

# ELETRICIDADE

## CAPÍTULO 3

### LEIS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

# 3.1 – LEI DE OHM

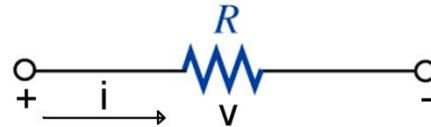
---

- CONSIDERE A SEGUINTE RELAÇÃO: 
$$Efeito = \frac{causa}{oposição}$$
- QUALQUER PROCESSO DE CONVERSÃO DE ENERGIA PODE SER RELACIONADO A ESTA EQUAÇÃO.
- EM CIRCUITOS ELÉTRICOS :
  - O EFEITO QUE DESEJAMOS ESTABELECEER É O FLUXO DE CARGAS ELÉTRICAS, OU CORRENTE.
  - A CAUSA É A DIFERENÇA DE POTENCIAL.
  - A OPOSIÇÃO AO FLUXO DE CARGAS É REPRESENTADA PELA RESISTÊNCIA ENCONTRADA.
- PORTANTO, PARA FINS DE **ANÁLISE DE CIRCUITOS**, A CORRENTE EM UM RESISTOR DEVE SER INDICADA EM RELAÇÃO À TENSÃO ENTRE SEUS TERMINAIS.
- PODEMOS FAZER ISSO DE DUAS FORMAS:
  - **NO SENTIDO DA QUEDA DE TENSÃO** NO RESISTOR;
  - **NO SENTIDO DO AUMENTO DE TENSÃO** NO RESISTOR.

# 3.1 – LEI DE OHM

- PODEMOS FAZER ISSO DE DUAS FORMAS:
  - **NO SENTIDO DA QUEDA DE TENSÃO** NO RESISTOR;
  - **NO SENTIDO DO AUMENTO DE TENSÃO** NO RESISTOR.

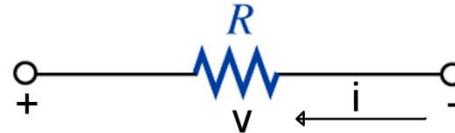
- NO PRIMEIRO CASO TEMOS A FIGURA



- E A RELAÇÃO É DADA POR:  $i = \frac{v}{R}$

OU  $v = R.i$

- NO SEGUNDO CASO TEMOS A FIGURA



- E A RELAÇÃO É DADA POR:  $i = -\frac{v}{R}$  OU  $v = -R.i$

- ESTAS EQUAÇÕES SÃO CONHECIDAS COMO **LEI DE OHM**.

A **LEI DE OHM** EXPRESSA A RELAÇÃO ALGÉBRICA QUE EXISTE ENTRE A TENSÃO E A CORRENTE EM UM ELEMENTO RESISTIVO.

- EM UNIDADES **SI** A TENSÃO DEVE ESTAR EM **VOLTS** ( V ), A RESISTÊNCIA EM **OHMS** (  $\Omega$  ) E A CORRENTE EM **AMPÈRES** ( A ).

# 3.1 – LEI DE OHM

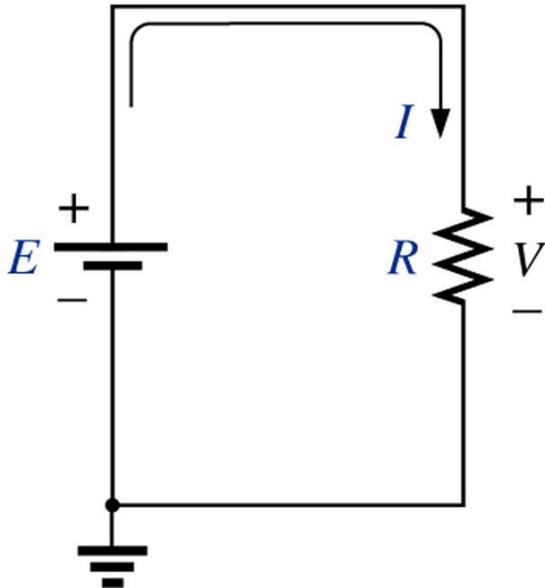
- A **LEI DE OHM** TAMBÉM PODE SER EXPRESSA EM TERMOS DE **CONDUTÂNCIA**, OU SEJA:

$$i = G.v$$

- CONSIDERANDO-SE **CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA** TEMOS:

$$V = R.I \quad \text{OU} \quad I = \frac{V}{R}$$

- A FIGURA A SEGUIR ILUSTRA A **APLICAÇÃO** DA LEI DE OHM EM UM **CIRCUITO SIMPLES**.



- OBSERVAR QUE, NESTE CASO :

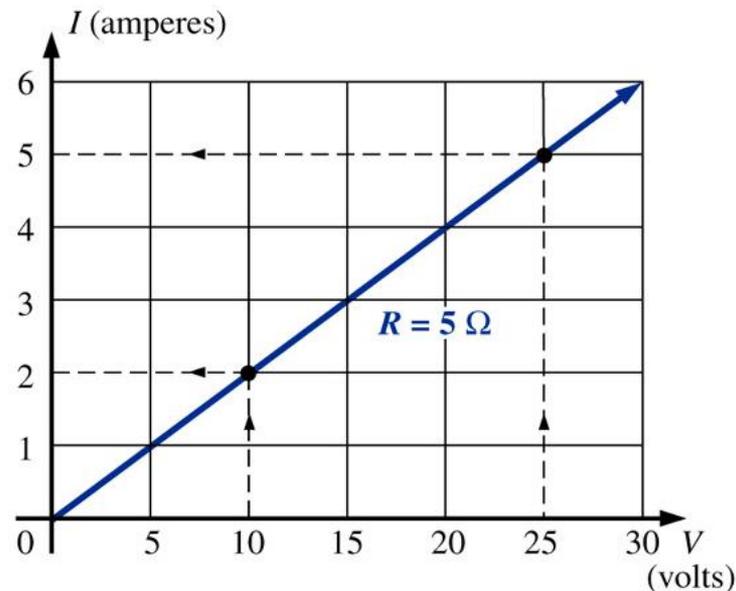
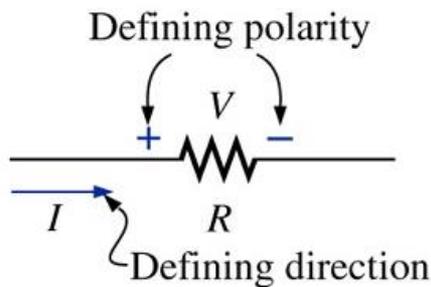
$$V = E$$

