

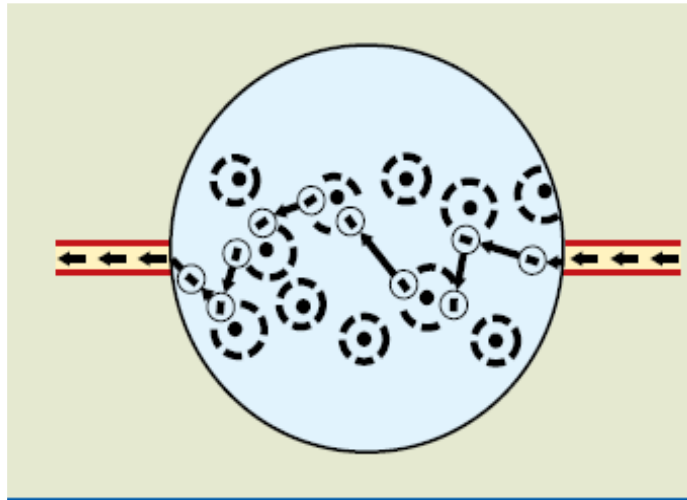
Aula de Eletrônica

Resistência Elétrica

Prof. Dr. Ricardo Luiz Barros de Freitas

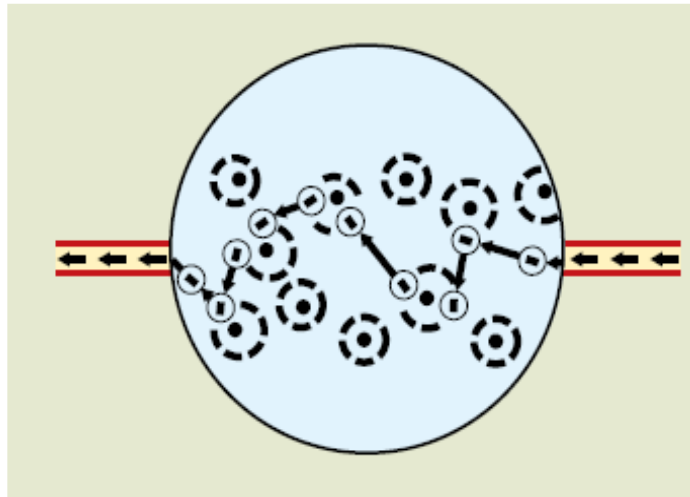
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- Quando se estabelece uma tensão entre os terminais de um condutor, o campo elétrico gerado pela tensão provoca o movimento ordenado dos elétrons livres, ou seja, uma corrente elétrica.
- Esses elétrons, em seu deslocamento, chocam-se com os átomos do condutor, resultando na produção de calor.
- Os átomos de alguns condutores oferecem maior resistência à passagem da corrente que outros e, nesse caso, produz-se mais calor.
- Tal propriedade física dos condutores é chamada de resistência elétrica.



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- Em outras palavras, parte da energia fornecida ao fio é transformada em energia elétrica (energia de movimento dos elétrons) e parte, em energia térmica.
- Essa conversão em calor é conhecida como efeito Joule.
- Quanto mais alto o valor da resistência elétrica do condutor, maior a oposição à passagem da corrente e maior a quantidade de calor dissipado.



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistores**

- A resistência elétrica depende do material, das dimensões do condutor e da temperatura (agitação térmica).
- Sua unidade de medida no SI é o **ohm**, de símbolo Ω .
- Em muitos casos práticos, deseja-se que o valor da resistência seja o menor possível, para reduzir a dissipação de energia
- Por exemplo, nos condutores empregados em redes elétricas, transformadores e motores.
- Em outras aplicações, como nos circuitos eletrônicos, deseja-se limitar a corrente em um valor estipulado.
- Nesse caso, utiliza-se um componente especialmente destinado a esse fim, o resistor.
- Trata-se de um elemento físico cuja característica principal é a resistência elétrica.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistores**
- Os resistores podem ser construídos com fio, filme de carbono, filme metálico etc.



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistores**
- Em outros casos, deseja-se transformar energia elétrica em térmica, como no chuveiro, no forno elétrico e no secador de cabelos.
- Esses elementos também são denominados resistores, mas comercialmente costumam ser chamados de elementos de aquecimento ou de “resistências”.
- É comum dizermos que a resistência do chuveiro “queimou”, o que pode causar certa confusão, pois a resistência é uma propriedade, e não um dispositivo.



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistores**

- Outra importante característica de um resistor é a potência máxima dissipada.
- Resistores de carbono e filme metálico são encontrados na faixa de 0,1 a 1 W.
- Resistores de fio estão na faixa de 5 a 100 W
- Resistores de aquecimento para uso residencial se situam entre 1 e 5 kW.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistores**
- Algumas aplicações exigem que o valor da resistência do resistor seja variado.
- Em aplicações eletrônicas de baixa potência, elementos que permitem tal variação são encontrados na forma de potenciômetros usados para o controle de volume em sistemas de som antigos, em que o operador tinha acesso a seu eixo.



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistores**
- Ha também os ***trimpots***, utilizados para ajustes no circuito eletrônico, não acessíveis ao operador.



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistores**
- Outro dispositivo que possibilita a variação da resistência é o reostato de elevada potência.

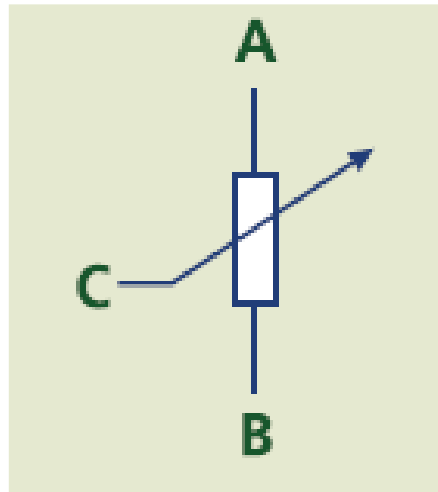


RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Simbologia**
- Em qualquer um dos casos descritos, o resistor é representado em um circuito por um dos símbolos gráficos:

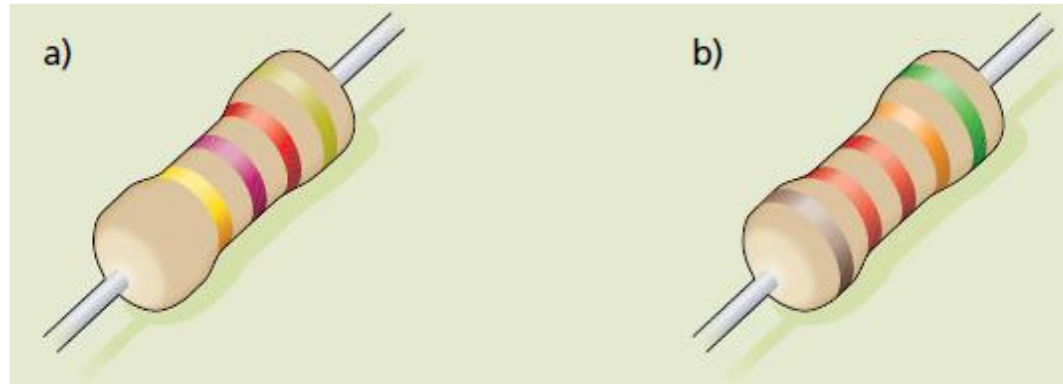


- Os potenciômetros e os trimpots são dispositivos de três terminais, dois para o resistor e um para o cursor, e são representados graficamente:



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Código de cores dos resistores**
- Os resistores com maiores dimensões têm a indicação da resistência e da potência no próprio corpo (resistores de fio).
- Outros, de menor potência, utilizam apenas um código de cores para indicar seu valor.
- O código de cores consiste em quatro (a), cinco (b) ou seis anéis coloridos impressos no corpo do resistor



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Código de cores dos resistores**

Cores	Valor (1º ao 3º anel)	Tolerância (4º ou 5º anel)
Preto	0 (menos 1º anel)	
Marrom	1	1%
Vermelho	2	2%
Laranja	3	
Amarelo	4	
Verde	5	0,5% (apenas 5º anel)
Azul	6	
Roxo/lilás/violeta	7	
Cinza	8	
Branco	9	
Ouro	−1 (apenas 3º anel)	5%
Prata	−2 (apenas 3º anel)	10% (não mais fabricado)




RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Código de cores dos resistores**
- No sistema de quatro anéis, a leitura é dada pela fórmula:
- $\text{Leitura} = (A.B \times 10^C \pm D) \, \Omega$
- Em que:
- A é o primeiro anel = primeiro algarismo;
- B o segundo anel = segundo algarismo;
- C o terceiro anel = algarismo multiplicador = número de zeros;
- D quarto anel = tolerância.

Cores	Valor (1º ao 3º anel)	Tolerância (4º ou 5º anel)
Preto	0 (menos 1º anel)	
Marrom	1	1%
Vermelho	2	2%
Laranja	3	
Amarelo	4	
Verde	5	0,5% (apenas 5º anel)
Azul	6	
Roxo/lilás/violeta	7	
Cinza	8	
Branco	9	
Ouro	-1 (apenas 3º anel)	5%
Prata	-2 (apenas 3º anel)	10% (não mais fabricado)

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- Código de cores dos resistores
- Exemplos:

TABELA DE CORES PARA RESISTÊNCIAS						
CODIGO DE 4 BANDAS				27 KOhm 5%		
CODIGO DE 5 BANDAS				15400 KOhm 1%		
CODIGO DE 6 BANDAS				3300 KOhm 1% 15ppm		
1º DIGITO	2º DIGITO	3º DIGITO	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA	VARIAÇÃO TEMPERATURA	
0	0	0	0,01	10%	100	
1	1	1	0,1	5%	50	
2	2	2	1	1%	15	
3	3	3	10	2%	25	
4	4	4	100	1K	VALORES EXPRESSOS EM PARTES POR MILHÃO	
5	5	5	1K	0,5%		
6	6	6	10K	0,25%		
7	7	7	100K	0,1%		
8	8	8	1M			
9	9	9	10M			

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Código de cores dos resistores**
- Exemplos: Qual é o valor do resistor abaixo?



- A: amarelo = 4.
- B: violeta = 7.
- C: vermelho = 2.
- D: ouro = 5%.
- Assim obtemos:
- $R = 47 \times 10^2 \Omega \pm 5\% = 4700 \Omega \pm 5\% = 4,7 \text{ k}\Omega \pm 5\%$
- Na prática, o valor 4,7 k Ω também é grafado como 4k7 Ω .

TABELA DE CORES PARA RESISTÊNCIAS

CODIGO DE 4 BANDAS		27 KOhm 5%
CODIGO DE 5 BANDAS		15400 KOhm 1%
CODIGO DE 6 BANDAS		3300 KOhm 1% 15ppm




1º DÍGITO	2º DÍGITO	3º DÍGITO	MULTIPLICADOR	TOLERÂNCIA	VARIACÃO TEMPERATURA
0	0	0	0,01	10% PRATA	100
1	1	1	0,1	5% OURO	50
2	2	2	1	1%	15
3	3	3	10	2%	25
4	4	4	100	1K	
5	5	5	1K	10K	
6	6	6	10K	0,5%	
7	7	7	100K	0,25%	
8	8	8	1M	0,1%	
9	9	9	10M		

VALORES EXPRESSOS EM PARTES POR MILHÃO

- Nesse caso, ha uma resistência nominal de 4,7 k Ω e tolerância de 5%.
- Cinco por cento de 4,7 k Ω é $4,700 \times 5 / 100 = 0,235 \text{ k}\Omega$.
- Isso indica que o valor real do resistor devera estar na faixa compreendida entre:
- $R_{\text{mín}} = 4700 - 235 = 4465 \Omega = 4,465 \text{ k}\Omega$
- $R_{\text{máx}} = 4,7 + 0,235 = 4,935 \text{ k}\Omega$.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Código de cores dos resistores**
- Os dispositivos com tolerância menor ou igual a 1% são denominados resistores de precisão.
- Eles possuem cinco ou seis faixas.
- Nesse caso, três algarismos significativos (ABC) são utilizados.
- Para o sistema de cinco anéis a leitura é dada pela fórmula:
- $Leitura = (ABC \times 10^D \pm E) \Omega$ em que:
 - A e o primeiro anel = primeiro algarismo;
 - B o segundo anel = segundo algarismo;
 - C o terceiro anel = terceiro algarismo;
 - D o quarto anel = algarismo multiplicador = número de zeros;
 - E o quinto anel = tolerância.

