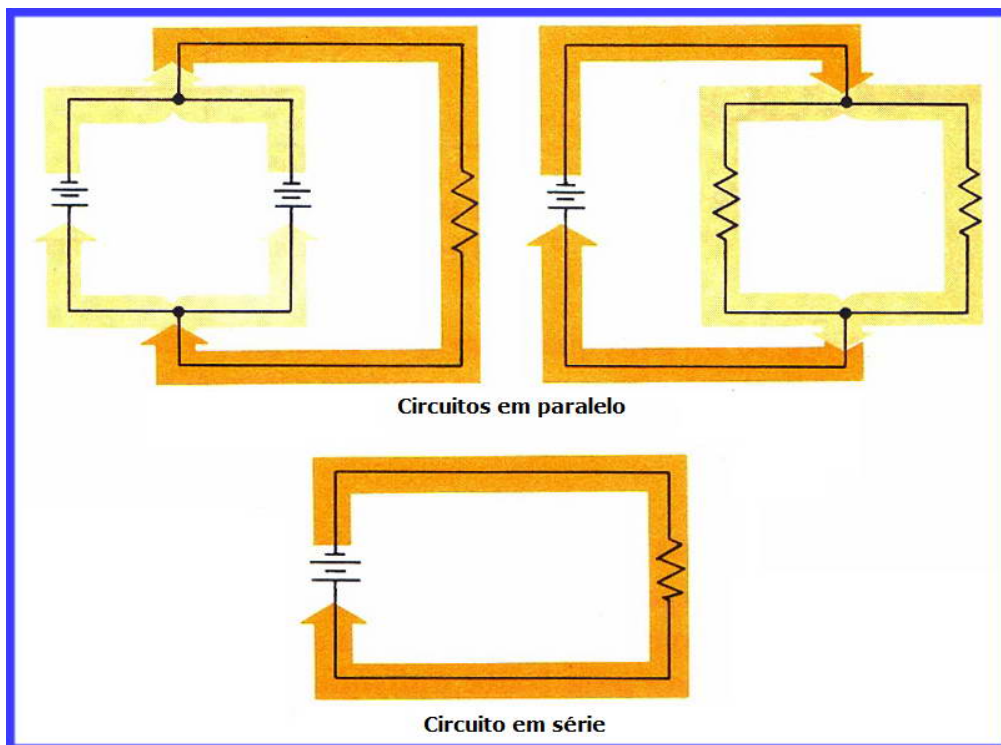


# CIRCUITOS EM PARALELO

## CIRCUITOS MISTOS (SÉRIE-PARALELO)

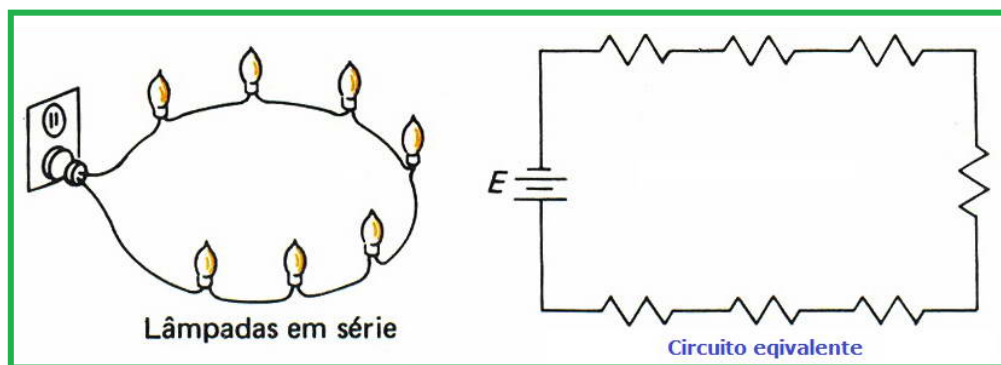
Ao contrário dos circuitos em série, em que a corrente é a mesma em qualquer um dos pontos do circuito, no circuito em paralelo a corrente se divide entre vários pontos de um circuito.



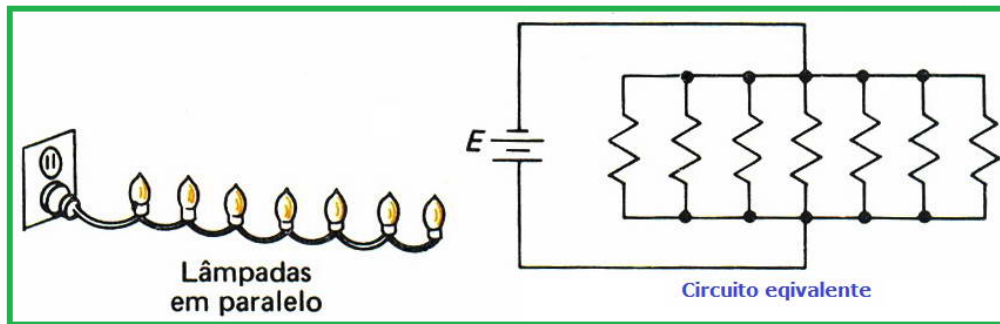
Observe na figura mostrada acima que temos duas condições para um circuito em paralelo: fontes em paralelo ou cargas (resistores) em paralelo.

A figura abaixo mostra um circuito formado por lâmpadas ligadas em série.

Se uma das lâmpadas queimar, o circuito será interrompido, não havendo passagem de corrente.



No circuito abaixo, as lâmpadas estão ligadas em paralelo. Se uma das lâmpadas queimar, as demais permanecerão acesas, portanto, não há interrupção no circuito.

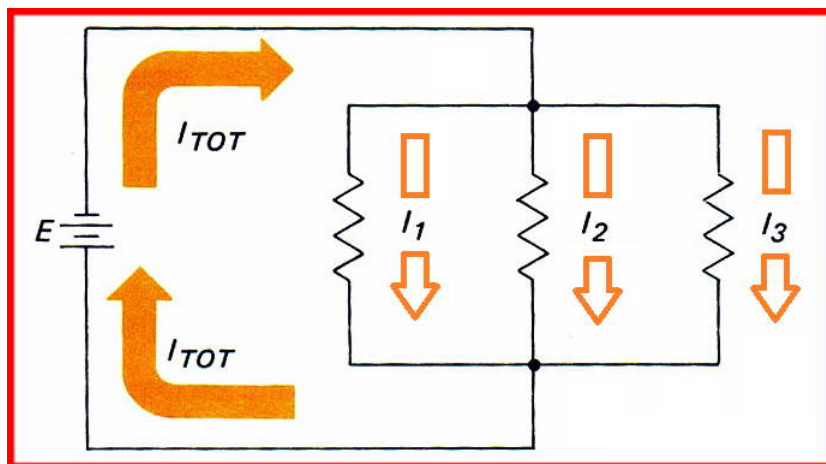


*CIRCUITO PARALELO: é aquele em que existe um ou mais pontos onde a corrente se divide e segue caminhos diferentes.*

Devido a isso os valores das correntes podem variar bastante, dependendo da resistência das cargas.

### Corrente nas cargas em paralelo:

Enquanto na associação em série a corrente é a mesma para todas as cargas, na associação em paralelo essas correntes se dividem, conforme ilustra a figura a seguir.



A corrente total ( $I_{TOT}$ ) é a soma das correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ .

Os valores das correntes dependerão dos valores ôhmicos das resistências.

Por exemplo, se:

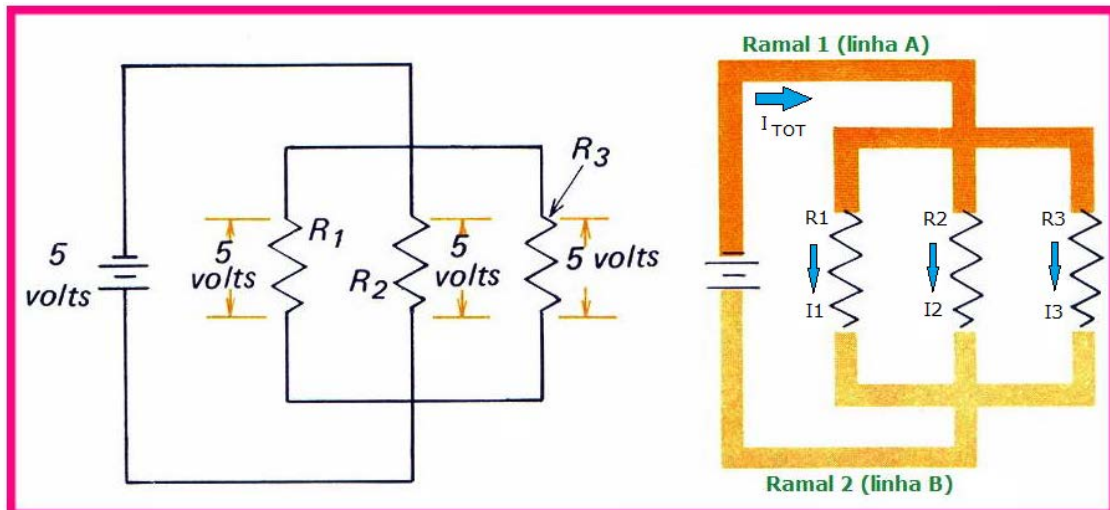
$$I_1 = 1A$$

$$I_2 = 0,2 A$$

$$I_3 = 0,5A$$

$$I_{TOT} = 1 + 0,2 + 0,5 = 1,7 \text{ ampères}$$

### Tensão nas cargas em paralelo:



Conforme ilustra a figura acima, o circuito é alimentado por uma tensão DC de 5 volts.