- OU, AINDA :

$$E = R.I \quad \text{E} \quad I = \frac{E}{R}$$

# 3.1.1 – GRÁFICO DA LEI DE OHM

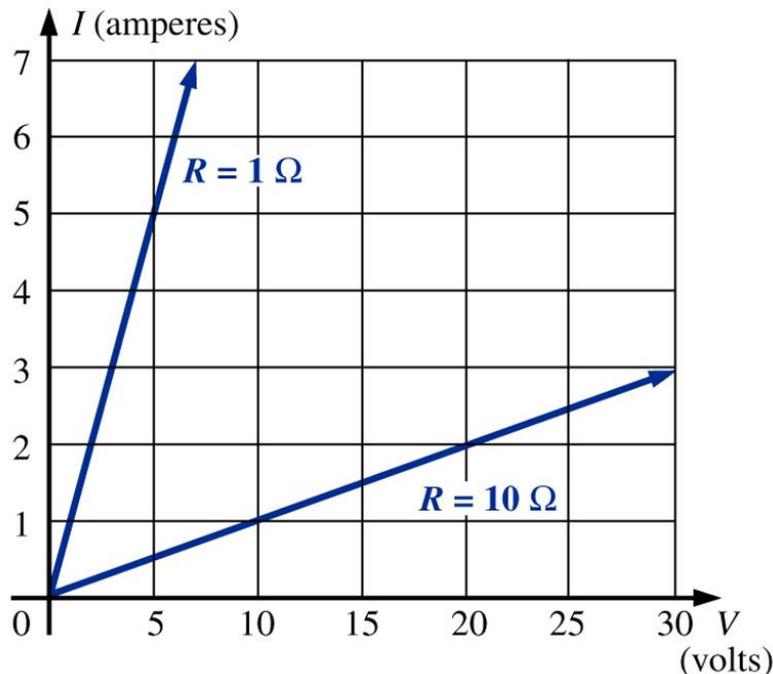
- A **REPRESENTAÇÃO GRÁFICA** DESEMPENHA FUNÇÃO IMPORTANTE EM TODOS OS CAMPOS DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA COMO UMA FORMA PELA QUAL UMA **VISÃO AMPLA DO COMPORTAMENTO**, OU RESPOSTA, DE UM SISTEMA PODE SER **CONVENIENTEMENTE APRESENTADA**.
- A FIGURA A SEGUIR APRESENTA O **GRÁFICO DA LEI DE OHM**.



- OBSERVE QUE O MESMO DESCREVE UM **COMPORTAMENTO LINEAR ( LINHA RETA )** QUE REVELA QUE A **RESISTÊNCIA SE MANTÉM INDEPENDENTEMENTE** DOS NÍVEIS DE **TENSÃO E CORRENTE**.

# 3.1.1 – GRÁFICO DA LEI DE OHM

- A INCLINAÇÃO DA RETA QUE DESCREVE A **RELAÇÃO  $V \times I$**  REPRESENTA O VALOR DA RESISTÊNCIA.
- QUANTO **MENOR** O VALOR DA RESISTÊNCIA, **MAIOR** É A INCLINAÇÃO ( MAIS PRÓXIMA DO EIXO VERTICAL ) DA RETA.
- A FIGURA A SEGUIR APRESENTA AS RETAS QUE REPRESENTAM UMA RESISTÊNCIA DE **1  $\Omega$**  E UMA DE **10  $\Omega$** .



- RELACIONANDO A LEI DE OHM COM A **EQUAÇÃO FUNDAMENTAL DE UMA RETA**, TEMOS:

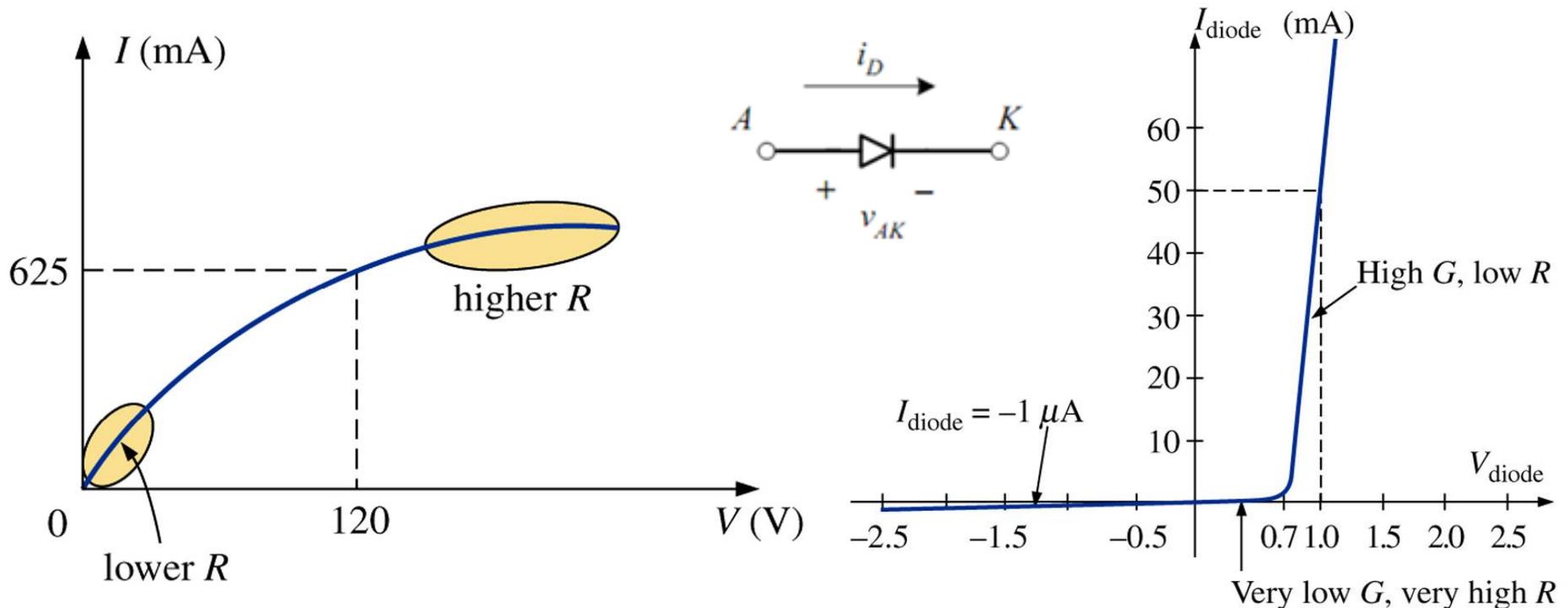
$$y = m.x + b \qquad I = \frac{1}{R}.E + 0$$

- OU SEJA:

$$m = \textit{inclinação da reta} = \frac{1}{R}$$

# 3.1.1 – GRÁFICO DA LEI DE OHM

- CASO A RESISTÊNCIA **VARIE** EM FUNÇÃO DOS VALORES DE TENSÃO E CORRENTE, TEREMOS UMA CURVA ( COMPORTAMENTO **NÃO LINEAR** ) PARA REPRESENTAR ESTE COMPORTAMENTO.
- AS FIGURAS A SEGUIR CORRESPONDEM ÀS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMA LÂMPADA INCANDESCENTE E DE UM DIODO SEMICONDUTOR.