TABELA DE CORES PARA RESISTÊNCIAS					
CODIGO DE 4 BANDAS			27 KOhm 5%		
CODIGO DE 5 BANDAS			15400 KOhm 1%		
CODIGO DE 6 BANDAS			3300 KOhm 1% 15ppm		
1º DÍGITO	2º DÍGITO	3º DÍGITO	MULTIPLICADOR	TOLERÂNCIA	VARIACÃO TEMPERATURA
0	0	0	0,01	10% PRATA	100
1	1	1	0,1	5% OURO	50
2	2	2	1	1%	15
3	3	3	10	2%	25
4	4	4	100	1K	
5	5	5	1K	10K	
6	6	6	10K	0,5%	
7	7	7	100K	0,25%	
8	8	8	1M	0,1%	
9	9	9	10M		




VALORES EXPRESSOS EM PARTES POR MILHÃO

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Código de cores dos resistores**
- Exemplos: Qual é o valor do resistor abaixo?



- A: amarelo = 4.
- B: violeta = 7.
- C: preto = 0
- D: preto=0
- D: marrom = 1%.
- Assim obtemos:
- $R = 470 \times 10^0 \Omega \pm 1\% = 470 \Omega \pm 5\%$

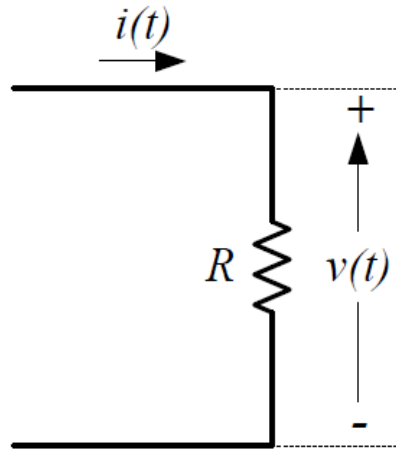
TABELA DE CORES PARA RESISTÊNCIAS					
CODIGO DE 4 BANDAS			27 KOhm 5%		
CODIGO DE 5 BANDAS			15400 KOhm 1%		
CODIGO DE 6 BANDAS			3300 KOhm 1% 15ppm		
1º DIGITO	2º DIGITO	3º DIGITO	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA	VARIACÃO TEMPERATURA
0	0	0	0,01	10%	100
1	1	1	0,1	5%	50
2	2	2	1	1%	15
3	3	3	10	2%	25
4	4	4	100	1K	
5	5	5	1K	10K	
6	6	6	10K	0,5%	
7	7	7	100K	0,25%	
8	8	8	1M	0,1%	
9	9	9	10M		

VALORES EXPRESSOS EM PARTES POR MILHÃO

- Nesse caso, ha uma resistência nominal de 470Ω e tolerância de 1%.
- Hum por cento de 470Ω é $470 \times 1/100 = 4,7\Omega$.
- Isso indica que o valor real do resistor devera estar na faixa compreendida entre:
- $R_{\min} = 470 - 4,7 = 465,3\Omega$
- $R_{\max} = 470 + 4,7 = 474,7\Omega$.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Lei de Ohm**
- A Lei de Ohm estabelece que a diferença de potencial v entre os terminais de um resistor puro é diretamente proporcional à corrente i que nele circula.



- A relação matemática da Lei de Ohm é ilustrada pela equação:

$$v(t) = R.i(t)$$

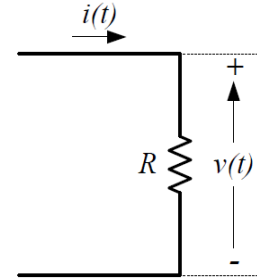
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Lei de Ohm**

- A constante de proporcionalidade é chamada de resistência (R) do resistor e é expressa em:

$$\left[\frac{Volt}{Ampere} \right] = [Ohm]$$

$$\left[\frac{V}{A} \right] = [\Omega]$$



- Da expressão acima, podemos escrever:

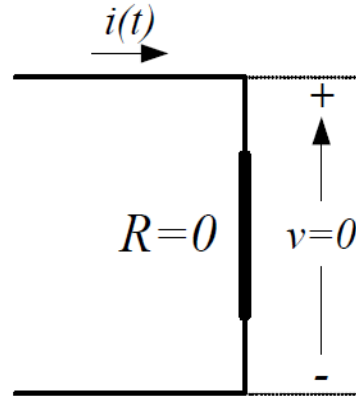
$$i(t) = \frac{1}{R} \cdot V(t) = G \cdot v(t)$$

$$G = \frac{1}{R}$$

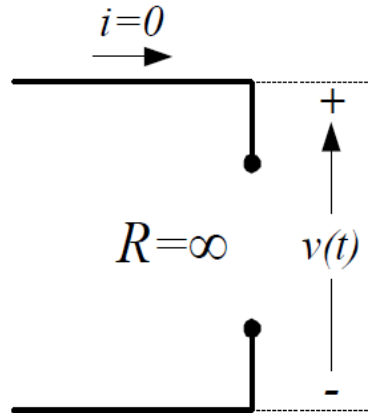
- G é denominado de condutância, expressa em Mho ($1/\Omega$) ou Siemens (S).

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Lei de Ohm**
- A resistência de valor zero é denominada curto circuito.



- A resistência de valor infinito é denominada circuito aberto.



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Lei de Ohm**

- Um resistor dissipa a energia que lhe é entregue na forma de calor.

- A potência instantânea dissipada no resistor num determinado instante de tempo é:

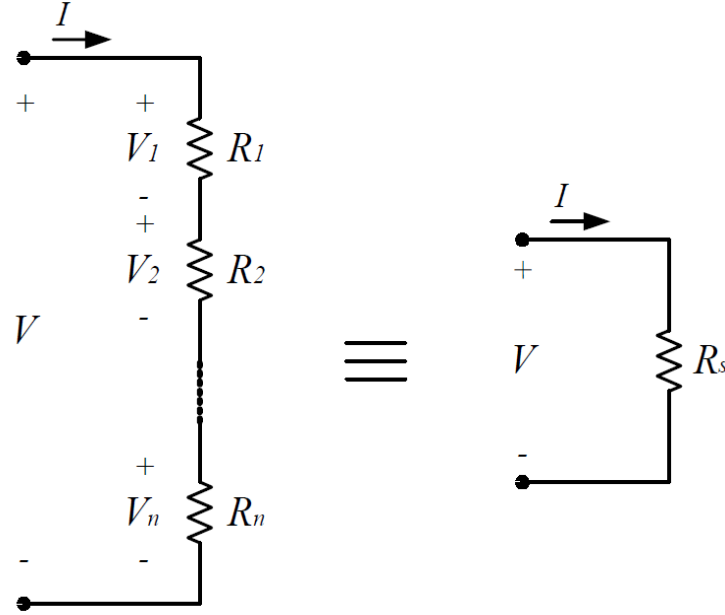
$$p = v(t) \cdot i(t) = R \cdot i^2(t) = \frac{v^2(t)}{R}$$

- Então, a energia dissipada no resistor pode ser expressa por:

$$p = v(t) \cdot i(t) = R \cdot i^2(t) = \frac{v^2(t)}{R}$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistências em Série**
- Para uma associação de n resistências em série:

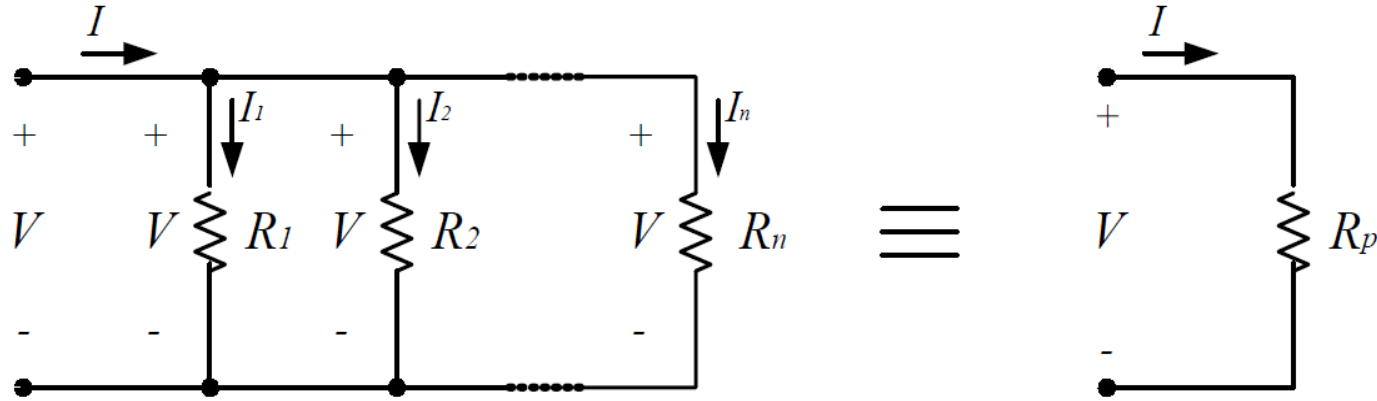


- podemos escrever: $R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
 $V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$
 $R_s \cdot I = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + \dots + R_n \cdot I$

- A corrente I é a mesma que passa por todos os resistores.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistências em Paralelo**
- Para uma associação de n resistências em paralelo:



- podemos escrever:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

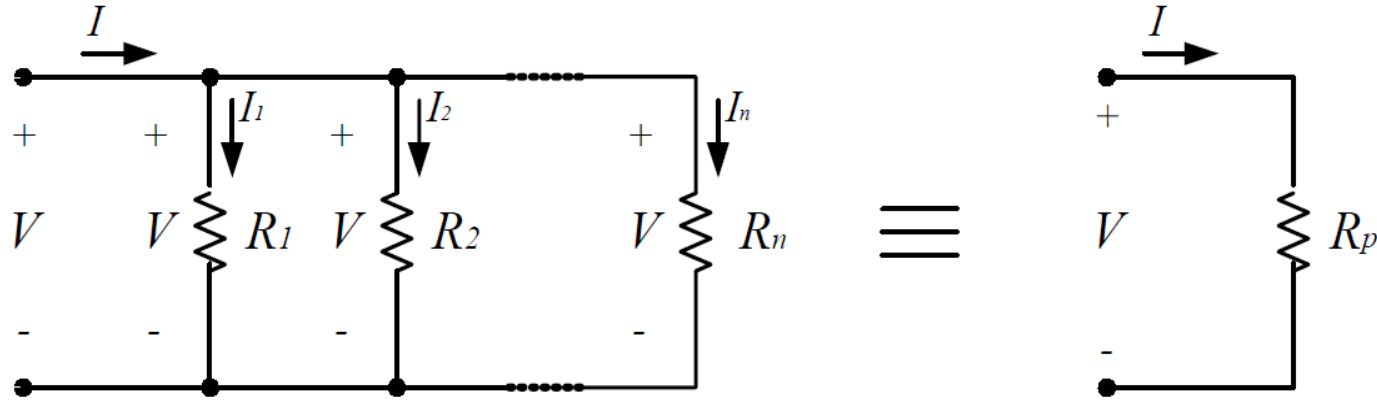
$$\frac{V}{R_p} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n}$$