Observa-se então que os resistores R1, R2 e R3 estarão submetidos à mesma tensão, ou seja, 5 volts.

Supondo:

$$R1 = 2 \text{ ohms}$$

$$R2 = 1 \text{ ohm}$$

$$R3 = 2,5 \text{ ohms}$$

Podemos calcular a corrente em cada resistor:

$$IR1 = E/R1 = 5/2 = 2,5 \text{ ampères}$$

$$IR2 = E/R2 = 5/1 = 5 \text{ ampères}$$

$$IR3 = E/R3 = 5/2,5 = 2 \text{ ampères}$$

A corrente total será então:  $2,5 + 5 + 2 = 9,5$  ampères

Assim, na linha A e na linha B, teremos uma corrente de 9,5 ampères

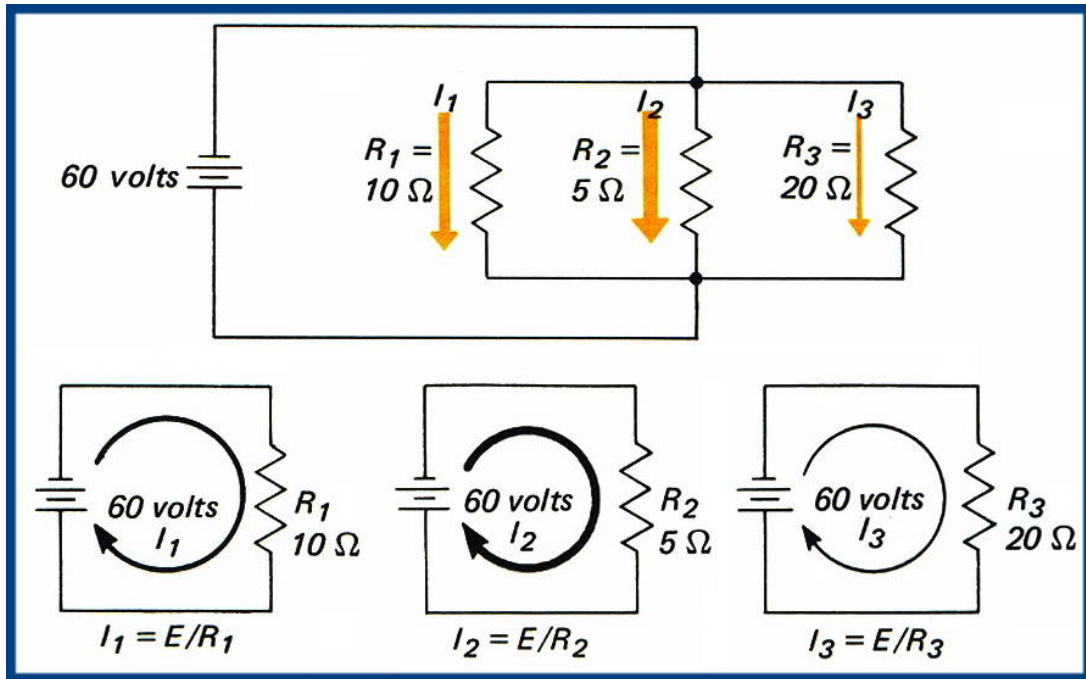
**Resumindo:** Em um circuito em paralelo a tensão nas cargas é a mesma, porém, as correntes se dividem proporcionalmente ao valor da resistência ôhmica de cada uma das cargas.

O circuito mostrado a seguir é outro exemplo de como calcular as correntes em cada um dos ramos de um circuito em paralelo, lembrando que a corrente total é a soma das correntes individuais.

Consideremos então uma fonte de tensão de 60 volts que alimenta 3 cargas ligadas em paralelo, formada por 3 resistores:

$$R1 = 10 \text{ ohms}, R2 = 5 \text{ ohms e } R3 = 20 \text{ ohms}$$

A princípio cada um dos ramos foi considerado um circuito série.



Então:

$$I_1 = 60/10 = 6 \text{ ampères}$$

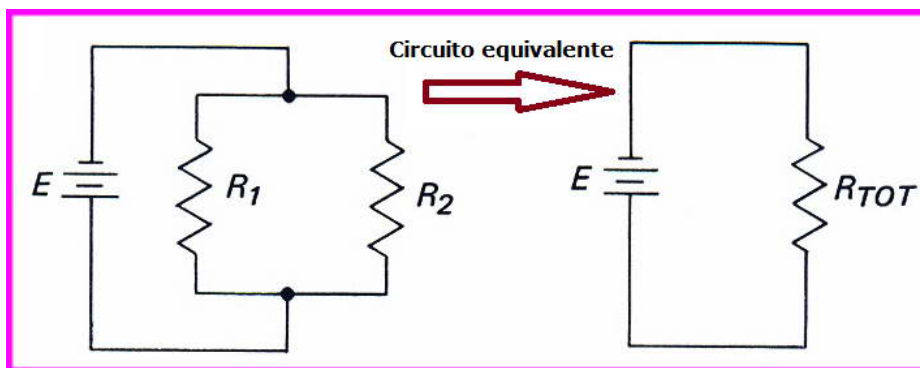
$$I_2 = 60/5 = 12 \text{ ampères}$$

$$I_3 = 60/20 = 3 \text{ ampères}$$

A corrente total será então:  $6 + 12 + 3 = 21 \text{ ampères}$

### Resistência total ou equivalente:

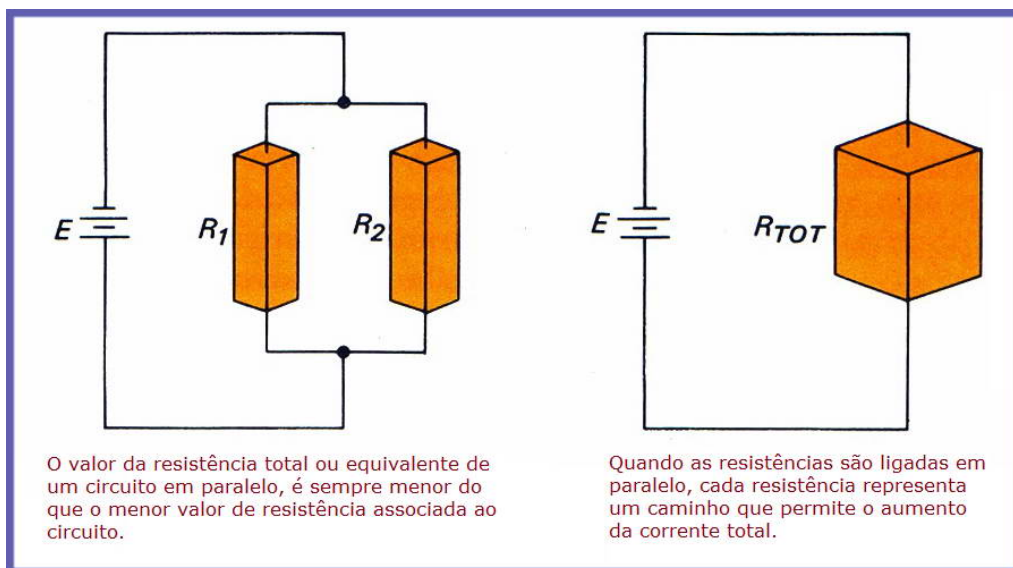
Veja na figura abaixo um circuito básico com duas resistências em paralelo, cujos valores são iguais.



O valor da resistência total ou resistência equivalente em um circuito em paralelo, ou melhor dizendo, em um circuito composto por resistências associadas em paralelo, é sempre menor do que a resistência de menor valor ôhmico que compõe o circuito.