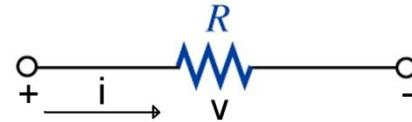
# 3.2 – POTÊNCIA ELÉTRICA EM CIRCUITOS RESISTIVOS

- A POTÊNCIA ELÉTRICA **DISSIPADA EM UM RESISTOR** CONSISTE NO **PRODUTO DA TENSÃO** ENTRE SEUS TERMINAIS PELA **CORRENTE** QUE O ATRAVESSA, E PODE SER CALCULADA DE VÁRIAS FORMAS:

$$p = v.i$$

QUANDO

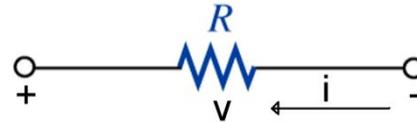
$$v = R.i$$



$$p = -v.i$$

QUANDO

$$v = -R.i$$



- UMA SEGUNDA FORMA DE CALCULAR A POTÊNCIA DISSIPADA POR UM RESISTOR CONSISTE EM EXPRESSÁ-LA EM TERMOS DE **CORRENTE E RESISTÊNCIA**.
- SUBSTITUINDO A EXPRESSÃO DE  $v$  NA DE  $p$ , NOS DOIS CASOS ANTERIORES, TEM-SE:

$$p = R.i^2$$

- OU SEJA, A POTÊNCIA DISSIPADA POR UM RESISTOR É SEMPRE POSITIVA, SEJA QUAL FOR O SENTIDO DA CORRENTE.
- CONSEQUENTEMENTE, **UM RESISTOR SEMPRE ABSORVE POTÊNCIA DO CIRCUITO**.

## 3.2 – POTÊNCIA ELÉTRICA EM CIRCUITOS RESISTIVOS

---

- UMA TERCEIRA FORMA DE EXPRESSAR A POTÊNCIA DISSIPADA POR UM RESISTOR CONSISTE EM EXPRESSÁ-LA EM TERMOS DE **TENSÃO** E **RESISTÊNCIA**.
- SUBSTITUINDO A EXPRESSÃO DE  $i$  NA DE  $p$ , NOS DOIS CASOS, TEM-SE:

$$p = \frac{v^2}{R}$$

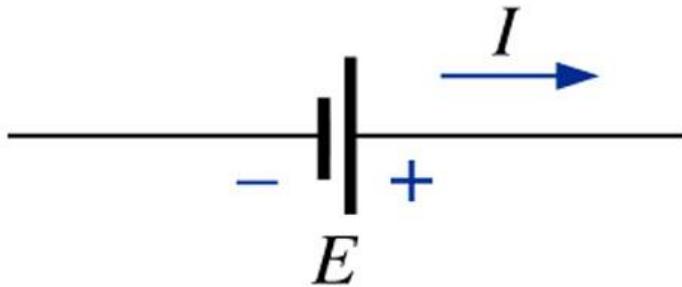
- QUANDO A UTILIZAÇÃO DE **CONDUTÂNCIAS** É MAIS CONVENIENTE, AS EXPRESSÕES DA POTÊNCIA ASSUMEM AS SEGUINTE EXPRESSÕES:

$$p = G.v^2 \quad \text{OU} \quad p = \frac{i^2}{G}$$

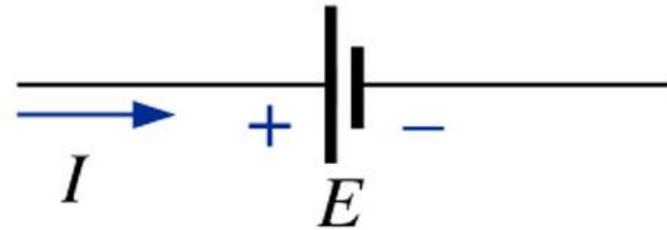
- QUALQUER UMA DESTAS EXPRESSÕES PODE SER USADA, DEPENDENDO DAS **INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS**, E O **RESULTADO** OBTIDO DEVE SER SEMPRE O **MESMO PARA UMA DADA SITUAÇÃO**.

## 3.2 – POTÊNCIA ELÉTRICA EM CIRCUITOS RESISTIVOS

- NO CASO DE **FONTES DE TENSÃO**, DEPENDENDO DA POLARIDADE DA TENSÃO E DO SENTIDO DA CORRENTE, A POTÊNCIA PODE ESTAR SENDO **FORNECIDA AO CIRCUITO**, OU PODE ESTAR SENDO **ABSORVIDA (CONSUMIDA) PELA FONTE**.



(a)



(b)

- EM (a) A FONTE FORNECE ENERGIA AO CIRCUITO.
- EM (b) A FONTE CONSUME ENERGIA DO CIRCUITO.
- EM AMBAS SITUAÇÕES O VALOR ABSOLUTO DA POTÊNCIA ENTREGUE OU CONSUMIDA PELA FONTE DE CORRENTE CONTÍNUA É:

$$P = E \cdot I \text{ (W)}$$

## 3.3 – DEFINIÇÕES

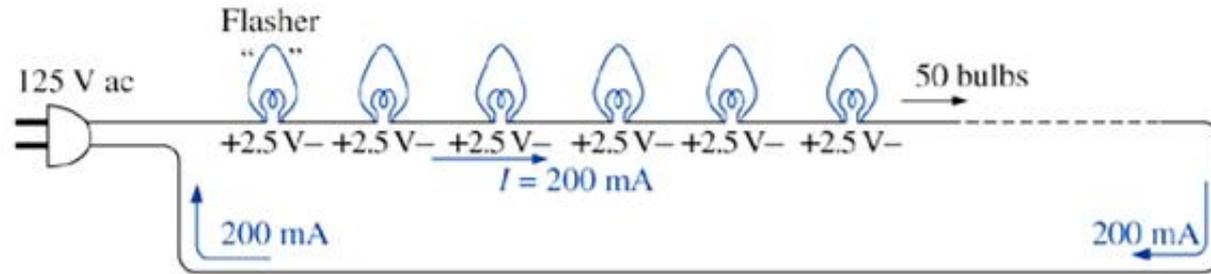
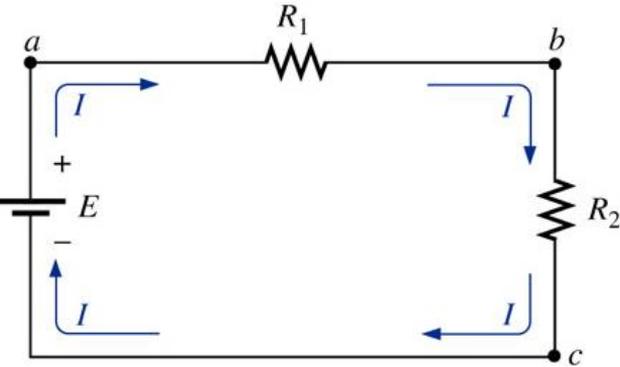
---

- AS SEGUINTE DEFINIÇÕES SÃO NECESSÁRIAS PARA A **COMPREENSÃO DAS LEIS E MÉTODOS DE SOLUÇÃO** ENVOLVENDO CIRCUITOS ELÉTRICOS, QUE SERÃO APRESENTADAS NOS ITENS SEGUINTE.