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

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistências em Paralelo**

- Para uma associação de n resistências em paralelo:



- Para o caso especial de duas resistências, temos:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

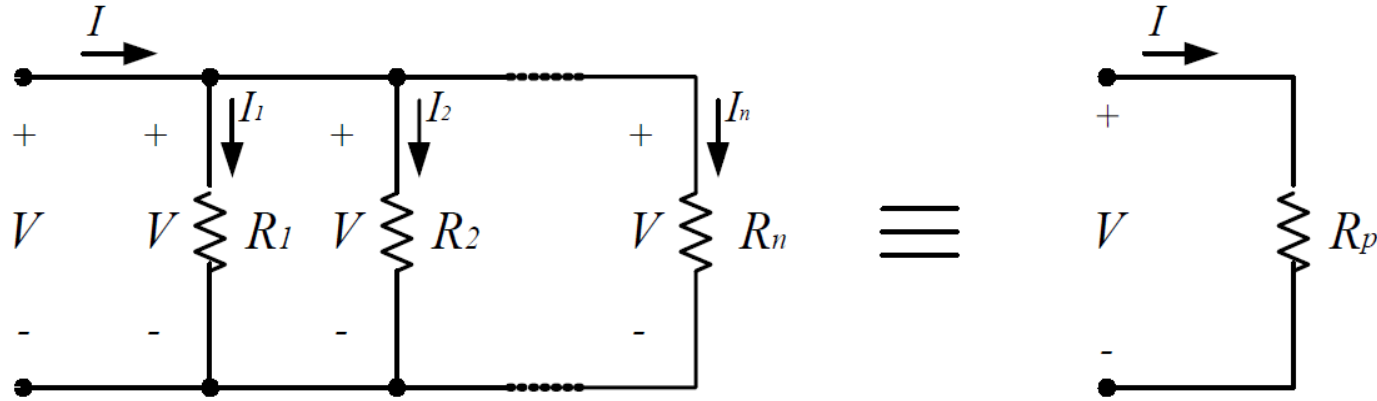
- Para o caso especial das resistências serem iguais:

$$R_p = \frac{R}{n}$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Resistências em Paralelo**

- Para uma associação de n resistências em paralelo:



- Para o caso especial de duas resistências, temos:

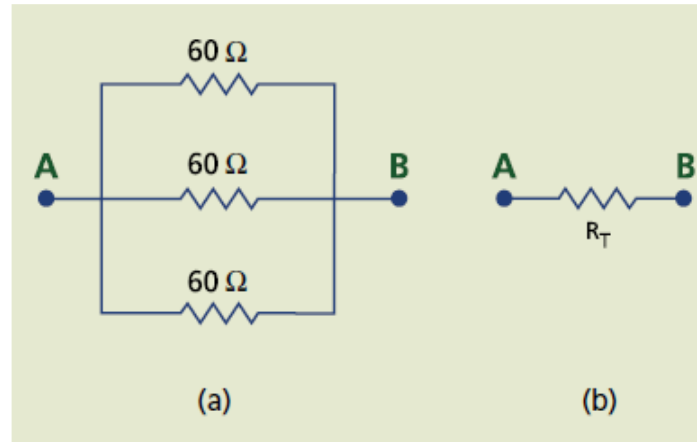
$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

- Para o caso especial das resistências serem iguais:

$$R_p = \frac{R}{n}$$

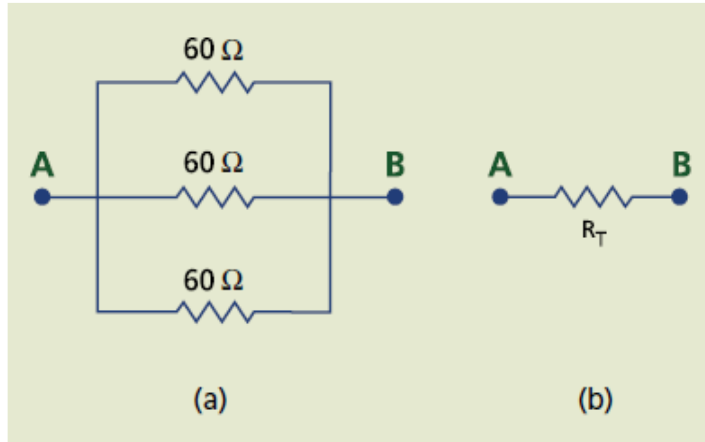
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Exemplo**
- Calcule a resistência equivalente do circuito da figura:



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**



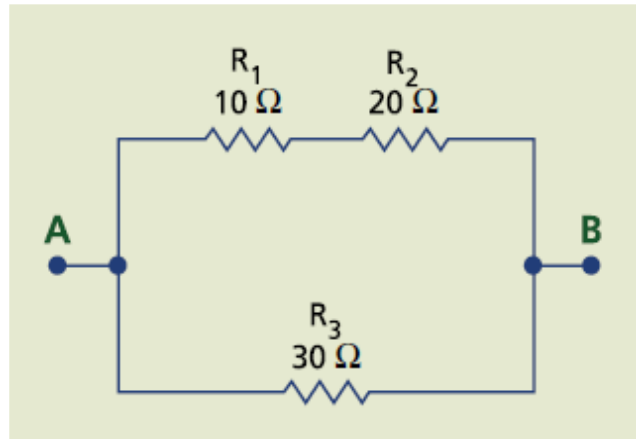
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{60} + \frac{1}{60} + \frac{1}{60} = \frac{3}{60} = \frac{1}{20}$$
$$R_T = 20\Omega$$

- Como as resistências são iguais, também pode ser resolvido assim:

$$R_T = \frac{60}{3} = 20\Omega$$

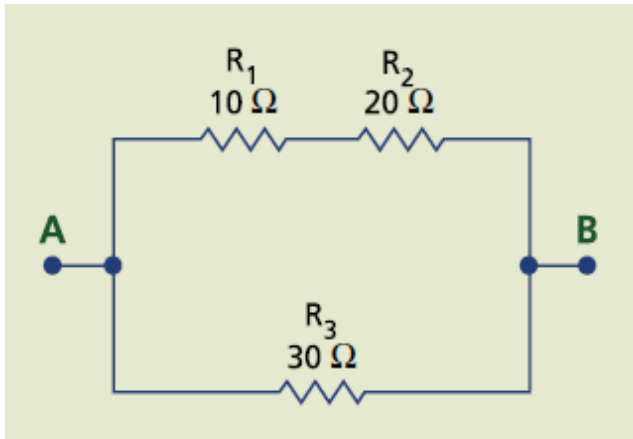
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Exemplo**
- Calcule a resistência equivalente entre os pontos A e B da figura:



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Os resistores R1 e R2 estão em serie:

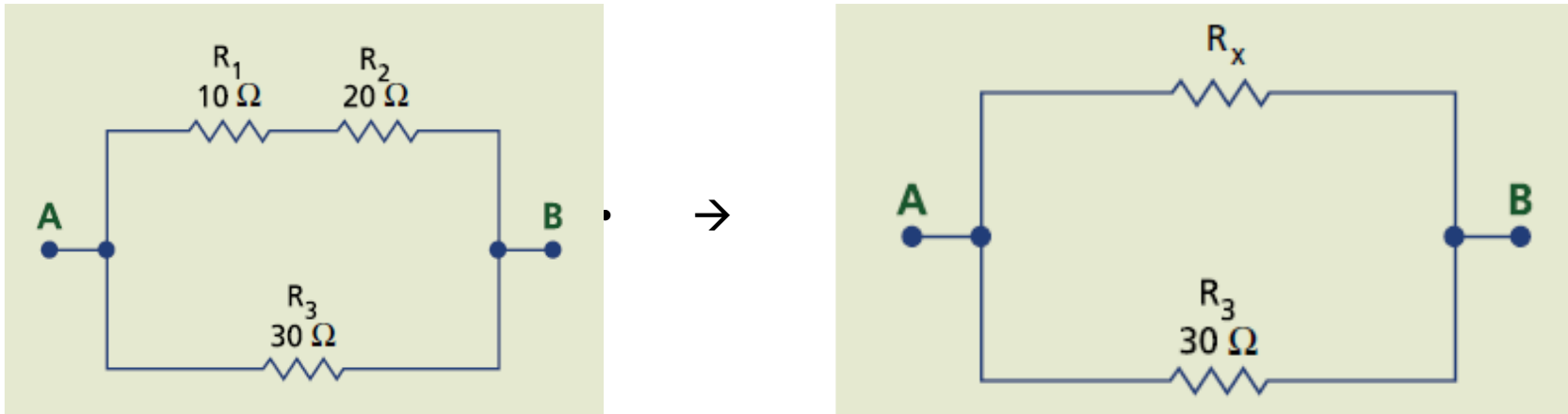


$$R_x = 10\Omega + 20\Omega = 30\Omega$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Os resistores R1 e R2 estão em serie:

$$R_x = 10\Omega + 20\Omega = 30\Omega$$

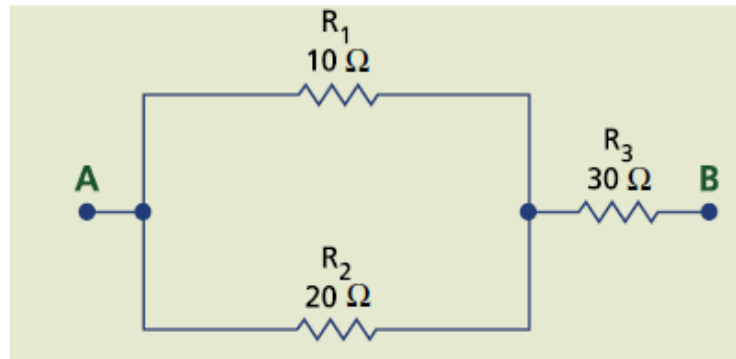


- Agora calculamos o paralelo de duas resistências, R_x e R_3 , que por coincidência são iguais:

$$R_T = R_x // R_3 = \frac{30}{2} = 15\Omega$$

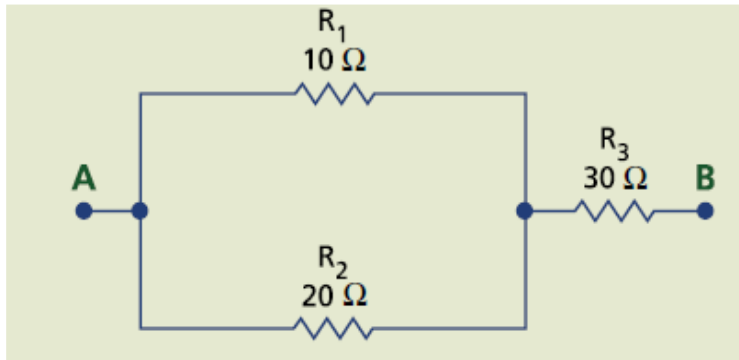
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Exemplo**
- Calcule a resistência equivalente entre os pontos A e B da figura:



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

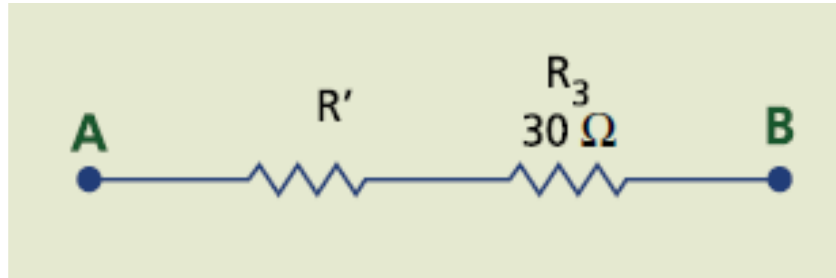
- **Solução:**
- Os resistores R1 e R2 estão em paralelo e são duas resistências:



$$R' = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 20}{10 + 20} = \frac{200}{30} = 6,67 \Omega$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

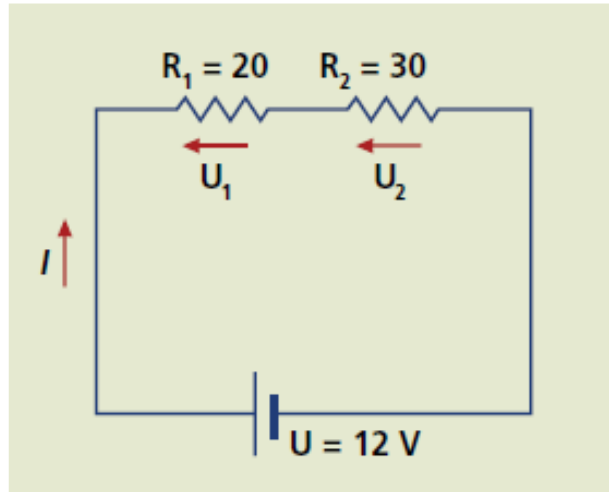
- **Solução:**
- Redesenhando o circuito temos que os resistores R' e R_3 estão em série, assim:



$$R_T = R' + R_3 = 6,67 + 30 = 36,67\Omega$$

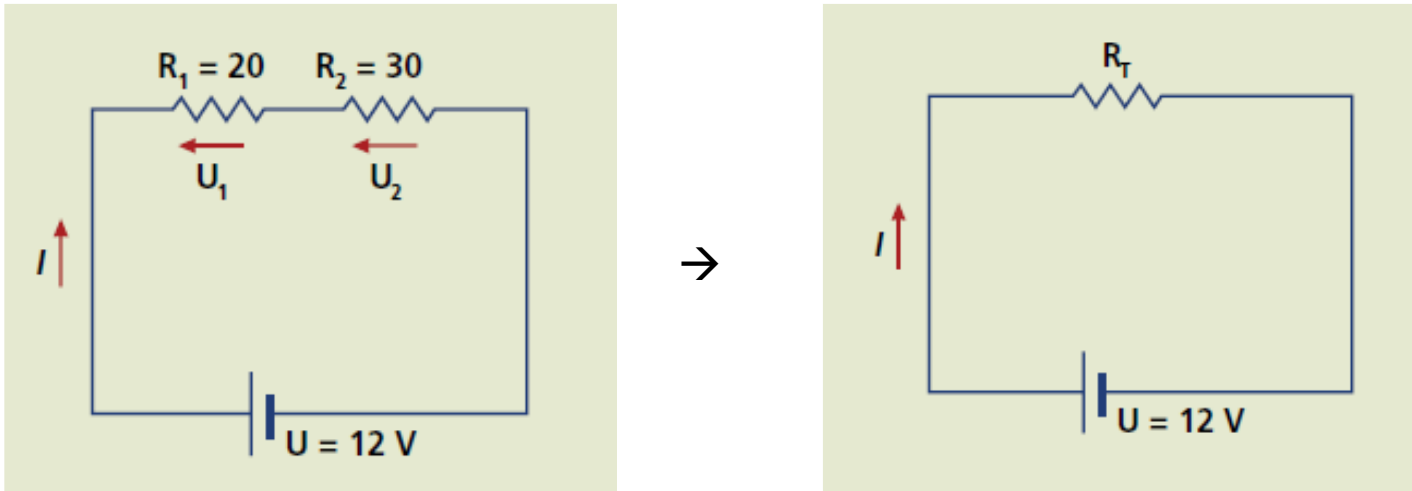
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Exemplo**
- No circuito da figura, determine R_T , I , U_1 , U_2 , P_T , P_{R_1} , P_{R_2} :



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

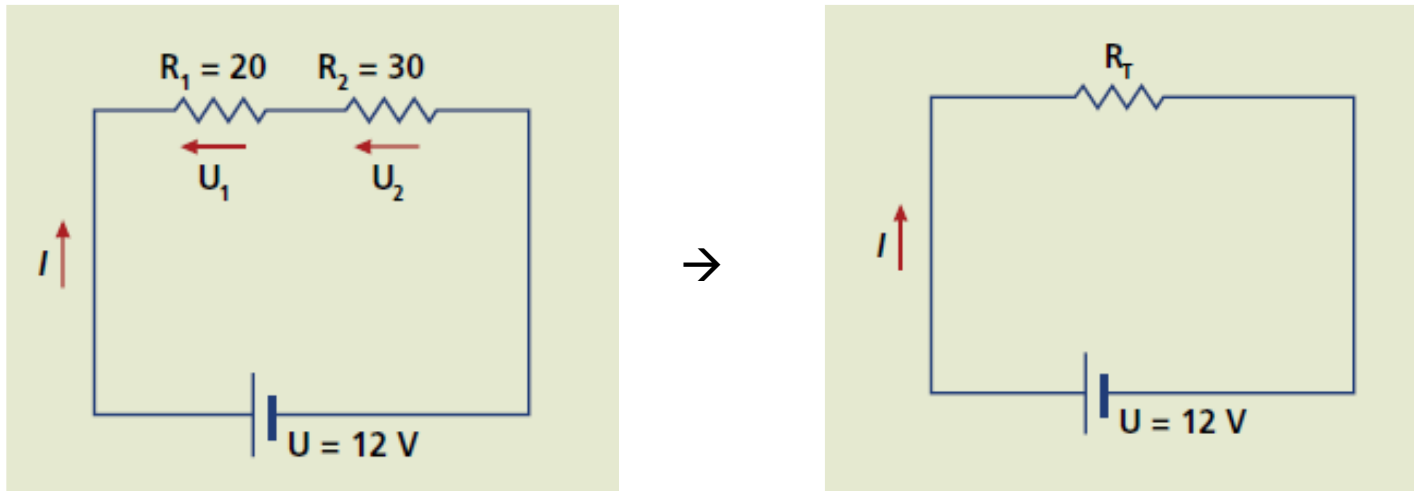
- **Solução:**
- A primeiro passo é calcular a R_T :



$$R_T = R_1 + R_2 = 20 + 30 = 50\Omega$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

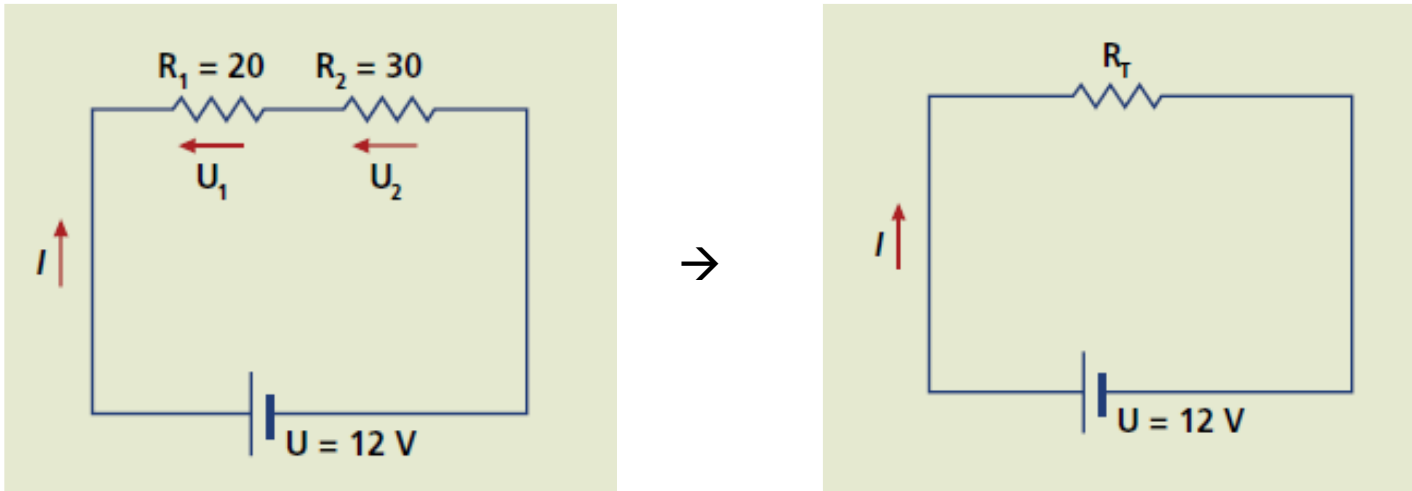
- **Solução:**
- Agora utilizando a Lei de Ohm, calculamos a corrente I:



$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{12}{50} = 0,240A = 240mA$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Com a corrente I podemos calcular a tensão em cada resistor:

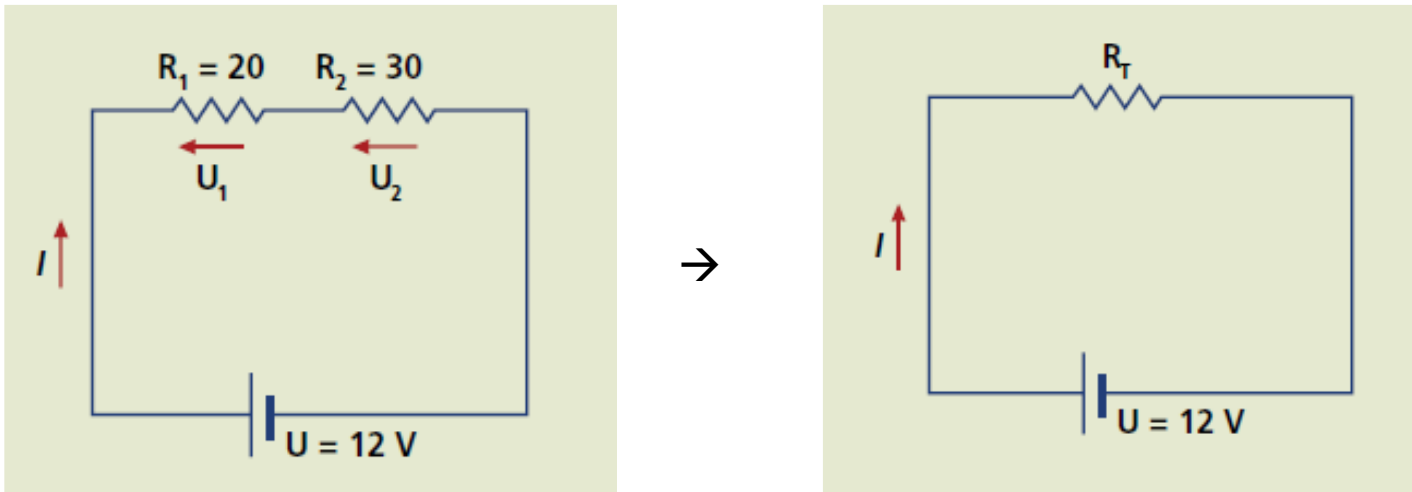


$$U_1 = R_1 \cdot I = 20 \times 0,240 = 4,8V$$

$$U_2 = R_2 \cdot I = 30 \times 0,240 = 7,2V$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- A potência em cada resistor pode ser calculada de várias maneiras:



$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Assim :