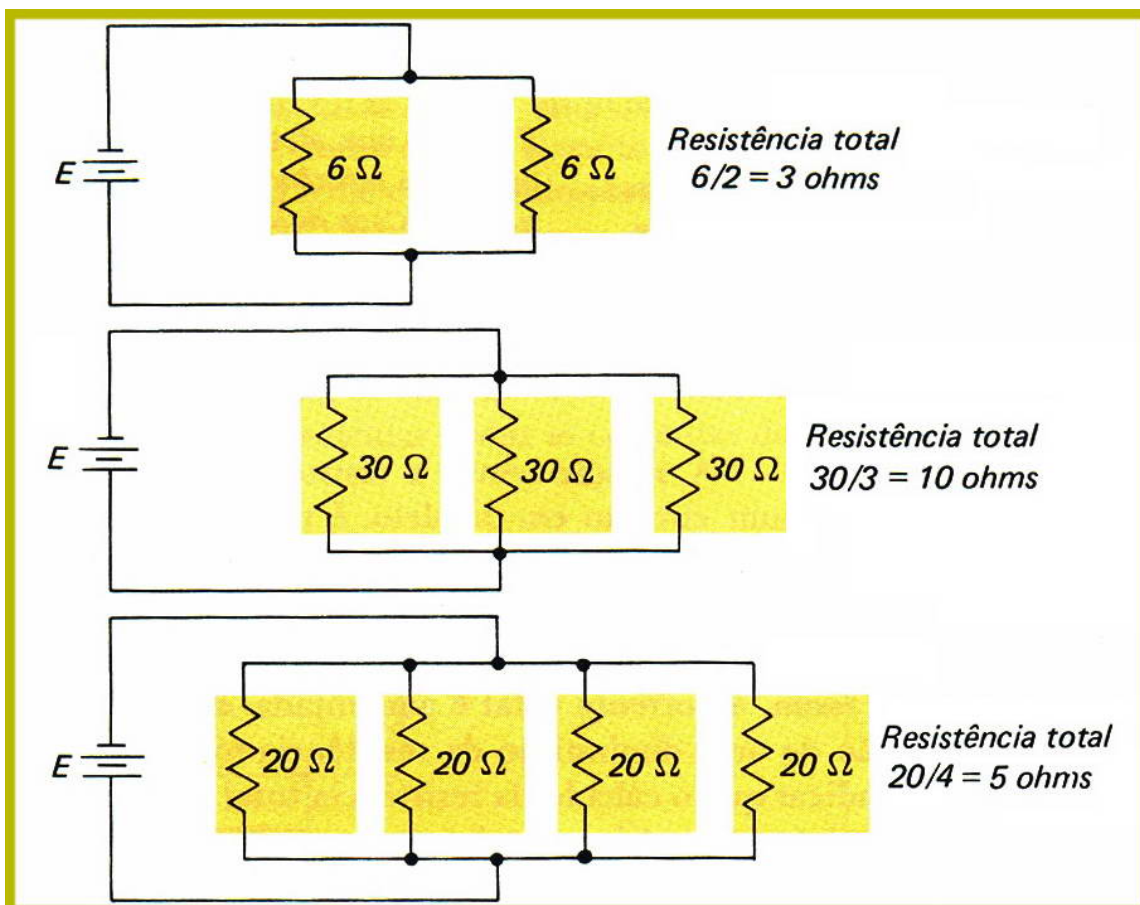
Isto significa que, ao associarmos resistências em paralelo, cada resistência apresenta um caminho à passagem da corrente.

A figura abaixo mostra um diagrama dessa condição. Observe que ao associarmos dois resistores em paralelo, o efeito é similar ao aumento da secção transversal de um fio, facilitando o caminho da corrente.



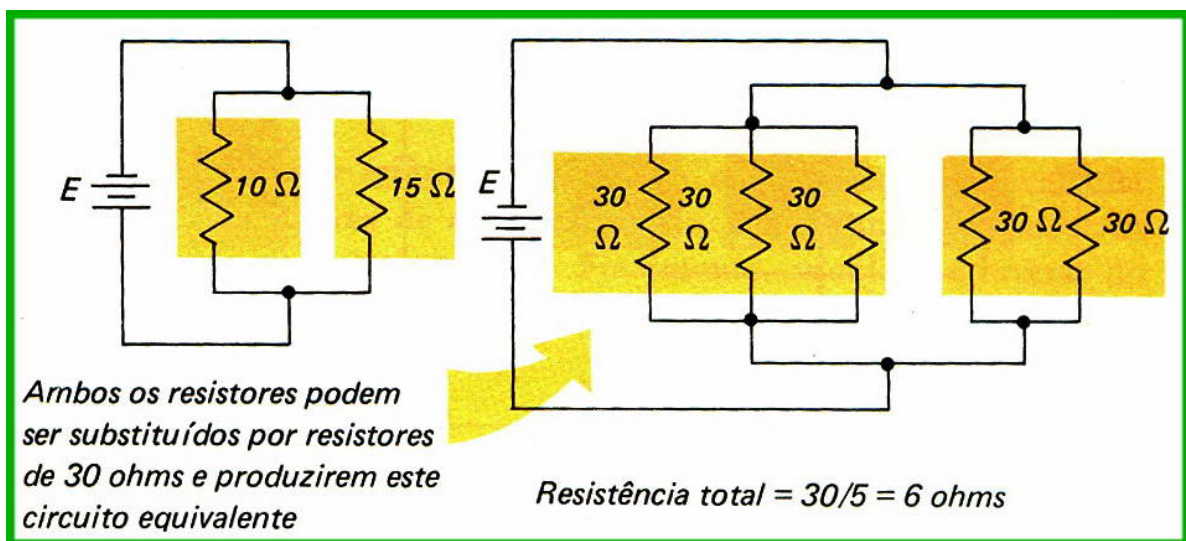
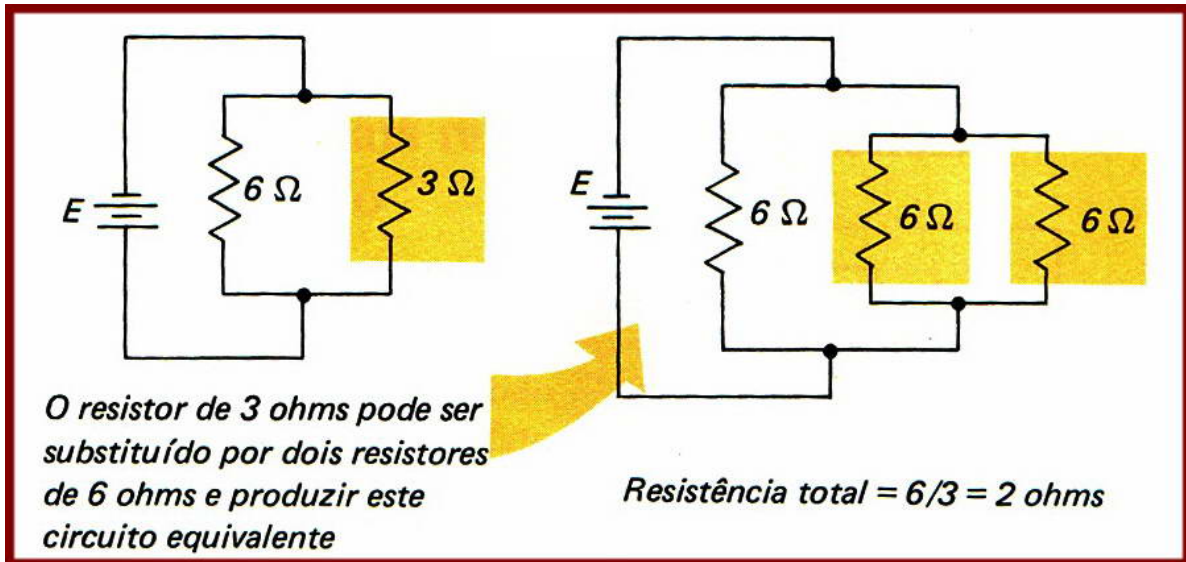
### Resistores em paralelo com valores iguais:

Veja nas figuras a seguir as condições de equivalência entre resistores de valores iguais que são associados em paralelo.



Quando as resistências forem de mesmo valor, basta dividir o valor de uma delas pela quantidade de resistores da associação.

As figuras a seguir mostram a equivalência entre associação de resistores em paralelo de valores iguais, múltiplos entre si.