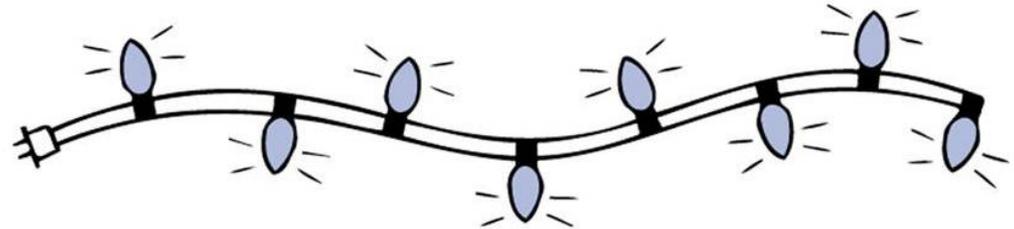
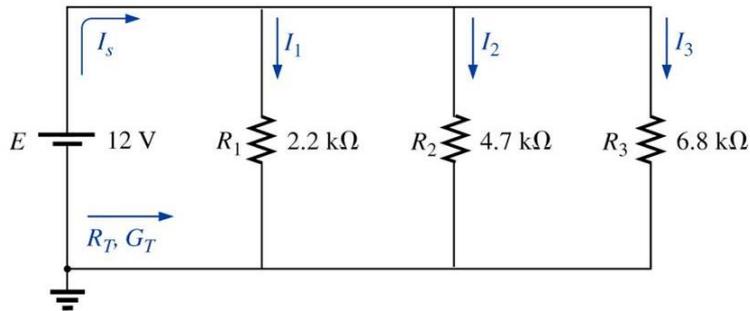
- 1 – **BIPOLO** – UM **BIPOLO** É, POR DEFINIÇÃO, UM DISPOSITIVO ELÉTRICO COM **DOIS TERMINAIS** ACESSÍVEIS, ATRAVÉS DO QUAL PODE CIRCULAR UMA CORRENTE ELÉTRICA. EM QUALQUER INSTANTE A CORRENTE QUE ENTRA POR UM DOS TERMINAIS DEVE SER IGUAL À QUE SAI PELO OUTRO TERMINAL.
- 2 – **RAMO** – UM **RAMO** DE UM CIRCUITO É UM COMPONENTE SIMPLES COMO UM RESISTOR OU UMA FONTE. ESSE TERMO TAMBÉM É APLICADO A UM GRUPO DE COMPONENTES QUE É PERCORRIDO PELA MESMA CORRENTE.
- 3 – **NÓ** – CONSIDERAMOS UM **NÓ** COMO SENDO UM PONTO DE CONEXÃO ENTRE TRÊS OU MAIS RAMOS.  
O **NÓ** TAMBÉM INCLUI TODOS OS CONDUTORES CONECTADOS AO PONTO. EM OUTRAS PALAVRAS, ELE ENGLOBALA TODOS OS PONTOS DE MESMO POTENCIAL.
- 4 – **LAÇO** – UM **LAÇO** É QUALQUER CAMINHO FECHADO EM UM CIRCUITO.
- 5 – **MALHA** – UMA **MALHA** É UM LAÇO QUE NÃO POSSUI CAMINHOS FECHADOS EM SEU INTERIOR. NÃO EXISTEM COMPONENTES DENTRO DE UMA MALHA.

# 3.3 – DEFINIÇÕES

- COMPONENTES ESTÃO CONECTADOS **EM SÉRIE** SE SÃO PERCORRIDOS PELA MESMA CORRENTE.



- COMPONENTES ESTÃO CONECTADOS **EM PARALELO** SE ESTÃO SUBMETIDOS À MESMA TENSÃO.



# 3.4 – LEIS DE KIRCHHOFF

---

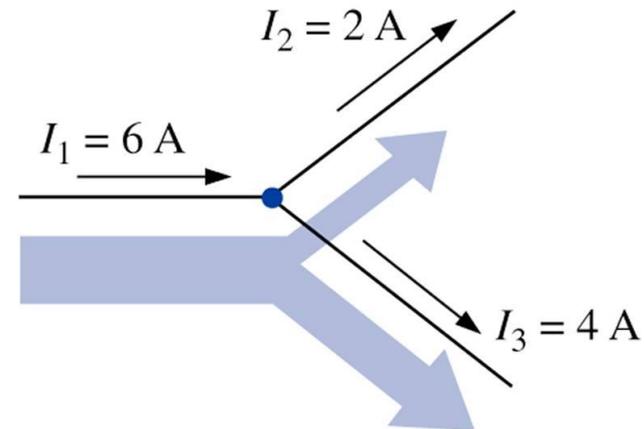
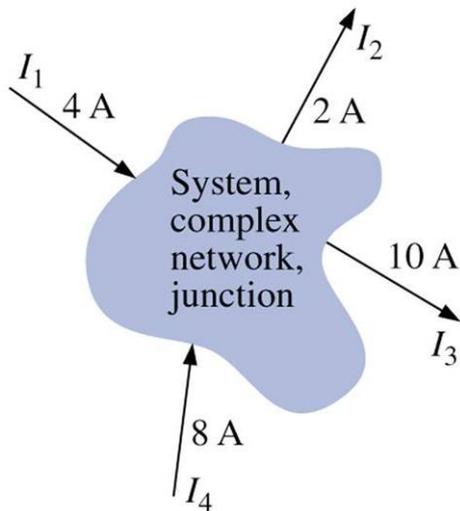
- A **LEI DE OHM** NOS POSSIBILITA RELACIONAR A TENSÃO E A CORRENTE EM UM ELEMENTO RESISTIVO.
- UMA DAS **LEIS DE KIRCHHOFF** NOS POSSIBILITA RELACIONAR ENTRE SI AS CORRENTES QUE CHEGAM E QUE SAEM DE UM NÓ, ENQUANTO QUE A OUTRA RELACIONA ENTRE SI AS TENSÕES PRESENTES EM UM LAÇO.

## 3.4.1 - LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES E CIRCUITOS CC EM PARALELO

- A **LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES**, ABREVIADA POR **LKC**, POSSUI TRÊS DIFERENTES VERSÕES.
- EM QUALQUER INSTANTE EM UM CIRCUITO:
  - 1 – A SOMA ALGÉBRICA DAS CORRENTES QUE CHEGAM EM UMA SUPERFÍCIE FECHADA É IGUAL À SOMA ALGÉBRICA DAS CORRENTES QUE SAEM DESTA SUPERFÍCIE FECHADA.
  - 2 – A SOMA ALGÉBRICA DAS CORRENTES QUE CHEGAM EM UMA SUPERFÍCIE FECHADA É ZERO: – **ENTRANDO – POSITIVAS; SAINDO – NEGATIVAS.**
  - 3 – A SOMA ALGÉBRICA DAS CORRENTES QUE SAEM DE UMA SUPERFÍCIE FECHADA É ZERO: – **ENTRANDO – NEGATIVAS; SAINDO – POSITIVAS.**

## 3.4.1 - LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES E CIRCUITOS CC EM PARALELO

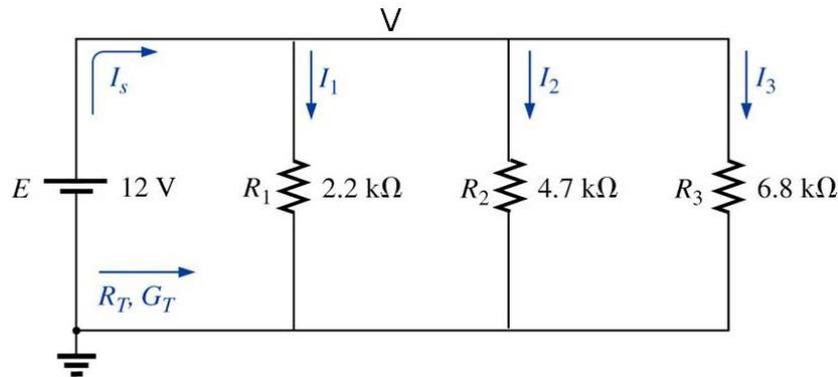
- A PALAVRA “**ALGÉBRICA**” SIGNIFICA QUE **OS SINAIS** DAS CORRENTES DEVEM SER CONSIDERADOS NA **SOMA**, LEMBRANDO QUE UMA CORRENTE POSITIVA QUE ENTRA É UMA CORRENTE NEGATIVA QUE SAI E QUE UMA CORRENTE POSITIVA QUE SAI É UMA CORRENTE NEGATIVA QUE ENTRA.