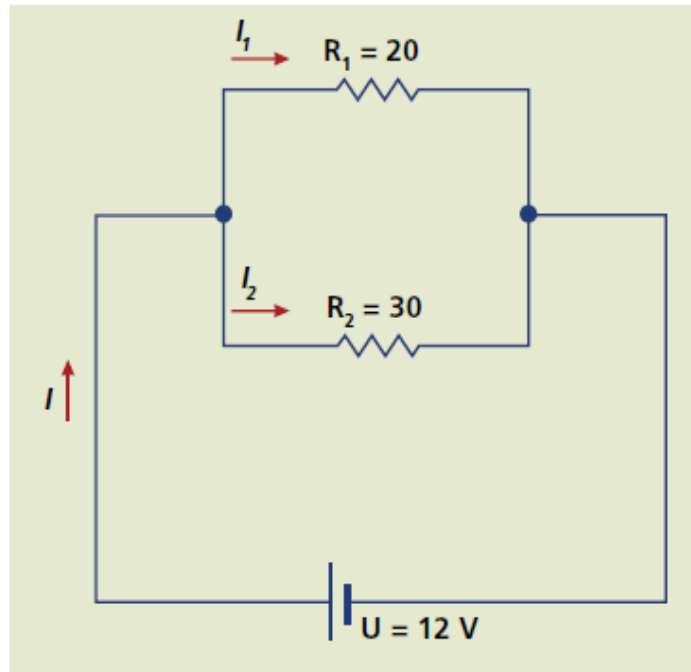
$$P_{R_1} = U_1 \cdot I = 4,8 \times 0,240 = 1,15W$$

$$P_{R_2} = U_2 \cdot I = 7,2 \times 0,240 = 1,73W$$

$$P_T = U \cdot I = 12 \times 0,240 = 2,88W$$

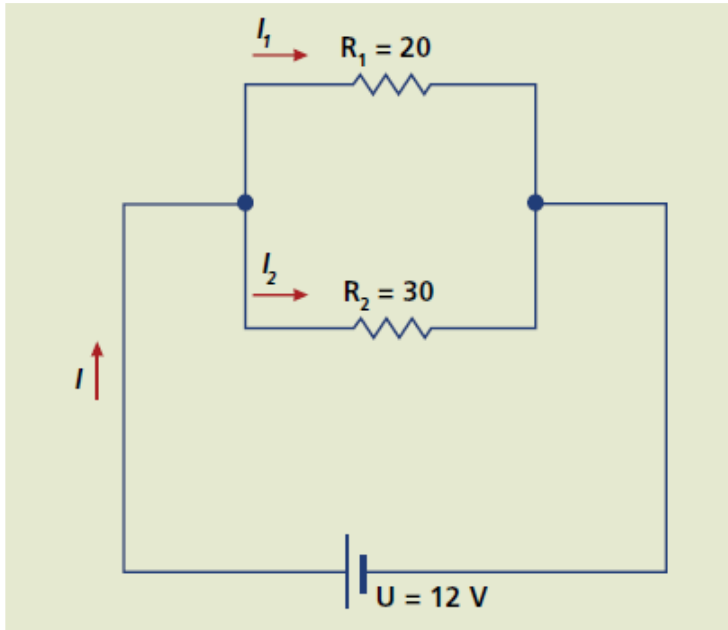
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Exemplo**
- No circuito da figura, determine R_T , I , I_1 , I_2 , P_T , P_{R_1} , P_{R_2} :



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Obtêm-se I_1 , I_2 pela lei de Ohm com resistências em paralelo:

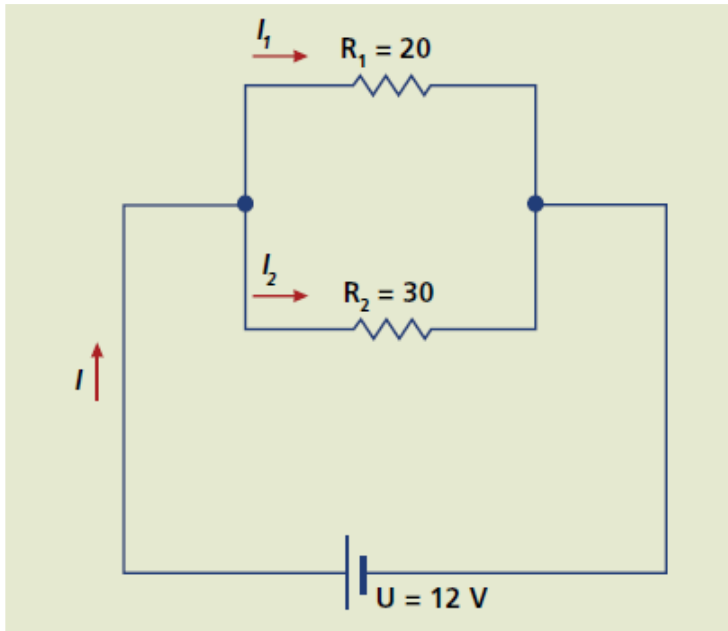


$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12}{20} = 0,60\text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12}{30} = 0,40\text{ A}$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

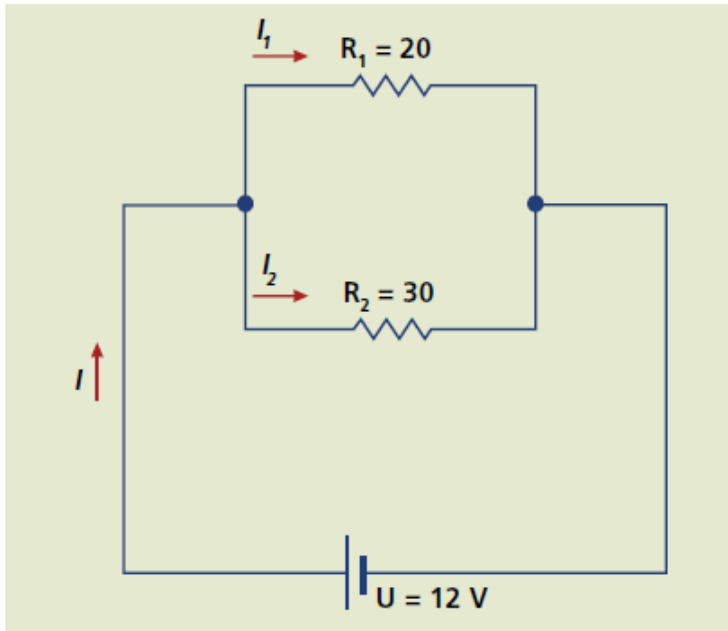
- **Solução:**
- A corrente total do circuito é a soma das correntes em paralelo:



$$I = I_1 + I_2 = 0,60 + 0,40 = 1\text{ A}$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- A resistência total R_T pode ser calculada pela Lei de Ohm:



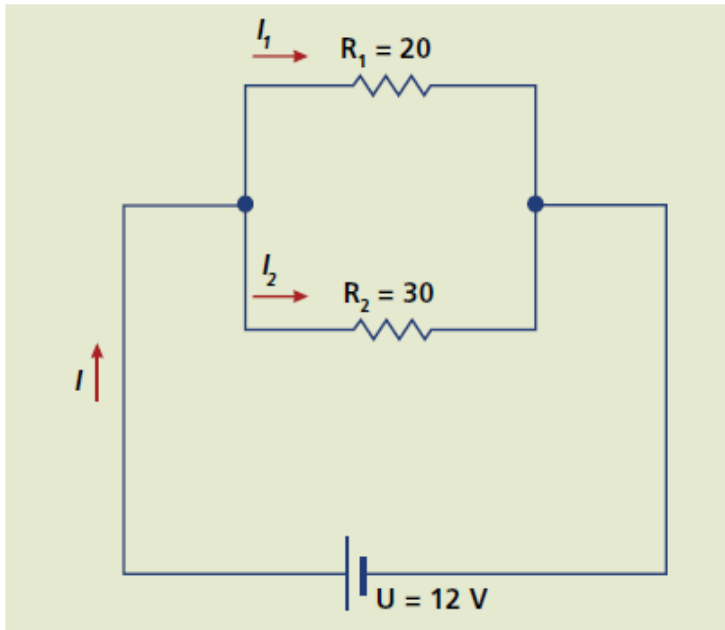
$$R_T = \frac{U}{I} = \frac{12}{1} = 12\Omega$$

- Ou utilizando associação em paralelos dos resistores:

$$R_T = \frac{20 \times 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12\Omega$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Finalmente calcula-se as Potências:



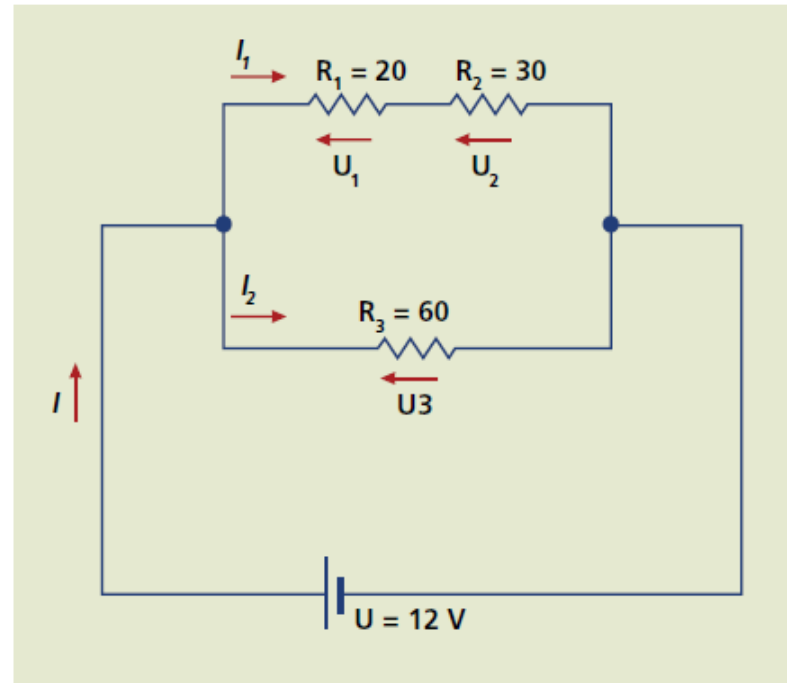
$$P_T = U \cdot I = 12 \cdot 1 = 12\text{ W}$$

$$P_{R_1} = U \cdot I_1 = 12 \cdot 0,60 = 7,20\text{ W}$$

$$P_{R_2} = U \cdot I_2 = 12 \cdot 0,40 = 4,80\text{ W}$$

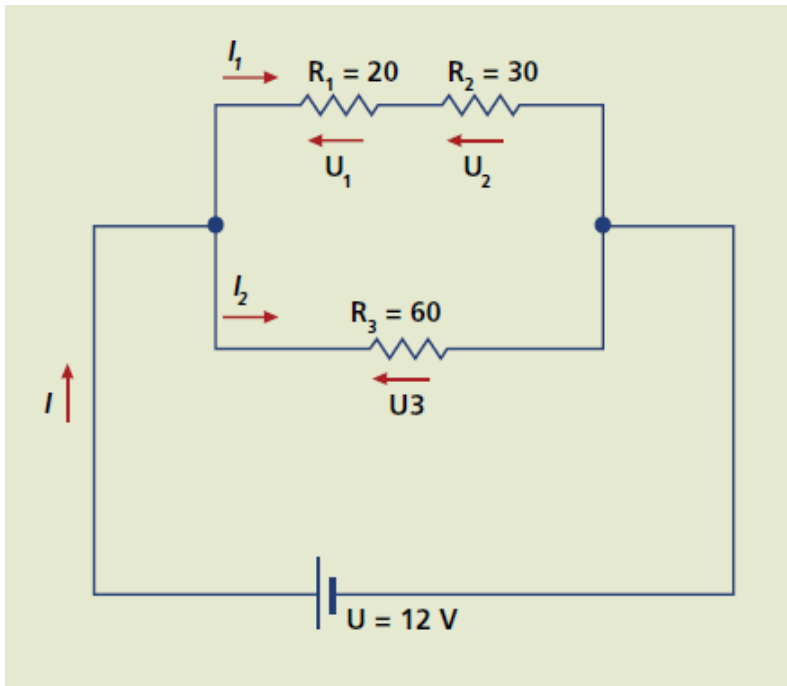
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Exemplo:**
- Determine a resistência total, as tensões e as correntes indicadas no circuito da figura, bem como as potências em cada resistência e a potência total fornecida pelo gerador (fonte):