### Associação em paralelo de dois resistores de valores diferentes:

Quando associamos em paralelo dois resistores de valores diferentes a resistência total é dada pela fórmula:

$$\text{Resistência total} = \frac{\text{Produto}}{\text{Soma}}$$

No caso de 2 resistores em paralelo,  $R_1$  e  $R_2$ , teremos:

$$R_{TOT} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

Se  $R1 = 10$  ohms e  $R2 = 5$  ohms

$$\text{Resist\ancia total} = (10 \times 5) / (10 + 5)$$

$$\text{Resist\ancia total} = 50 / 15 = 3,33 \text{ ohms}$$

Observe que a resist\ancia total ou equivalente \e menor do que o menor valor de resist\ancia da associa\cao, ou seja, menor do que 5 ohms.

### Associa\cao em paralelo de tr\es ou mais resistores de valores diferentes:

Existe um m\etodo geral que se aplica a uma associa\cao com qualquer n\umero de resist\ancias, pouco importando se os valores s\ao iguais ou diferentes.

Esse m\etodo \e conhecido como "*m\etodo dos inversos*".

$$R_{TOT} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \dots}$$

Simplificando, temos:

$$1/R_{total} = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3 + 1/R4 \dots$$

Se por exemplo:

$$R1 = 20 \text{ ohms}$$

$$R2 = 8 \text{ ohms}$$

$$R3 = 10 \text{ ohms}$$

$$R4 = 4 \text{ ohms}$$

A resist\ancia total do circuito ser\aa:

$$1/Rt = 1/20 + 1/8 + 1/10 + 1/4$$

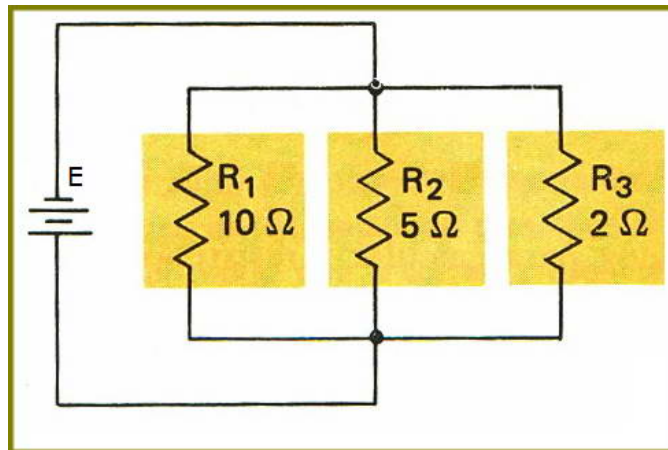
$$\text{mmc de } 20, 8, 10 \text{ e } 4 = 40$$

$$1/Rt = (2+5+4+10)/40 = 21/40$$

$$1/Rt = 21/40, \text{ logo, } Rt = 40/21 = 1,905 \text{ ohms}$$

Observa-se que a resist\ancia total ou resist\ancia equivalente \e menor do que 4 ohms, que \e o resistor de menor resist\ancia da associa\cao.

**Exemplo 1:** calcule a resistência total do circuito abaixo:



*Solução:*

$$1/R_t = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

$$1/R_t = 1/10 + 1/5 + 1/2$$

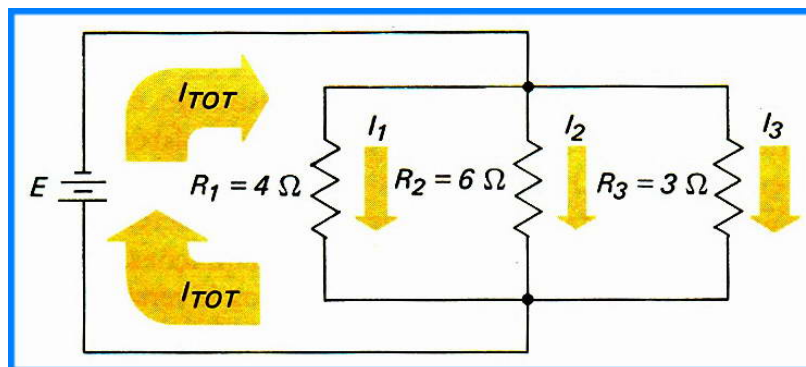
$$\text{mmc de } 10, 5 \text{ e } 2 = 10$$

$$1/R_t = (1+2+5)/10 = 8/10$$

$$1/R_t = 8/10, \text{ logo, } R_t = 10/8 = 1,25 \text{ ohms}$$

**Exemplo 2:**

Sabendo que o valor da tensão "E" é igual a 12 volts, determine a corrente total e a resistência total:



*Solução:*

$$I_1 = 12/4 = 3 \text{ ampères}$$

$$I_2 = 12/6 = 2 \text{ ampères}$$

$$I_3 = 12/3 = 4 \text{ ampères}$$

$$I_t = 3+2+4 = 9 \text{ ampères}$$



Conhecendo a corrente total do circuito podemos determinar e sua resistência total, sem a necessidade de aplicar a fórmula dos inversos.

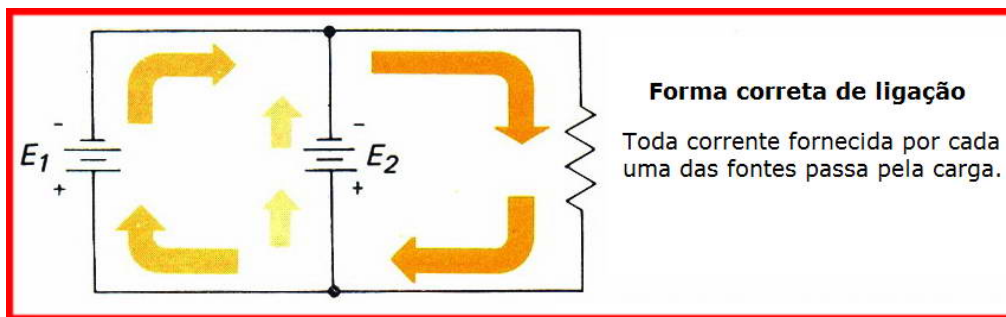
$$R_t = E/I_t$$

$$R_t = 12/9 = 1,33 \text{ ohms}$$

### Fontes de tensão em paralelo:

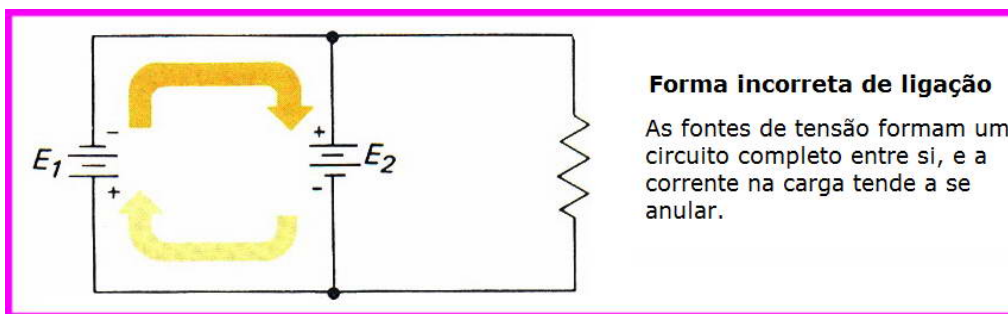
As fontes de tensão podem ser ligadas em paralelo com o objetivo de aumentar o fornecimento de corrente para o circuito.

A figura abaixo ilustra o modo correto de ligar duas fontes em paralelo, de modo que cada fonte seja responsável pelo fornecimento de parte da corrente total para a carga.



Resumindo: a ligação em paralelo de fontes aumenta a capacidade de fornecimento de corrente ao circuito.

A figura abaixo ilustra uma forma incorreta de ligação, ou seja, polaridades opostas.