- EM QUASE TODAS AS APLICAÇÕES DE CIRCUITOS, AS SUPERFÍCIES FECHADAS SÃO OS **NÓS** CITADOS ANTERIORMENTE. PORTANTO, EM GERAL, É USADA A PALAVRA “**NÓ**” NO LUGAR DE “**SUPERFÍCIE FECHADA**” NAS VERSÕES DA **LKC**.

## 3.4.1 - LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES E CIRCUITOS CC EM PARALELO

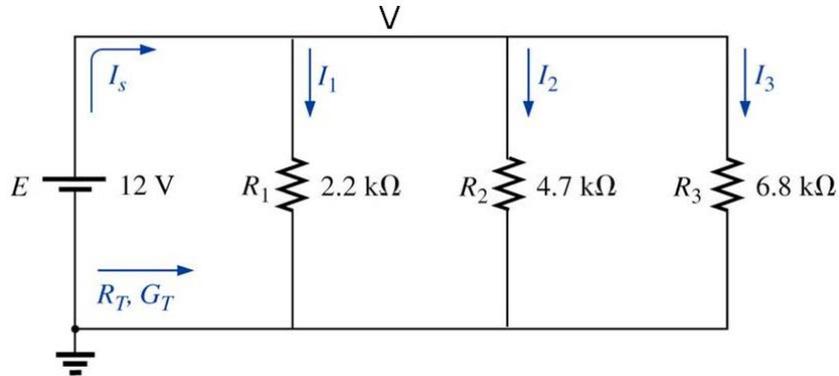
- NA APLICAÇÃO DA **LKC**, UM NÓ É ESCOLHIDO COMO **REFERÊNCIA**, OU TERRA, E INDICADO PELO SÍMBOLO ( $\perp$ ).
- NORMALMENTE, O NÓ MAIS INFERIOR DO DIAGRAMA DO CIRCUITO É TOMADO COMO NÓ DE REFERÊNCIA.
- AS TENSÕES NOS OUTROS NÓS SÃO SEMPRE CONSIDERADAS EM RELAÇÃO AO NÓ DE REFERÊNCIA.



- PARA O NÓ QUE NÃO É CONSIDERADO COMO REFERÊNCIA, A SOMA DAS CORRENTES QUE SAEM PELOS RESISTORES É IGUAL À CORRENTE QUE CHEGA NESSE NÓ VINDA DA FONTE DE CORRENTE, OU SEJA:

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3$$

## 3.4.1 - LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES E CIRCUITOS CC EM PARALELO



- PARA O CIRCUITO EM PARALELO VIMOS QUE:

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3$$

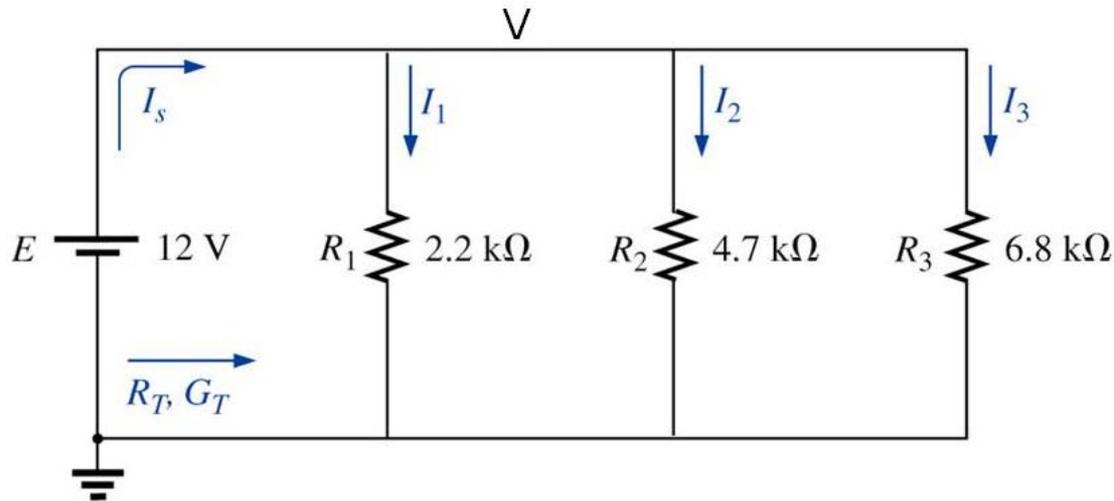
- SUBSTITUINDO  $I_i = V/R_i$  QUE É A LEI DE OHM, TEMOS:

$$I_s = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) V = \frac{1}{R_{eq}} V$$

- LOGO:  $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

- SENDO  $R_{eq}$  UM VALOR DE RESISTÊNCIA EQUIVALENTE À ASSOCIAÇÃO EM PARALELO DAS TRÊS RESISTÊNCIAS DO CIRCUITO EM ANÁLISE.

## 3.4.1 - LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES E CIRCUITOS CC EM PARALELO



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

- SE CONSIDERARMOS QUE A **CONDUTÂNCIA** DE UM ELEMENTO RESISTIVO É O INVERSO DE SUA **RESISTÊNCIA**, OU SEJA  $G = 1/R$ , TEREMOS:

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + G_3$$

$$I_s = G_{eq} \cdot V$$

$$I_s = (G_1 + G_2 + G_3) \cdot V$$

- UMA VEZ CONHECIDO O VALOR DE  $V$ , PODE-SE CALCULAR O VALOR DE CADA CORRENTE, INDIVIDUALMENTE, EMPREGANDO-SE A LEI DE OHM:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}; \quad I_2 = \frac{V}{R_2}; \quad I_3 = \frac{V}{R_3};$$

## 3.4.1 - LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES E CIRCUITOS CC EM PARALELO

**TESTE** - UMA INFORMAÇÃO IMPORTANTE PARA SE VERIFICAR O VALOR ENCONTRADO PARA  $R_{eq}$  É QUE O SEU VALOR DEVE SER SEMPRE MENOR QUE O MENOR DOS RESISTORES DO CIRCUITO PARALELO.

