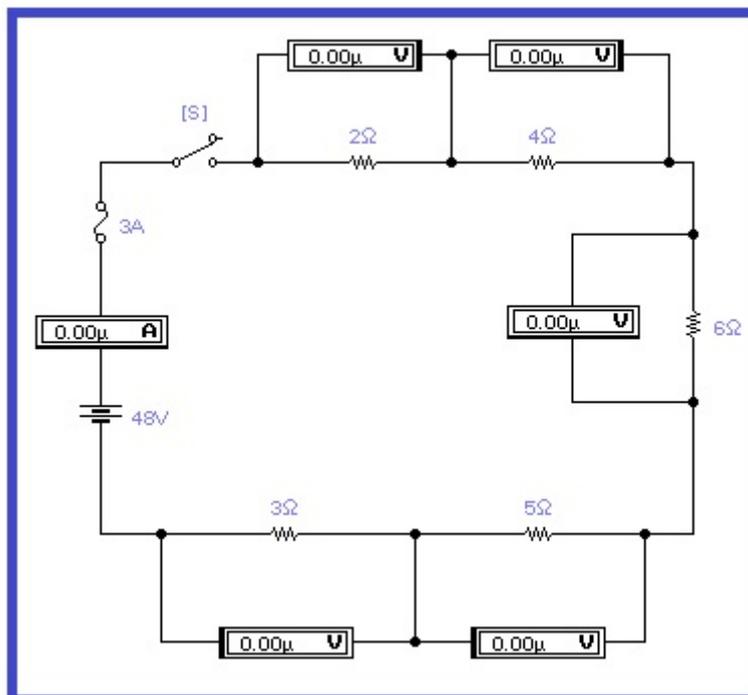


Não resta dúvida de que, quando a chave "S" for acionada a corrente de 2,5 ampères provocará a queima do fusível.

Nestas condições a corrente pelo circuito será nula.



2. No circuito abaixo, calcular a queda de tensão em cada um dos resistores.



a) Cálculo da R_T (resistência total)

$$R_T = 2 + 4 + 6 + 5 + 3 = 20 \text{ ohms}$$

b) Cálculo de I_T (corrente total)

$$I_T = 48/20 = 2,4 \text{ ampères}$$

Cálculo da tensão em cada resistor

$$E_{R1} = 2 \times 2,4 = 4,8 \text{ volts}$$

$$E_{R2} = 4 \times 2,4 = 9,6 \text{ volts}$$

$$ER3 = 6 \times 2,4 = 14,4 \text{ volts}$$

$$ER4 = 5 \times 2,4 = 12 \text{ volts}$$

$$ER5 = 3 \times 2,4 = 7,2 \text{ volts}$$

c) A soma das tensões em cada resistor deve ser igual ao valor da tensão da fonte

$$\text{Tensão fornecida} = 4,8 + 9,6 + 14,4 + 12 + 7,2 = 48 \text{ volts.}$$

d) a potência fornecida pela fonte será:

$$PT (\text{potência total}) = 48 \times 2,4 = 115,2 \text{ watts}$$

e) A soma das potências dissipadas em cada resistor deverá ser igual a potência total

$$PR1 = E \cdot I = 4,8 \times 2,4 = 11,52 \text{ watts}$$

$$PR2 = E \cdot I = 9,6 \times 2,4 = 23,04 \text{ watts}$$

$$PR3 = E \cdot I = 14,4 \times 2,4 = 34,56 \text{ watts}$$

$$PR4 = E \cdot I = 12 \times 2,4 = 28,8 \text{ watts}$$

$$PR5 = E \cdot I = 7,2 \times 2,4 = 17,28 \text{ watts}$$

f) Somando as potências individuais dos resistores, temos:

$$\text{Potência total} = 11,52 + 23,04 + 34,56 + 28,8 + 17,28 = 115,2 \text{ watts}$$

Veja na figura abaixo as tensões em cada resistor, bem como a corrente total.