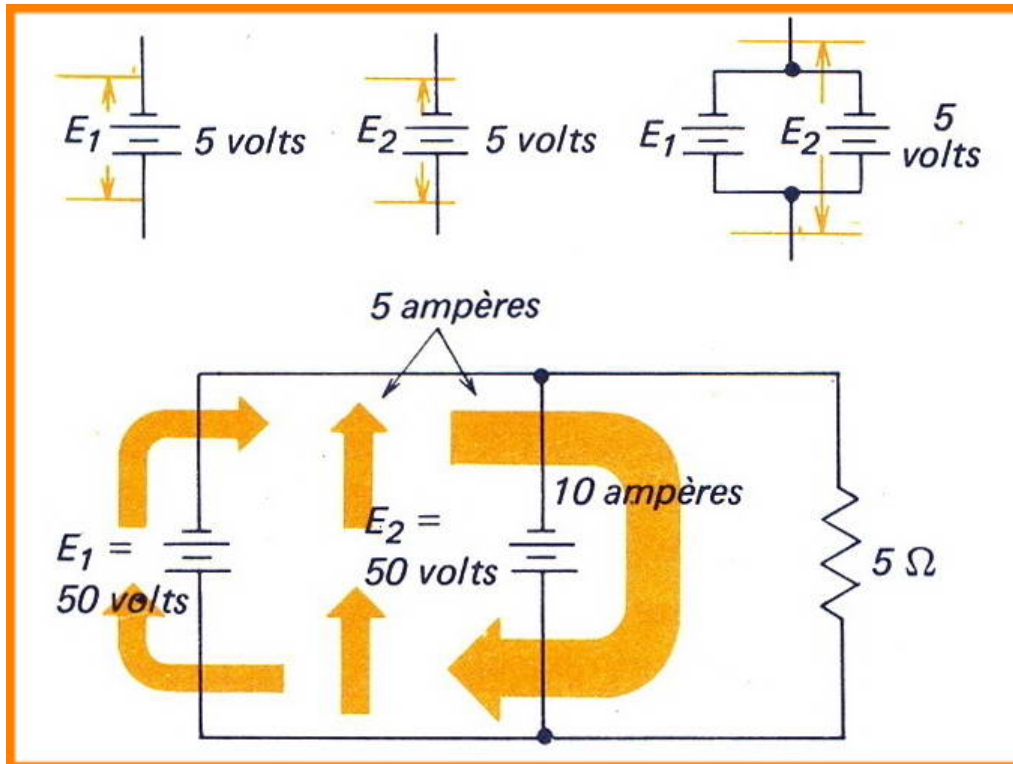


Neste caso as fontes criam um circuito independente entre si, comprometendo o fornecimento de corrente para a carga.

O circuito a seguir mostra uma carga de 5 ohms sendo alimentada por duas fontes de 50 volts.

A corrente exigida pela carga é:  $I_t = 50/5 = 10$  ampères

Sendo as duas fontes iguais, então, cada fonte fornecerá para o circuito 5 ampères, dividindo assim sua carga de trabalho.

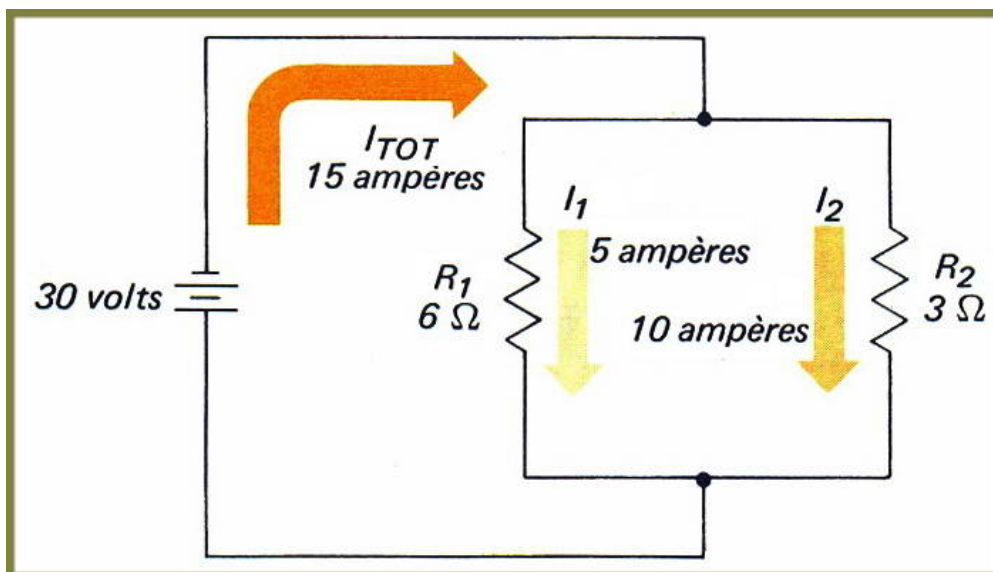


### Consumo de potência:

Vimos no circuito em série que o consumo total de potência é igual a soma das potências em cada um dos resistores.

A potência total pode ser calculada também a partir da corrente total do circuito e a tensão da fonte, ou até mesmo, a partir da resistência total do circuito.

Essas relações aplicam-se também aos circuitos em paralelo.



Tomemos como exemplo o circuito acima, onde temos:

$$R_t = (6 \times 3)/(6 + 3) = 18/9 = 2 \text{ ohms}$$

$$I_t = 30/2 = 15 \text{ ampères}$$

$$P_t = 30 \times 15 = 450 \text{ watts}$$

A corrente total também pode ser calculada através da soma das correntes em cada resistor:

$$I_{R1} = 30/6 = 5 \text{ ampères}$$

$$I_{R2} = 30/3 = 10 \text{ ampères}$$

$$I_t = 5 + 10 = 15 \text{ ampères}$$

Podemos calcular também a potência em cada resistor:

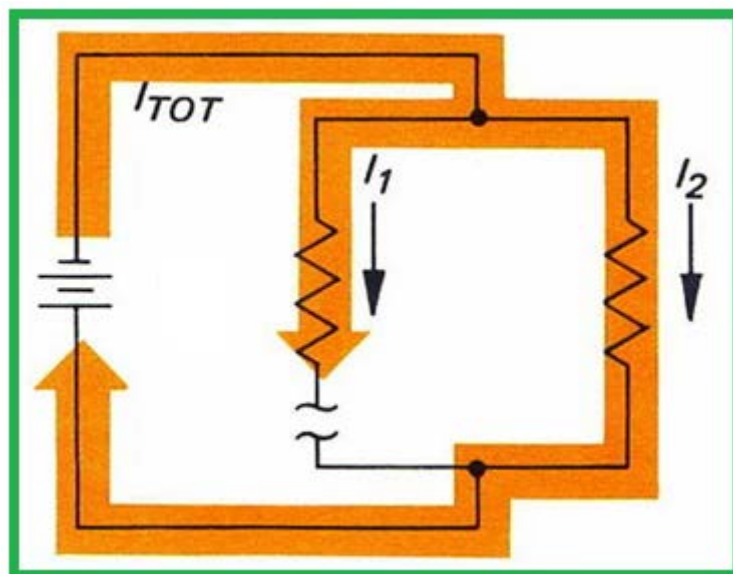
$$P_{R1} = 30 \times 5 = 150 \text{ watts}$$

$$P_{R2} = 30 \times 10 = 300 \text{ watts}$$

$$P_t = 150 + 300 = 450 \text{ watts}$$

### **Circuito aberto em uma associação em paralelo:**

O circuito abaixo mostra que se um dos resistores abrir, o circuito ainda continua em operação, circulando corrente pelo outro resistor.



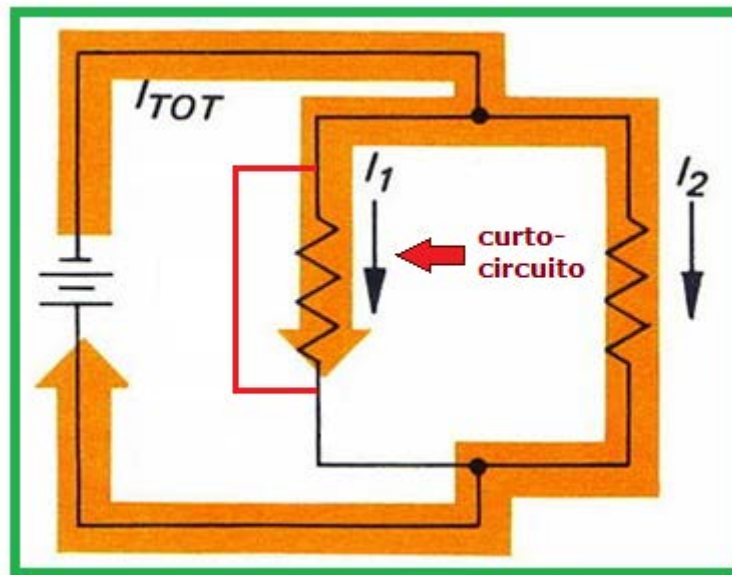
Neste caso, a corrente total está restrita a  $I_2$ , pois é o resistor que continua operando no circuito.

### **Curto-circuito em uma associação em paralelo:**

Na ocorrência de um curto-circuito em um dos ramos, a fonte de tensão enxergará uma resistência "zero" nos seus terminais.