- PARA O CASO ESPECIAL DE APENAS DOIS RESISTORES EM PARALELO TEM-SE:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$$

- PORTANTO, 
$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

- OU SEJA, A RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE DOIS RESISTORES EM PARALELO É O PRODUTO DAS RESISTÊNCIAS DIVIDIDO PELA SUA SOMA.

## 3.4.1 - LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES E CIRCUITOS CC EM PARALELO

---

### A – GENERALIZAÇÃO DA LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES :

- QUANDO DA UTILIZAÇÃO DA LKC EM UM CIRCUITO RAZOAVELMENTE GRANDE ( REDE ) É INTERESSANTE UTILIZAR UMA NOTAÇÃO MATEMÁTICA MAIS ADEQUADA.
- A LKC AFIRMA QUE, EM CADA INSTANTE, A SOMA DAS CORRENTES ELÉTRICAS QUE CONVERGEM PARA NUM NÓ É IGUAL A ZERO.
- INDICANDO AS CORRENTES QUE ENTRAM OU SAEM DE UM NÓ  $k$  POR  $i_k(t)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , A LKC PODE SER EXPRESSA POR:

$$\sum_{k=1}^n \left[ \pm i_k (t) \right] = 0, \quad \forall t$$

- NOTE-SE QUE AS CORRENTES APARECEM AFETADAS DE UM SINAL POSITIVO OU NEGATIVO, INDEPENDENTEMENTE DE TEREM VALORES NEGATIVOS OU POSITIVOS.

# 3.4.1 - LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES E CIRCUITOS CC EM PARALELO

---

## A – GENERALIZAÇÃO DA LEI DE KIRCHHOFF DAS CORRENTES :

- PARA APLICAR ESTA LEI A UM DADO NÓ DE UMA REDE DEVEMOS, PRELIMINARMENTE:

- 1 – ESTABELEECER (ARBITRARIAMENTE) SENTIDOS DE REFERÊNCIA POSITIVOS PARA AS CORRENTES NOS VÁRIOS RAMOS QUE ESTEJAM CONECTADOS AO NÓ, ISTO É, ORIENTAR ESSES RAMOS;
- 2 – FIXAR UMA REGRA PARA ESCOLHER, NA EQUAÇÃO ANTERIOR, OS SINAIS (POSITIVOS OU NEGATIVOS) DE ACORDO COM OS SENTIDOS DE REFERÊNCIA.

PODE-SE ATRIBUIR O SINAL POSITIVO SE O SENTIDO DE REFERÊNCIA ESTIVER ENTRANDO NO NÓ, OU PODE-SE ATRIBUIR O SINAL POSITIVO SE O SENTIDO DE REFERÊNCIA ESTIVER SAINDO DO NÓ. PORÉM DEVE-SE ADOTAR O MESMO CRITÉRIO PARA TODAS AS CORRENTES QUE CONVERGEM PARA O REFERIDO NÓ.

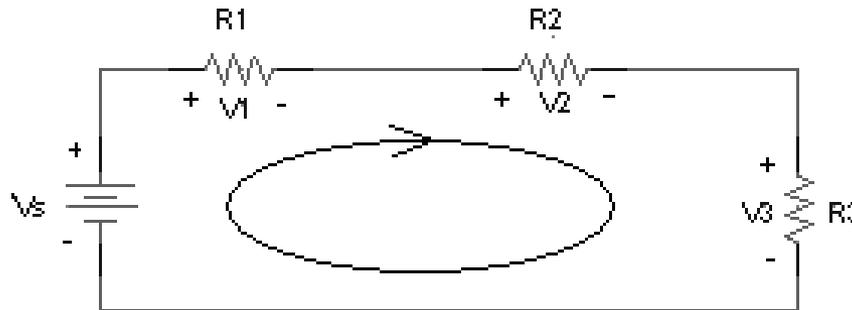
## 3.4.2 - LEI DE KIRCHHOFF DAS TENSÕES E CIRCUITOS CC EM SÉRIE

---

- A LEI DE KIRCHHOFF DAS TENSÕES, ABREVIADA POR LKT, POSSUI TRÊS VERSÕES EQUIVALENTES.
- EM QUALQUER INSTANTE EM UM LAÇO, TANTO NO SENTIDO HORÁRIO QUANTO NO ANTI-HORÁRIO:
  - 1 – A SOMA ALGÉBRICA DAS QUEDAS DE TENSÃO É IGUAL À SOMA ALGÉBRICA DAS ELEVAÇÕES DE TENSÃO.
  - 2 – A SOMA ALGÉBRICA DAS QUEDAS DE TENSÃO É IGUAL A ZERO. **CONSIDERA-SE TODAS AS TENSÕES COMO QUEDAS POSITIVAS E NEGATIVAS.**
  - 3 – A SOMA ALGÉBRICA DAS ELEVAÇÕES DE TENSÃO É IGUAL A ZERO. **CONSIDERA-SE TODAS AS TENSÕES COMO ELEVAÇÕES POSITIVAS E NEGATIVAS.**
- A PALAVRA “ALGÉBRICA” SIGNIFICA QUE OS SINAIS DAS QUEDAS OU DAS ELEVAÇÕES DE TENSÃO DEVEM SER CONSIDERADOS NA ADIÇÃO, LEMBRANDO QUE UMA ELEVAÇÃO DE TENSÃO É UMA QUEDA DE TENSÃO NEGATIVA E UMA QUEDA DE TENSÃO É UMA ELEVAÇÃO NEGATIVA.

## 3.4.2 - LEI DE KIRCHHOFF DAS TENSÕES E CIRCUITOS CC EM SÉRIE

- NA APLICAÇÃO DA LKT, NORMALMENTE (MAS NÃO OBRIGATORIAMENTE) CONSIDERA-SE O SENTIDO HORÁRIO DE CORRENTE COMO REFERÊNCIA, CONFORME MOSTRADO NO CIRCUITO SÉRIE DA FIGURA A SEGUIR, E, ENTÃO, A LKT É APLICADA NA DIREÇÃO DA CORRENTE.



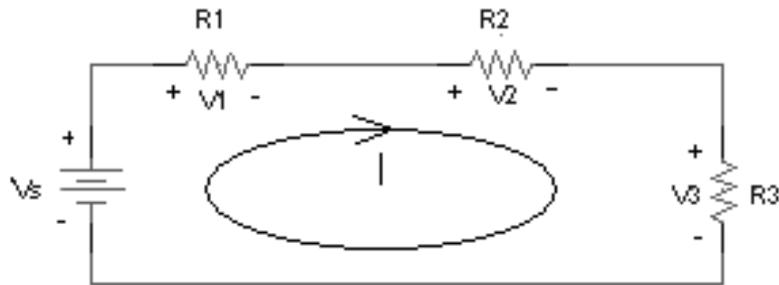
Enunciado 1 -  $V_1 + V_2 + V_3 = V_s$  Sentido horário

Enunciado 2 -  $-V_s + V_1 + V_2 + V_3 = 0$  Sentido horário

Enunciado 3 -  $V_s - V_1 - V_2 - V_3 = 0$  Sentido horário

## 3.4.2 - LEI DE KIRCHHOFF DAS TENSÕES E CIRCUITOS CC EM SÉRIE

- CONSIDERANDO O PRIMEIRO ENUNCIADO DA LKT APLICADO NO CIRCUITO A SEGUIR, TEMOS QUE A SOMA DAS QUEDAS DE TENSÃO SOBRE OS RESISTORES,  $V_1 + V_2 + V_3$ , É IGUAL À ELEVAÇÃO DE TENSÃO,  $V_s$ , SOBRE A FONTE DE TENSÃO:



$$V_s = V_1 + V_2 + V_3$$

- APLICANDO-SE A LEI DE OHM EM CADA RESISTOR TEM-SE:

$$V_s = I.R_1 + I.R_2 + I.R_3 = I.(R_1 + R_2 + R_3) = I.R_{eq}$$

- SENDO  $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

- LOGO  $R_{eq}$  É A RESISTÊNCIA EQUIVALENTE À ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , OU SEJA, A RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE RESISTORES CONECTADOS EM SÉRIE É A SOMA DAS RESISTÊNCIAS INDIVIDUAIS.