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- No ramo pelo qual passa a corrente I_1 , associam-se os dois resistores em serie e calcula seu equivalente para redesenhar o circuito:

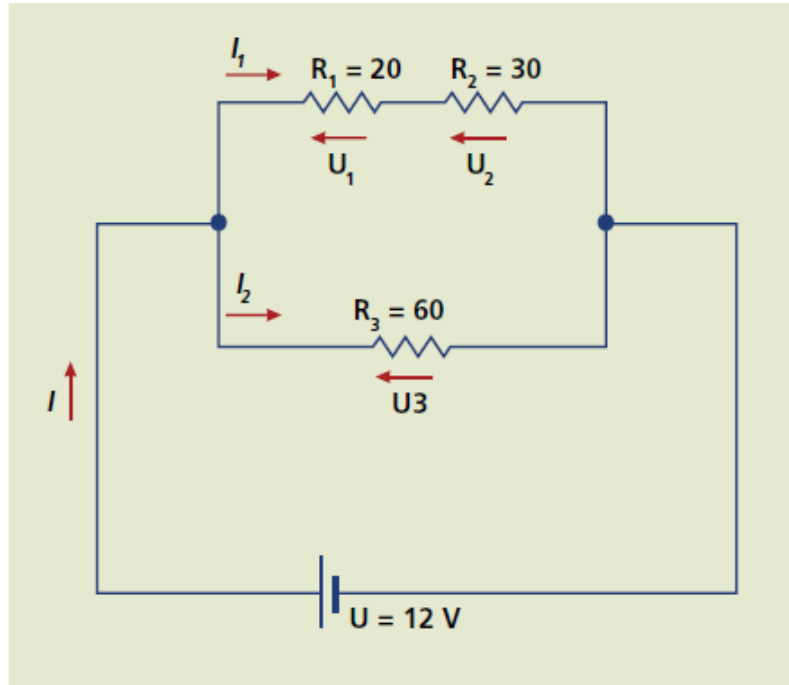


$$R' = R_1 + R_2 = 20 + 30 = 50\Omega$$

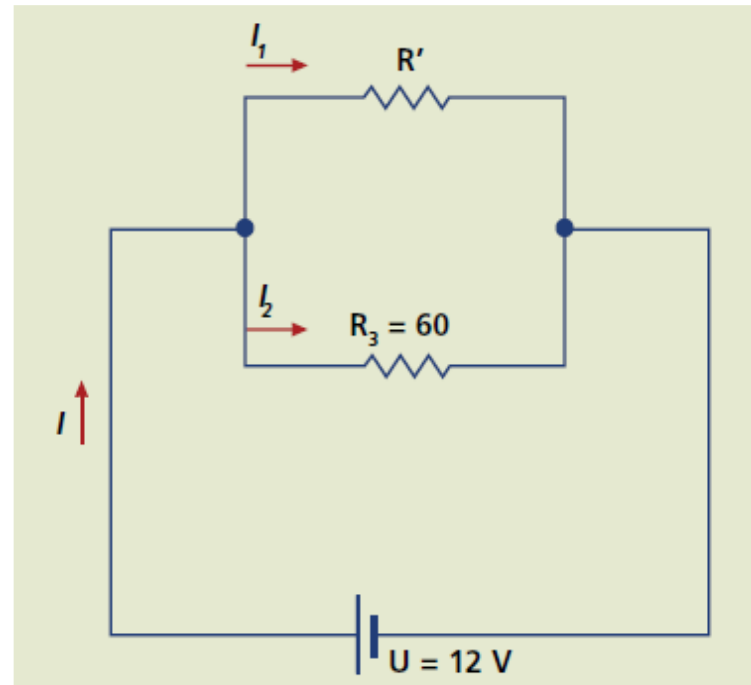
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**

- Assim: $R' = R_1 + R_2 = 20 + 30 = 50\Omega$



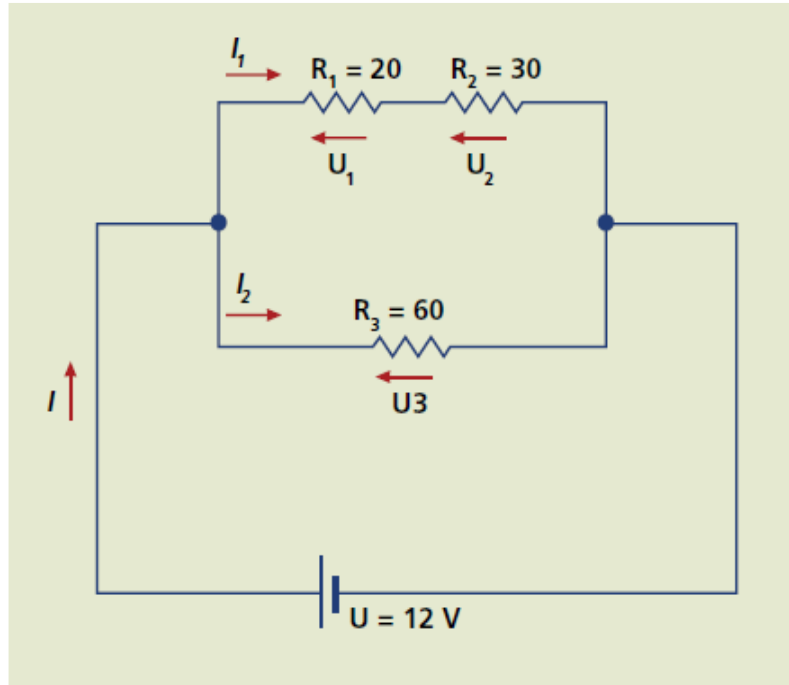
→



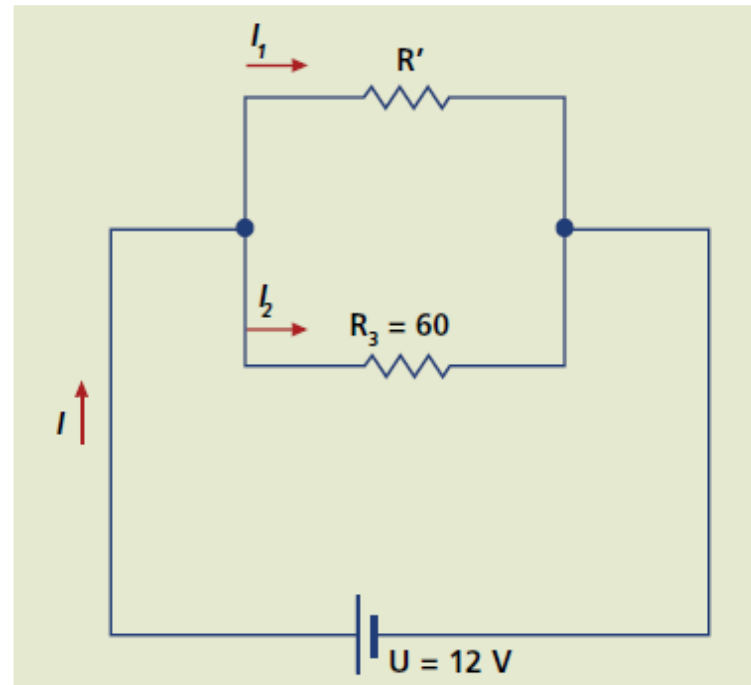
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**

- Assim: $R' = R_1 + R_2 = 20 + 30 = 50\Omega$

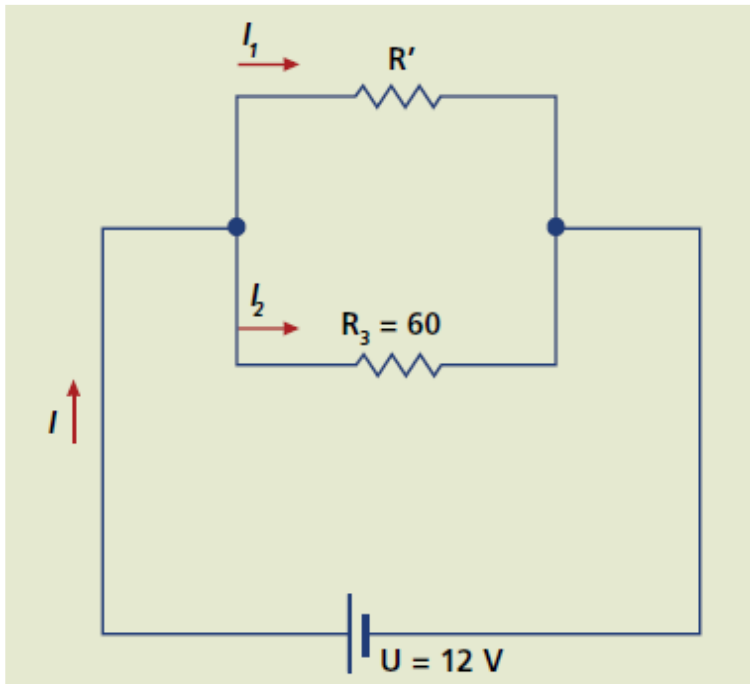


→

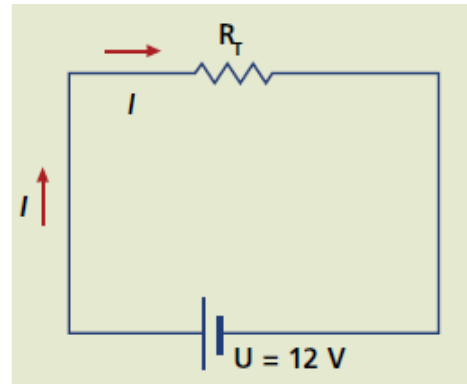


RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Calculamos a resistência total do circuito e o desenhamos outra vez:



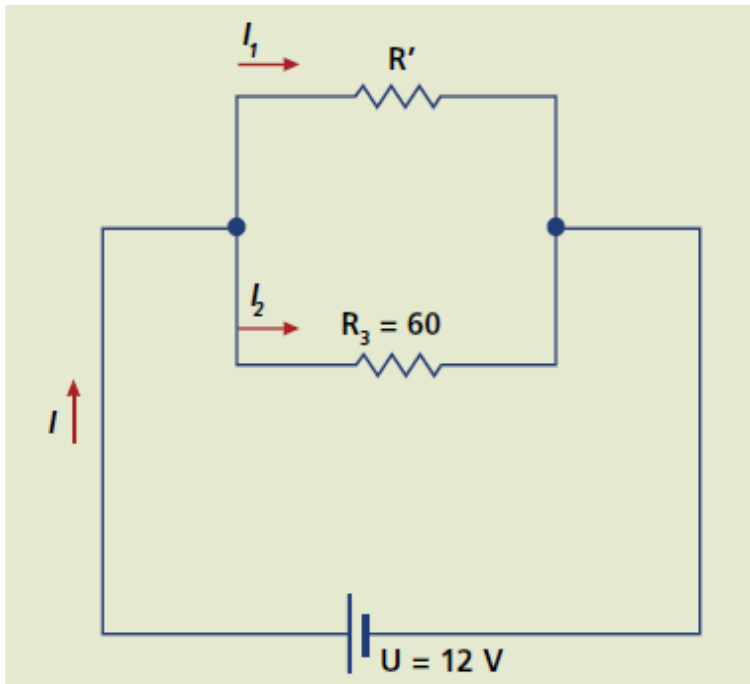
→



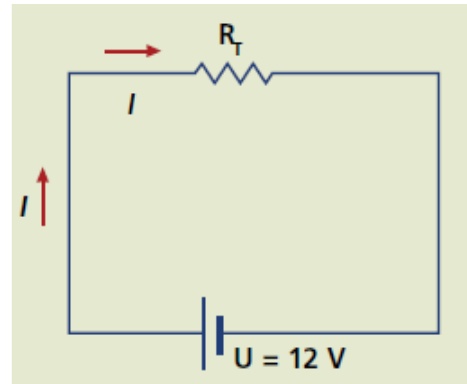
$$R_T = R' // R_3 = \frac{50 \times 60}{50 + 60} = \frac{3000}{110} = 27,27\Omega$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Calculamos a corrente total:



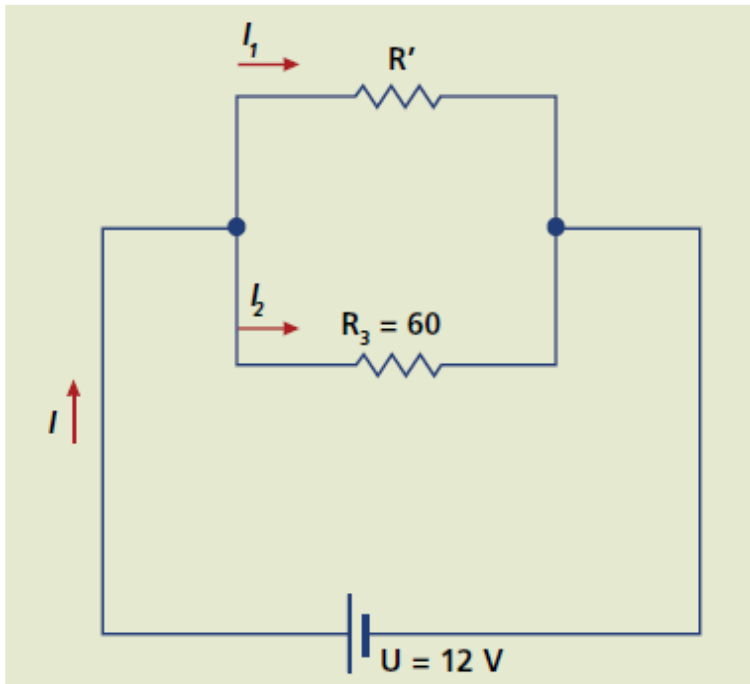
→



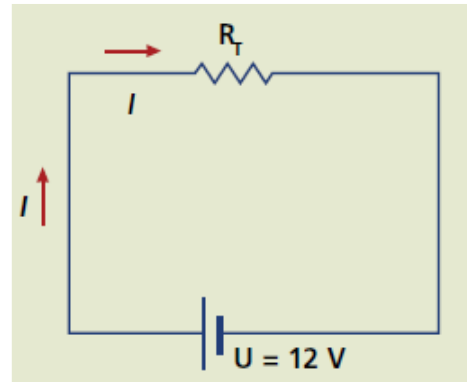
$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{12}{27,27} = 0,44\text{ A}$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Calculamos a Potência total:



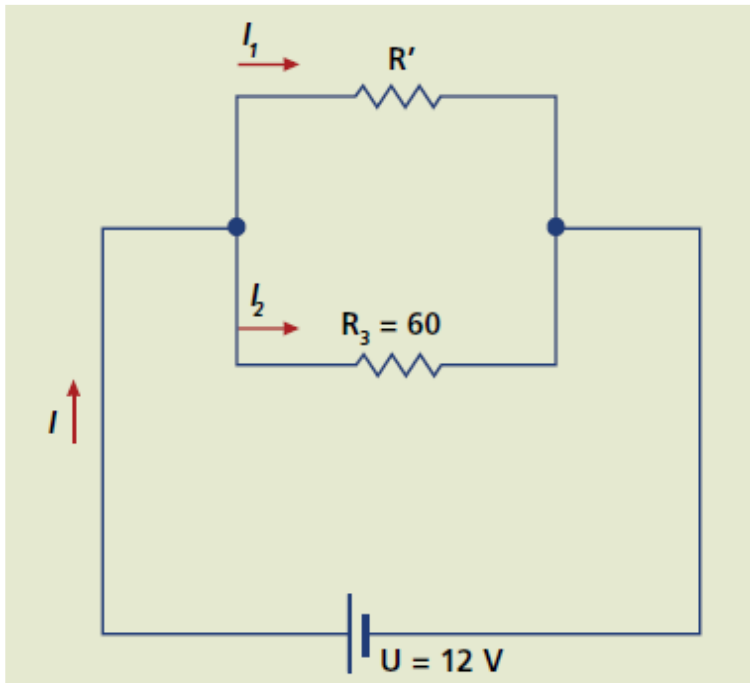
→



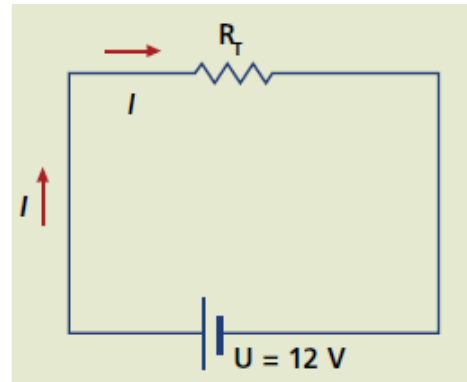
$$P_T = U \cdot I = 12 \times 0,44 = 5,28\text{ W}$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Calculamos as corrente:



→

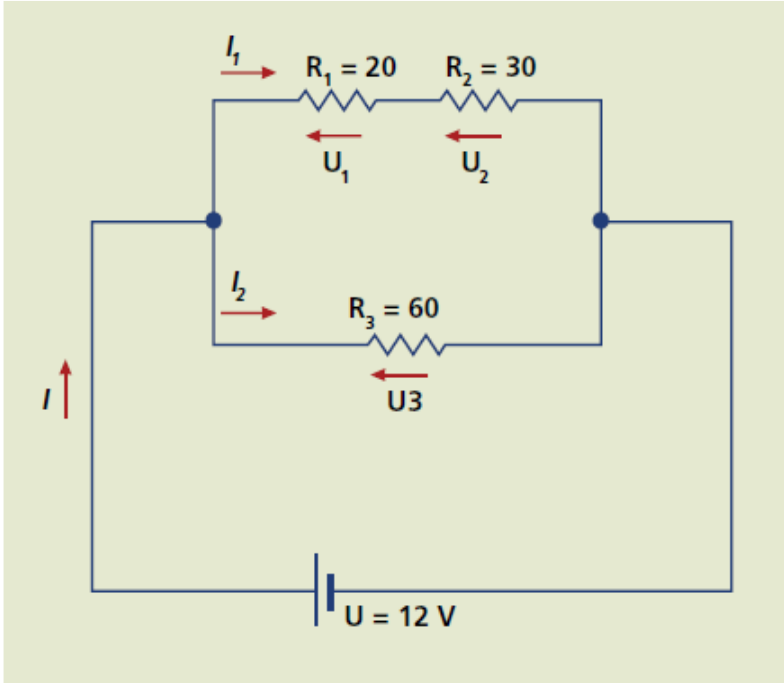


$$I_1 = \frac{U}{R'} = \frac{12}{50} = 0,24\text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_3} = \frac{12}{60} = 0,20\text{ A}$$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Agora podemos calcular a tensão em cada resistor:



$$U_1 = R_1 \times I_1 = 20 \times 0,24 = 4,8V$$

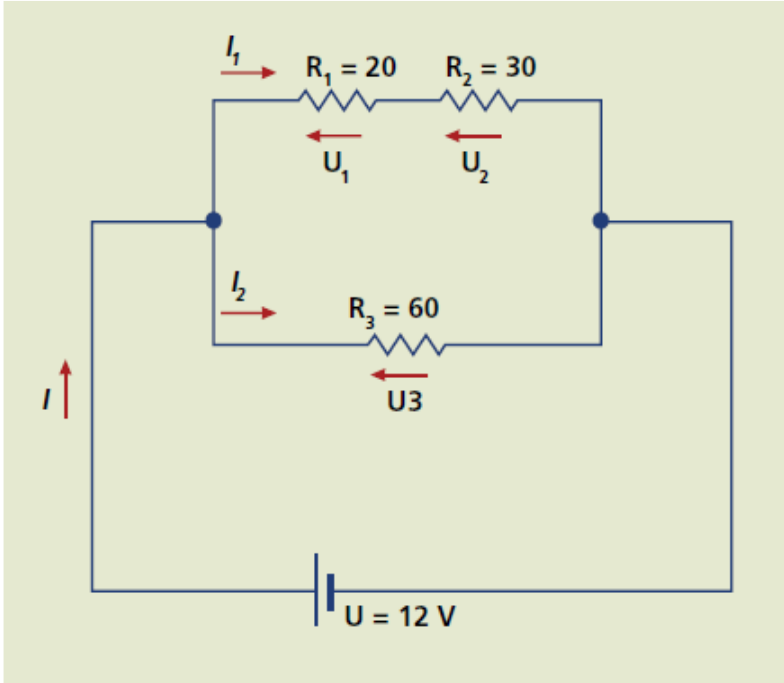
$$U_2 = R_2 \times I_1 = 30 \times 0,24 = 7,2V$$

$$U_3 = R_3 \times I_2 = 60 \times 0,20 = 12V$$

- Observe que a soma das tensões onde passa a corrente I_1

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Por fim calculam-se as potências em cada resistor:



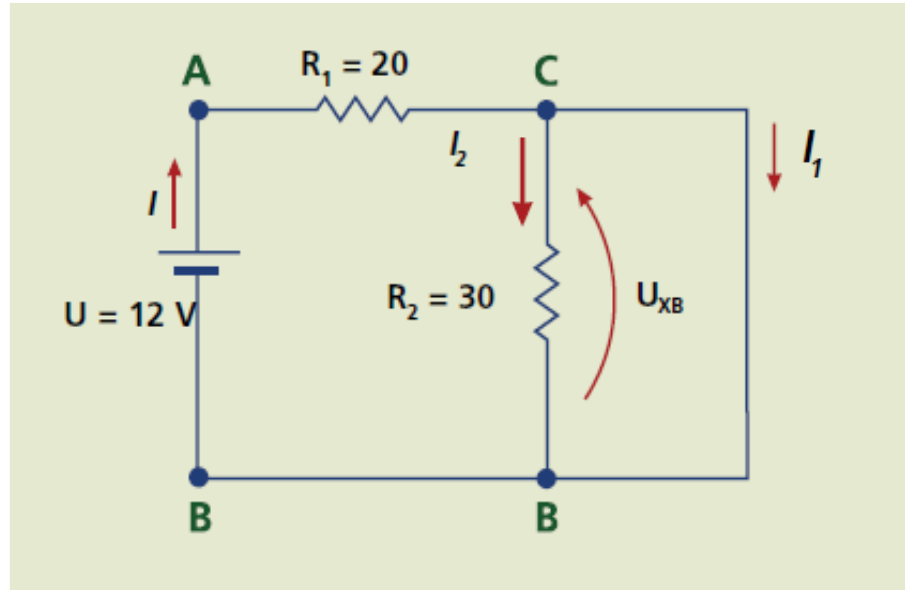
$$P_1 = U_1 \times I_1 = 4,8 \times 0,24 = 1,152W$$

$$P_2 = U_2 \times I_1 = 7,2 \times 0,24 = 1,728W$$

$$P_3 = U_3 \times I_2 = 12 \times 0,20 = 2,400W$$

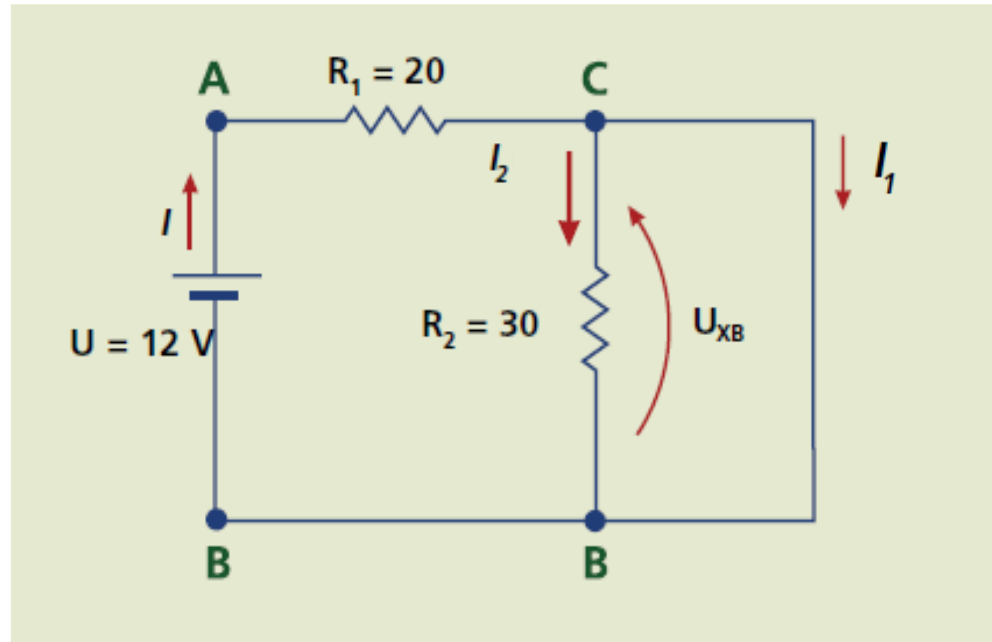
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Exemplo:**
- Determine as correntes I , I_1 , I_2 para o circuito da figura:



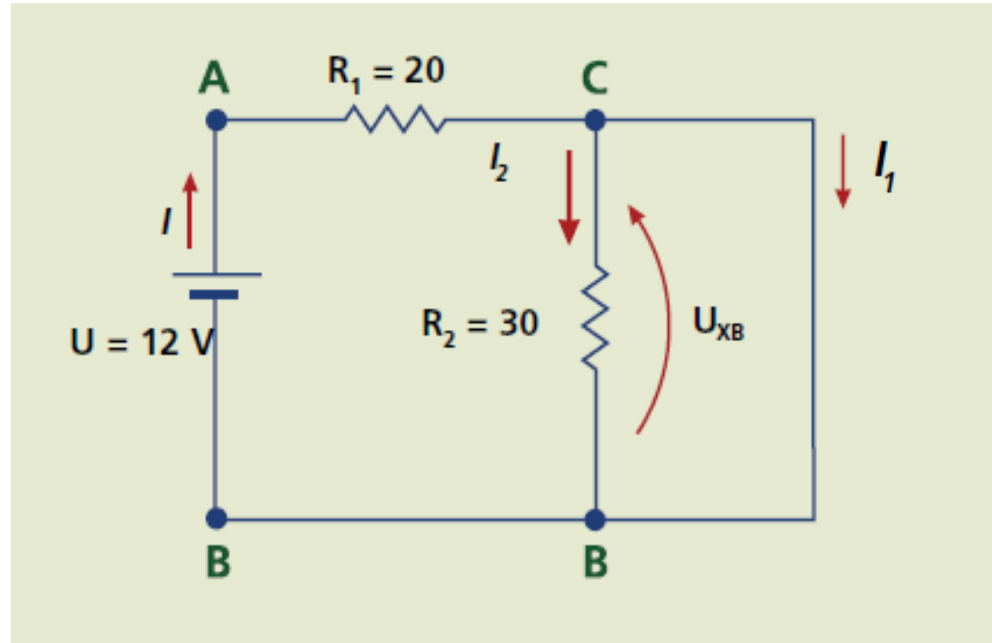
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Como o fio tem resistencia praticamente nula, a tensao U_{XB} sobre ele e nula.



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

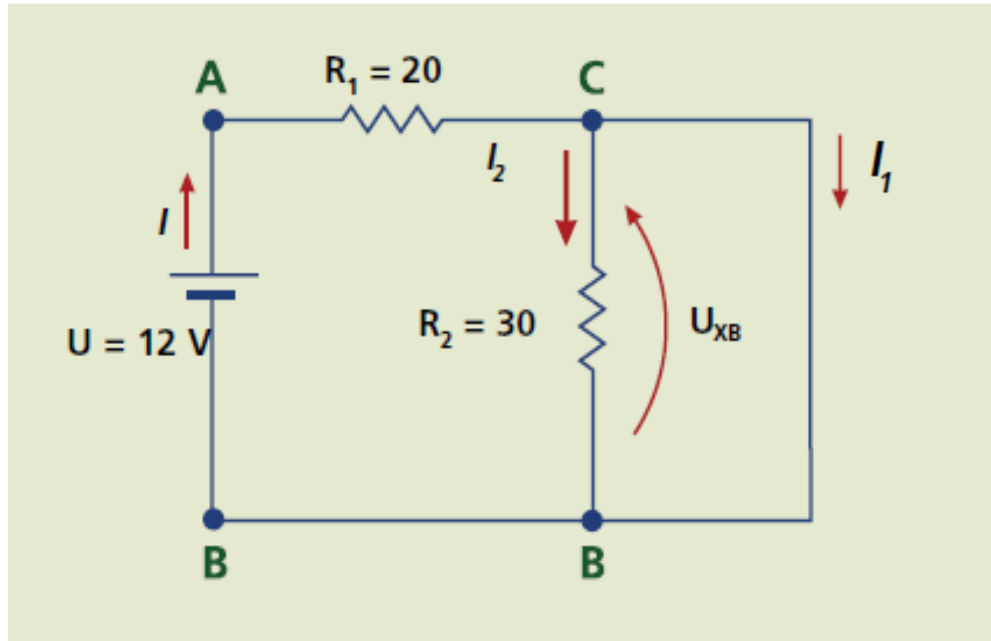
- **Solução:**
- Sendo $U_{XB} = 0$, a corrente I_2 no resistor R_2 também é nula ($I_2 = 0$).



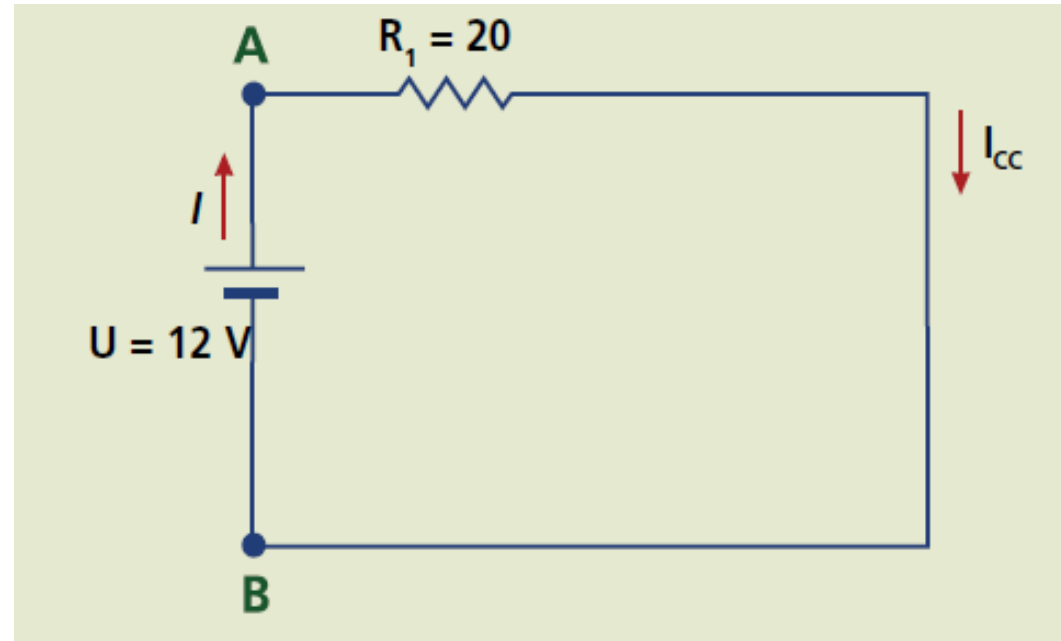
RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**

- Como $U_{XB} = 0$, o circuito da figura 4.8 pode ser redesenhado conforme mostrado na figura

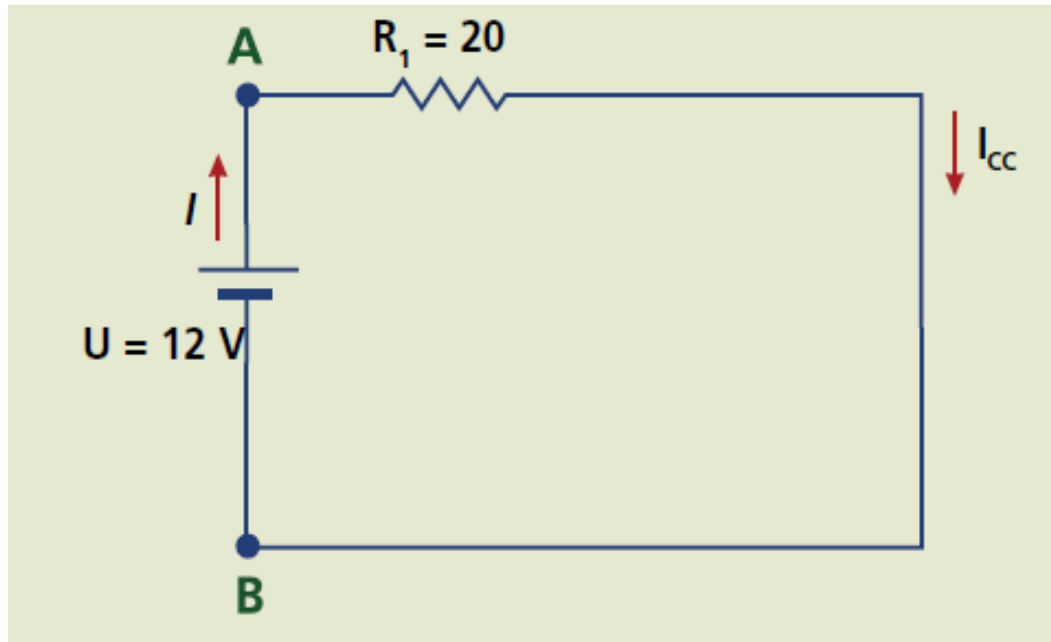


→



RESISTÊNCIA ELÉTRICA

- **Solução:**
- Chamaremos a corrente que passa pelo circuito de I_{cc} (corrente de curto-circuito)
- A corrente na fonte é calculada pela lei de Ohm:



$$I = I_{cc} = \frac{U}{R_1} = \frac{12}{20} = 0,60\text{ A}$$