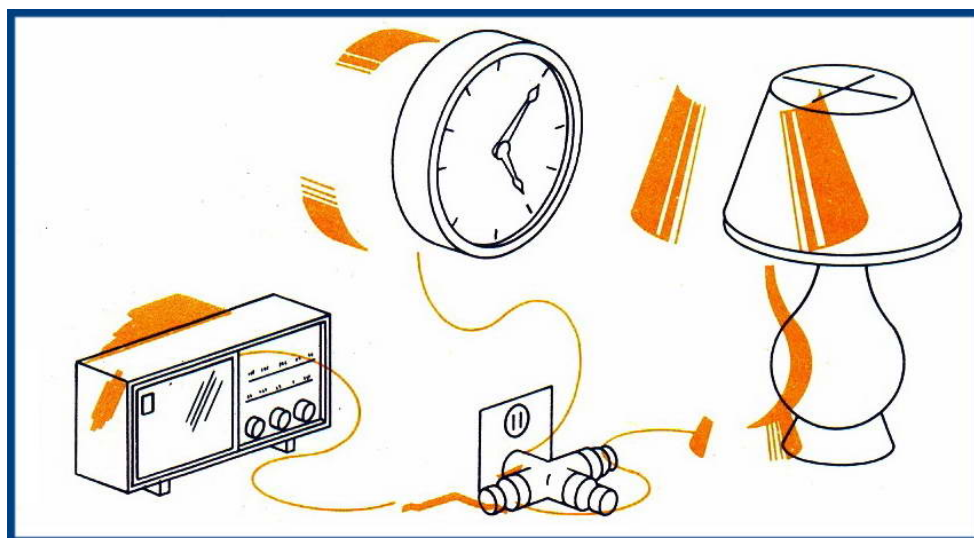
Neste caso,  $R_t = 0$

Veja a figura a seguir:



No caso de curto-circuito a corrente total será a corrente de "curto-circuito". A menos que haja um sistema de proteção, como fusível ou disjuntor, a fonte poderá ser danificada por não atender a demanda de corrente.

Quando ocorre um curto-circuito em um circuito em paralelo, os efeitos são análogos ao circuito em série, como aumento repentino da corrente, aquecimento das ligações, queima da isolação dos fios, etc.

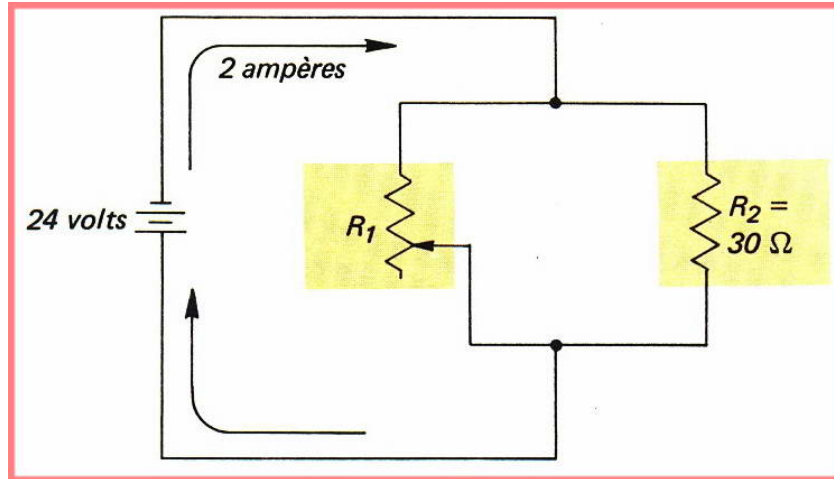


Se o abajur entrar em curto, a resistência vista nos terminais da fonte de tensão tenderá a zero pois teremos apenas a resistência da fiação.

Se não houver um circuito de proteção, ocorrerá o sobreaquecimento da fiação com riscos de incêndio.

**Problema resolvido:**

1. Calcule as correntes em R1 e R2
2. A resistência de R1
3. Calcule a resistência total do circuito



*Solução:*

1. Em se tratando de uma associação em paralelo, a tensão será a mesma nos dois resistores.

2. Cálculo da corrente IR2

$$IR_2 = 24/30 = 0,8 \text{ ampères (800mA)}$$

3. Se  $I_t = IR_1 + IR_2$ , então

$$2 = IR_1 + 0,8$$

$$IR_1 = 2 - 0,8 = 1,2 \text{ ampères}$$

**Portanto: IR1 = 1,2A e IR2 = 0,8A**

4. Resistência de R1

$$R_1 = E/IR_1$$

$$R_1 = 24/1,2 = 20 \text{ ohms}$$

5.  $R_t = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2) = (20 \times 30) / (20 + 30) = 600/50 = 12 \text{ ohms}$

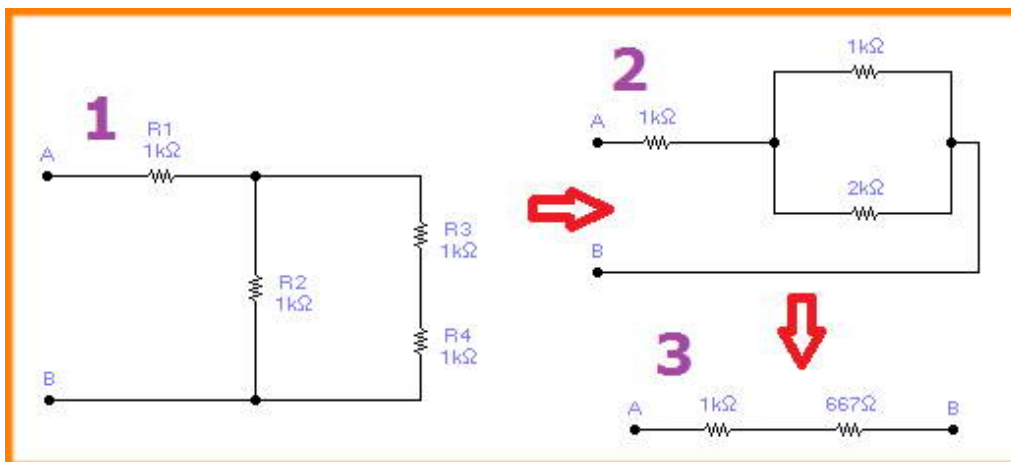
6. Ou então:

$$R_t = E/I_t$$

$$R_t = 24/2 = 12 \text{ ohms}$$

## CIRCUITOS MISTOS (SÉRIE-PARALELO)

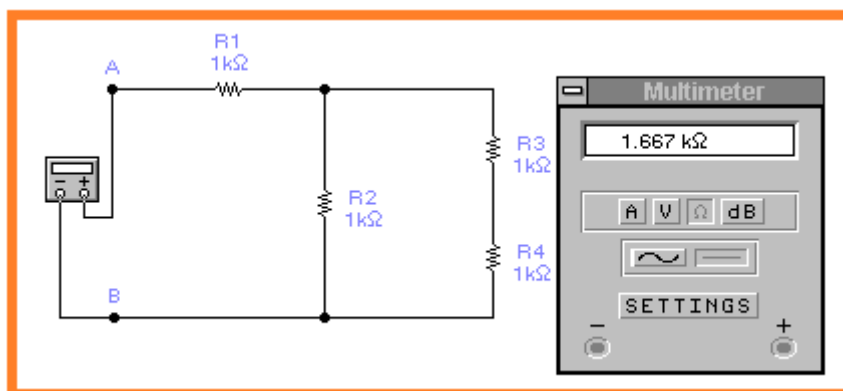
Os circuitos mistos compreendem uma combinação de circuitos em série com circuitos em paralelo, conforme ilustra a figura a seguir.