LOGO,  $I = V_s/R_{eq} = V_s/(R_1 + R_2 + R_3)$

## 3.4.2 - LEI DE KIRCHHOFF DAS TENSÕES E CIRCUITOS CC EM SÉRIE

---

- SE UM CIRCUITO SÉRIE POSSUIR MAIS DE UMA FONTE DE TENSÃO, ENTÃO:

$$V_s = V_{s1} + V_{s2} + V_{s3} + \dots$$

- SENDO QUE CADA TERMO  $V_{s_i}$  É POSITIVO PARA UMA ELEVAÇÃO DE POTENCIAL E NEGATIVO PARA UMA QUEDA DE POTENCIAL NA DIREÇÃO DE I.
- A LKT É RARAMENTE APLICADA PARA UM LAÇO CONTENDO FONTES DE CORRENTE PORQUE A TENSÃO SOBRE UMA FONTE DE CORRENTE NÃO É CONHECIDA.

## 3.4.2 - LEI DE KIRCHHOFF DAS TENSÕES E CIRCUITOS CC EM SÉRIE

---

### A – GENERALIZAÇÃO DA LEI DE KIRCHHOFF DAS TENSÕES :

- QUANDO DA UTILIZAÇÃO DA LKT EM UM CIRCUITO RAZOAVELMENTE GRANDE ( REDE ) É INTERESSANTE UTILIZAR UMA NOTAÇÃO MATEMÁTICA MAIS ADEQUADA.
- A LKT AFIRMA QUE, EM CADA INSTANTE, A SOMA ALGÉBRICA DAS TENSÕES ELÉTRICAS AO LONGO DE UM LAÇO É NULA. INDICANDO AS TENSÕES SOBRE OS BIPOLOS ( ELEMENTOS DE DOIS TERMINAIS ) POR  $v_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, l$ , A LKT PODE SER EXPRESSA POR :

$$\sum_{i=1}^l [\pm v_i(t)] = 0, \quad \forall t$$

- TODAS AS CONSIDERAÇÕES REALIZADAS SOBRE A APLICAÇÃO DA LKT DEVEM SER RESPEITADAS.

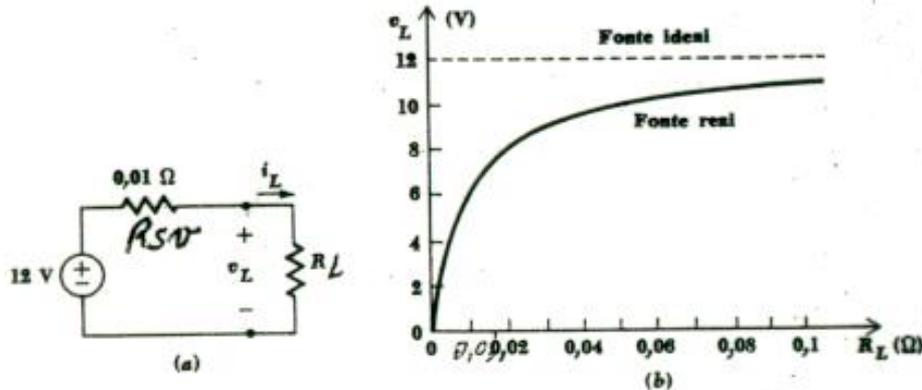
## 3.5 – FONTES REAIS

---

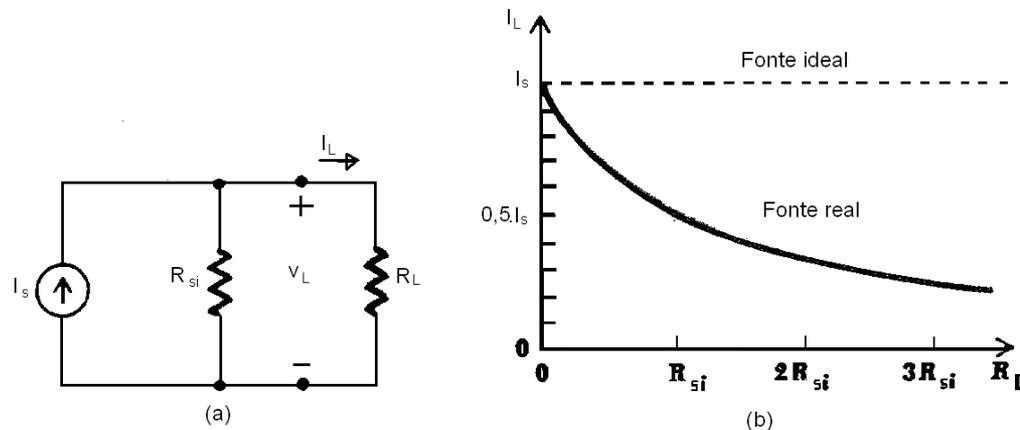
- A FONTE DE TENSÃO IDEAL É UM DISPOSITIVO ONDE A VOLTAGEM NOS TERMINAIS É INDEPENDENTE DA CORRENTE QUE PASSA POR ESSA FONTE.
- UMA FONTE IDEAL CC DE 1 V PODE FORNECER 1 (A) DE CORRENTE A UM RESISTOR DE  $1\ \Omega$  ( $P = 1 \cdot 1 = 1\text{W}$ ) OU UMA CORRENTE DE 1.000.000 (A) A UM RESISTOR DE  $1\ \mu\Omega$  ( $P = 1 \cdot 10^6 = 10^6\text{W}$ ).
- OU SEJA, ELA PODE FORNECER UMA QUANTIDADE ILIMITADA DE POTÊNCIA. CERTAMENTE NÃO EXISTE TAL DISPOSITIVO.
- UMA FONTE REAL PODE SER REPRESENTADA POR UMA FONTE IDEAL APENAS ENQUANTO CORRENTES OU POTÊNCIAS RAZOÁVEIS DEVAM SER FORNECIDAS PELA FONTE.
- NA REALIDADE OCORRE UMA DIMINUIÇÃO DA TENSÃO FORNECIDA PELA FONTE À MEDIDA QUE A CORRENTE QUE CIRCULA POR ELA AUMENTA - OCORRE UMA QUEDA DE TENSÃO INTERNA À FONTE.
- PORTANTO, O CIRCUITO DA FONTE DE TENSÃO IDEAL DEVE SER MODIFICADO PARA PODER LEVAR EM CONTA A QUEDA DE TENSÃO APARENTE EM SEUS TERMINAIS QUANDO SE SOLICITA CORRENTES ELEVADAS.
- ESTA QUEDA DE TENSÃO INTERNA É REPRESENTADA POR UMA RESISTÊNCIA EM SÉRIE COM A FONTE IDEAL. A FIGURA A SEGUIR MOSTRA UMA FONTE DE TENSÃO REAL.