Em "1" temos o circuito original

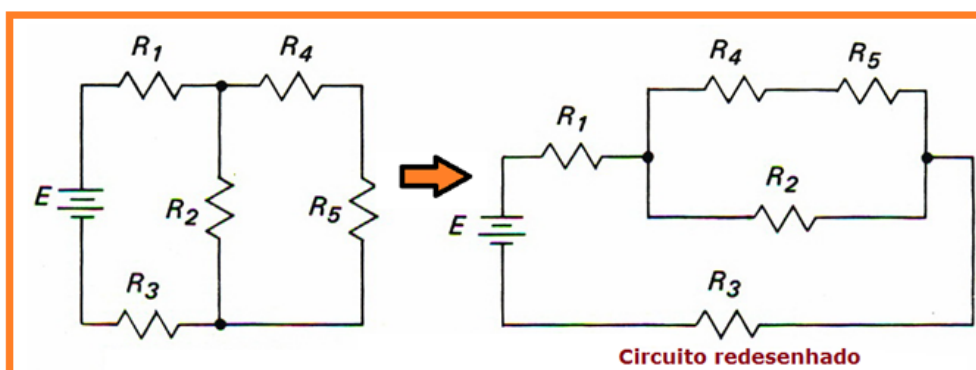
Em "2" temos o circuito redesenhado, com R2 em paralelo com R3 que está em série com R4

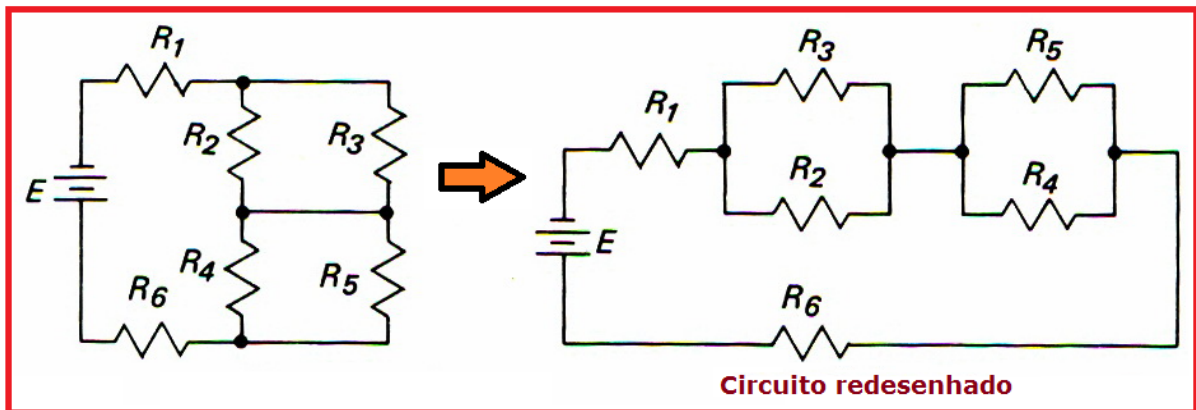
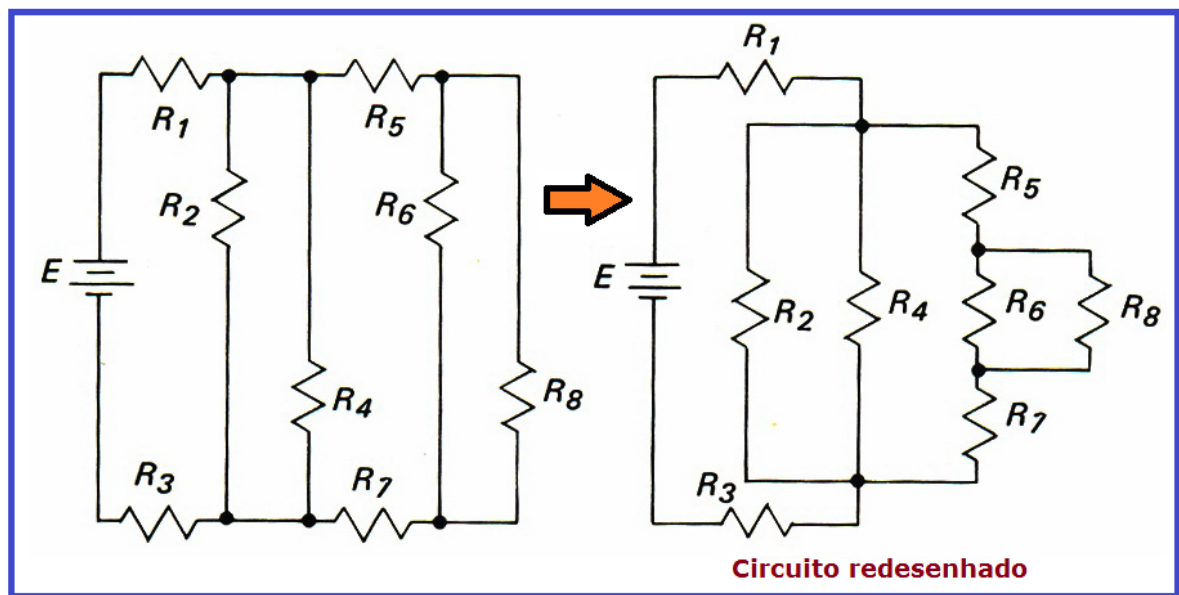
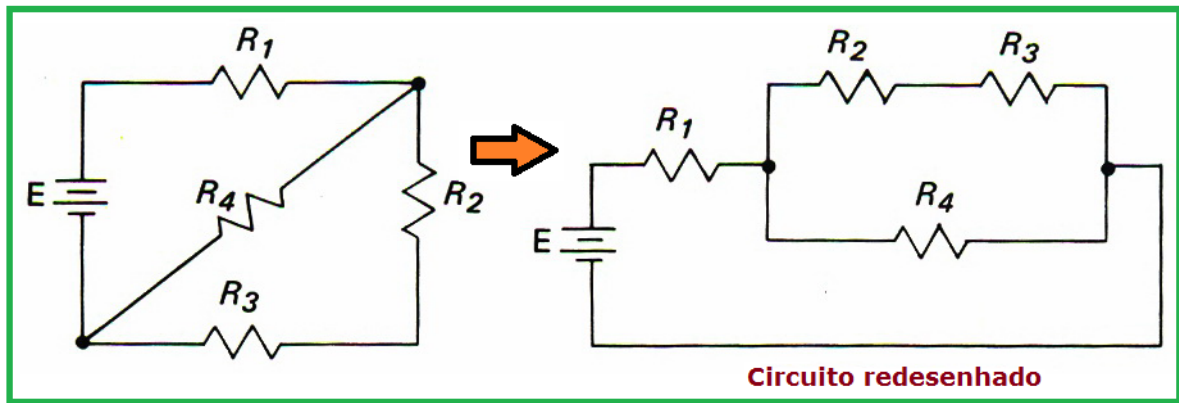
Em "3" temos o circuito equivalente final, cuja resistência é 1,667k ohms.



### Redesenhando ou modificando um circuito misto:

Muitas vezes, para melhor interpretar um circuito misto é conveniente redesenhá-lo. Veja alguns exemplos.



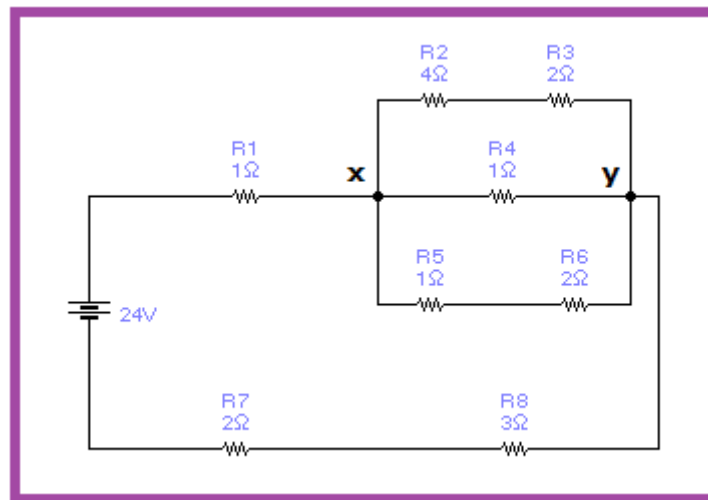


**Exercício resolvido:**

No circuito abaixo, calcule:

1. Resistência total
2. Corrente total
3. Potência dissipada pelo circuito

4. Tensão em cada resistor
5. Corrente em cada resistor



*Solução:*

1. O primeiro passo é calcular a resistência equivalente entre os pontos x e y

$$R2 + R3 = 6 \text{ ohms}$$

$$R5 + R6 = 3 \text{ ohms}$$

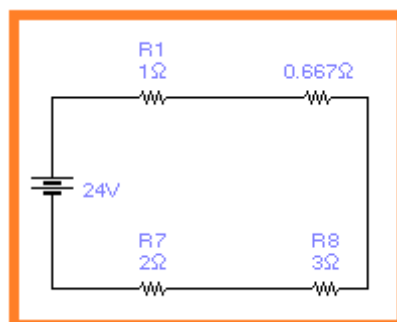
Portanto, temos  $6 // 1 // 3$  (todos em paralelo)

$$1/Rt(xy) = 1/6 + 1/1 + 1/3$$

$$\text{mmc entre } 6, 1 \text{ e } 3 = 6$$

$$1/Rt = (1 + 6 + 2)/6 = 9/6$$

$$\text{Logo, } Rt = 6/9 = 0,667 \text{ ohms}$$



2. A resistência total será:  $Rt = 1 + 0,667 + 3 + 2 = 6,667 \text{ ohms}$
3. A corrente total será:  $It = E/Rt = 24/6,667 = 3,6 \text{ ampères}$
4. A potência dissipada pelo circuito será:  $Pt = E \times It$ , então,  $P = 24 \times 3,6 = 86,4 \text{ watts}$



5. Calculando a tensão em cada resistor: sabemos que a corrente total é 3,6A e daí podemos calcular a tensão entre os pontos x e y.

A  $R_t$  entre x e y é 0,667 ohms, logo,  $E(xy) = 0,667 \times 3,6 = 2,4$  volts

Pelos resistores R1, R7 e R8 circulará uma corrente de 3,6A que é a  $I_t$ , assim distribuída:  $I_a$ ,  $I_b$  e  $I_c$ .

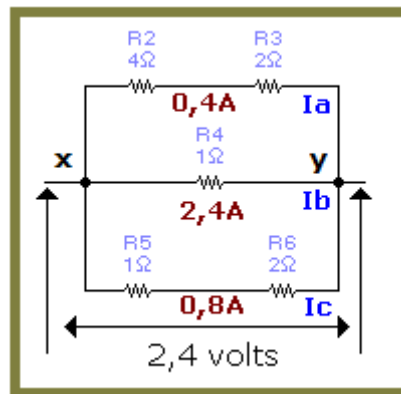
$$E_{R1} = 1 \times 3,6 = 3,6 \text{ volts}$$

$$E_{R7} = 2 \times 3,6 = 7,2 \text{ volts}$$

$$E_{R8} = 3 \times 3,6 = 10,8 \text{ volts}$$

6. Calculando a tensão nos resistores R2, R4, R5 e R6

A tensão entre os pontos x e y é 2,4 volts, então:



$$E_{R4} = 2,4 \text{ volts}$$

$$I_a = 2,4/6 = 0,4A$$

$$I_b = 2,4/1 = 2,4A$$

$$I_c = 2,4/3 = 0,8A$$

$$E_{R2} = 4 \times 0,4 = 1,6 \text{ volts}$$

$$E_{R3} = 2 \times 0,4 = 0,8 \text{ volts}$$

$$E_{R5} = 1 \times 0,8 = 0,8 \text{ volts}$$

$$E_{R6} = 2 \times 0,8 = 1,6 \text{ volts}$$

### **PROPORCIONALIDADE:**

Existe outra forma de calcular tensões e correntes em uma associação série ou paralela de resistores, conhecida como "lei da proporcionalidade".

Quando uma fonte de tensão é aplicada em uma associação em série de resistores, fica caracterizada uma divisão de tensão.

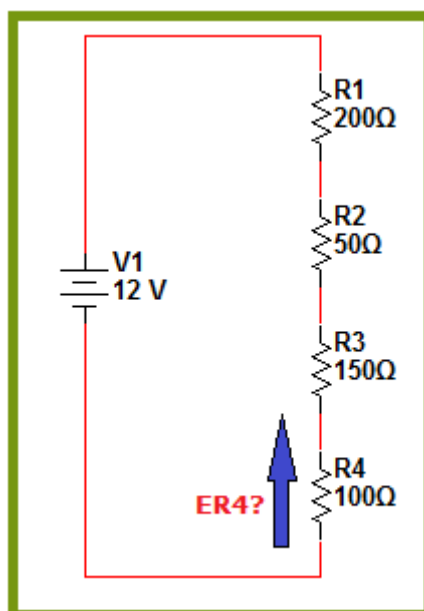
Quando uma fonte de tensão é aplicada a uma associação em paralelo de resistores, fica caracterizada uma divisão de corrente.

### Exemplo para divisor de tensão:

No circuito abaixo, determine a tensão sobre o resistor R4.

O circuito abaixo caracteriza um divisor de tensão, pois os resistores estão ligados em série e a tensão da fonte se dividirá proporcionalmente aos valores dos resistores.

É bom lembrar que no divisor de tensão (associação em série) a corrente é a mesma para todos os resistores.



*Solução:*

Resolvendo pelo método convencional:  $I_t = E/R_t$

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 200 + 50 + 150 + 100 = 500 \text{ ohms}$$

$$I_t = 12/500 = 24\text{mA}$$

$$E_{R4} = 100 \times 24\text{mA} = 2,4 \text{ volts}$$

*Resolvendo pela proporcionalidade:*

$$E_{R4} = (12 \times R_4) / (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

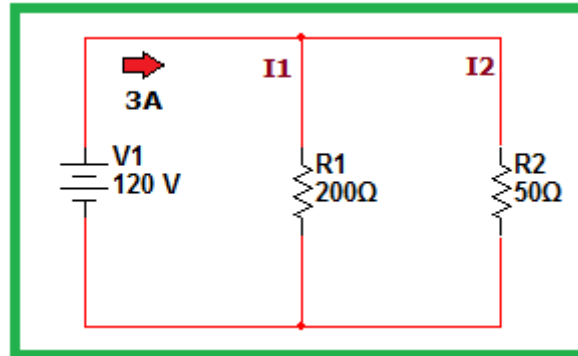
$$E_{R4} = 12 \times 100 / 500$$

$$E_{R4} = 1200 / 500 = 2,4 \text{ volts}$$

Utilizando o mesmo raciocínio, podemos determinar a queda de tensão nos demais resistores.

### Exemplo para divisor de corrente:

No circuito abaixo, calcule as correntes I1 e I2



Resolvendo pelo método convencional:

$$I1 = 120/200 = 0,6 \text{ ampères}$$

$$I2 = 120/50 = 2,4 \text{ ampères}$$

Resolvendo pela proporcionalidade:

$$I1 = It \times R2 / R1 + R2$$

$$I1 = 3 \times 50 / 250$$

$$I1 = 150 / 250 = 0,6 \text{ ampères}$$

$$I2 = It \times R1 / R1 + R2$$

$$I2 = 3 \times 200 / 250$$

$$I2 = 600 / 250 = 2,4 \text{ ampères}$$

*OBS: A aplicação da lei da proporcionalidade para resolução de divisores de corrente (associação em paralelo) somente tem praticidade quando são associados apenas dois resistores.*

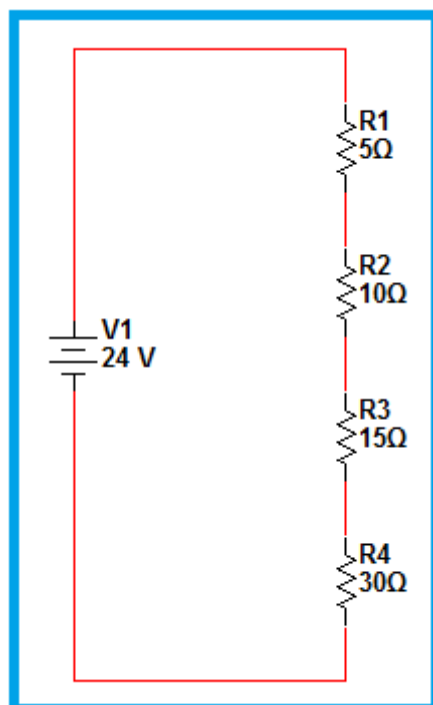
### Exercício resolvido:

Utilizando o método da propriedade da proporcionalidade, calcule a tensão em cada um dos resistores no circuito a seguir:

*Solução:*

O circuito é um divisor de tensão, logo, as tensões nos extremos dos resistores serão proporcionais ao valor do mesmo.

Em sendo um divisor de tensão, caracteriza-se então uma associação em série de resistores, onde a corrente total "It" será a mesma para todo o circuito. Daí então basta dividir a tensão nos extremos de qualquer resistor pelo valor da sua resistência e teremos a corrente total.



$$R1 + R2 + R3 + R4 = 60 \text{ ohms}$$

Observe que 60 ohms é a resistência total do circuito.

$$ER1 = E \times R1 / 60 = 24 \times 5 / 60 = 2 \text{ volts}$$

$$ER2 = E \times R2 / 60 = 24 \times 10 / 60 = 4 \text{ volts}$$

$$ER3 = E \times R3 / 60 = 24 \times 15 / 60 = 6 \text{ volts}$$

$$ER4 = E \times R4 / 60 = 24 \times 30 / 60 = 12 \text{ volts}$$

A soma das tensões dos resistores é igual a tensão da fonte, ou seja, 24 volts.

Para calcular a corrente total, basta dividir a queda de tensão em qualquer um dos resistores pelo seu valor, que teremos a corrente total.

Vejamos:

$$IR4 = It = 12 / 30$$

$$It = 0,4 \text{ ampères ou } 400\text{mA}$$

$$IR2 = It = 4 / 10$$

$$It = 0,4 \text{ ampères ou } 400\text{mA}$$

A figura a seguir ilustra o circuito com os valores de tensão a corrente.