# 3.5 – FONTES REAIS

- A FIGURA A SEGUIR MOSTRA UMA FONTE DE TENSÃO REAL.

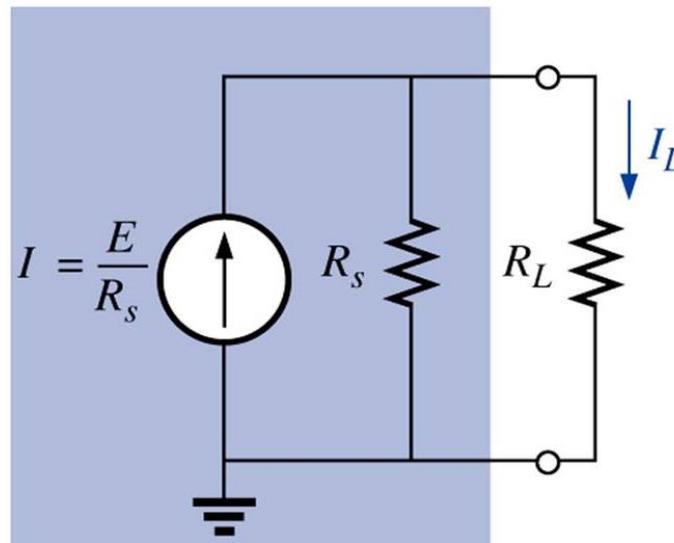
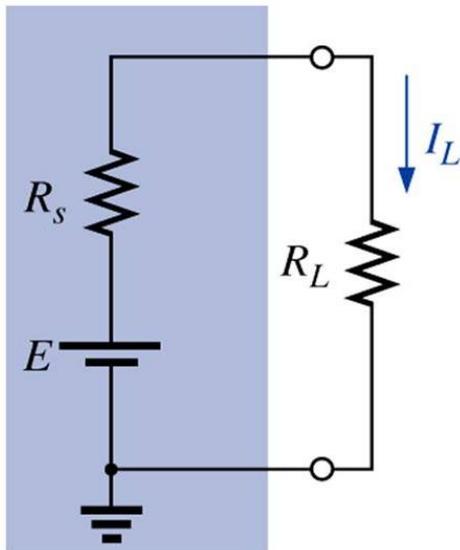


- COMENTÁRIOS ANÁLOGOS PODEM SER FEITOS COM RELAÇÃO ÀS FONTES DE CORRENTE.
- UMA FONTE DE CORRENTE REAL É DEFINIDA COMO UMA FONTE DE CORRENTE IDEAL EM PARALELO COM UM RESISTOR INTERNO. A FIGURA A SEGUIR ILUSTRA UMA FONTE DE CORRENTE REAL.



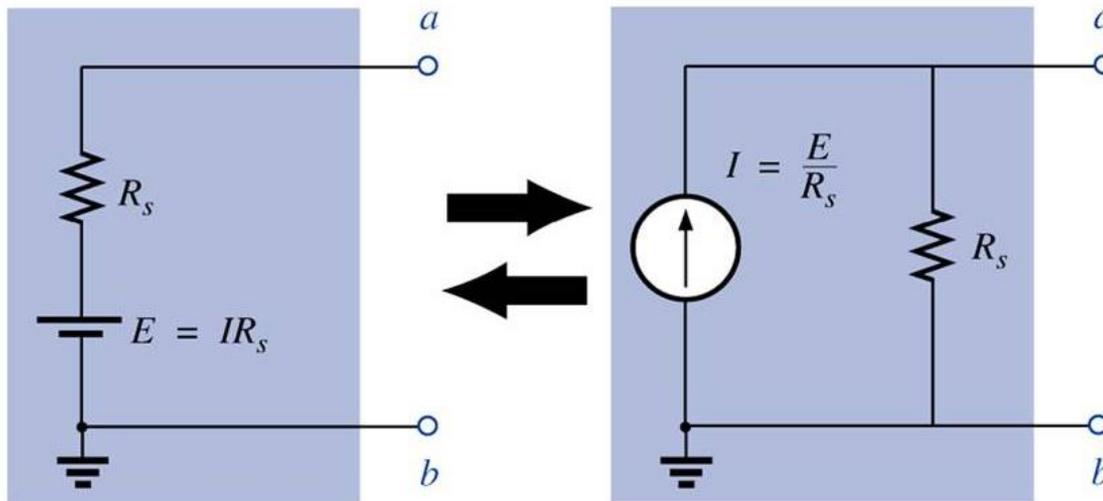
## 3.6 – TRANSFORMAÇÃO DE FONTES

- DEPENDENDO DO TIPO DE ANÁLISE, UM CIRCUITO APENAS COM FONTES DE CORRENTE OU APENAS COM FONTES DE TENSÃO PODE SER PREFERÍVEL.
- POR ISSO, TORNA-SE CONVENIENTE, ÀS VEZES, A CONVERSÃO DE UMA FONTE DE CORRENTE EM UMA FONTE DE TENSÃO EQUIVALENTE OU VICE-VERSA.
- PARA A TRANSFORMAÇÃO, CADA **FONTE DE TENSÃO** DEVE TER UMA RESISTÊNCIA INTERNA EM **SÉRIE**, E CADA **FONTE DE CORRENTE** DEVE TER UMA RESISTÊNCIA INTERNA EM **PARALELO**.
- A FIGURA A SEGUIR MOSTRA A TRANSFORMAÇÃO DE UMA **FONTE DE TENSÃO** EM UMA **FONTE DE CORRENTE** EQUIVALENTE.



## 3.6 – TRANSFORMAÇÃO DE FONTES

- NA TRANSFORMAÇÃO DE UMA FONTE DE TENSÃO EM UMA FONTE DE CORRENTE EQUIVALENTE, O MESMO RESISTOR DA FONTE DE TENSÃO ESTÁ EM PARALELO COM A FONTE DE CORRENTE IDEAL, E O VALOR DA FONTE DE CORRENTE IDEAL É IGUAL AO VALOR DA FONTE DE TENSÃO IDEAL DIVIDIDO POR ESSE RESISTOR.
- A SETA DA FONTE DE CORRENTE É EM DIREÇÃO AO TERMINAL POSITIVO DA FONTE DE TENSÃO.



- ESSA EQUIVALÊNCIA É APLICADA APENAS A CIRCUITOS EXTERNOS CONECTADOS A ESSAS FONTES – AS TENSÕES E CORRENTES NESSE CIRCUITO EXTERNO SERÃO AS MESMAS PARA AMBAS AS FONTES, MAS INTERNAMENTE ESSAS FONTES NÃO SÃO EQUIVALENTES.