

# Conceitos Básicos de Teoria dos Circuitos



**Teresa Mendes de Almeida**

[TeresaMAlmeida@ist.utl.pt](mailto:TeresaMAlmeida@ist.utl.pt)

**DEEC**

**Área Científica de Electrónica**

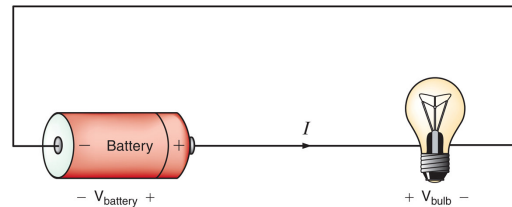
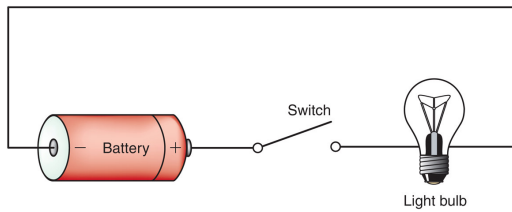
Fevereiro de 2008

## Matéria

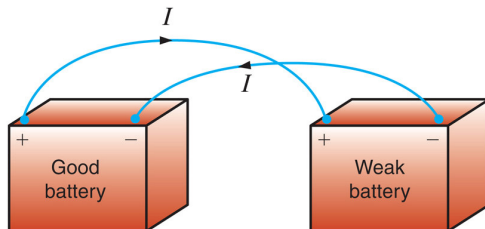
2

- **Conceitos elementares**
  - Circuito eléctrico
  - Topologia, nó, ramo e malha
  - SI Unidades e prefixos
  - Condução e corrente eléctrica
- **Corrente eléctrica**
  - sentido convencional
- **Tensão eléctrica**
- **Gamas de Tensões e Correntes**
- **Grandezas eléctricas**
  - notação
  - DC e AC
- **Energia e Potência**
  - Convenção passiva sinal
- **Geradores independentes**
  - tensão e corrente
- **Geradores dependentes**
  - tensão e corrente
- **Resistência**
  - Lei de Ohm
  - Potência
  - Condutância
  - Curto-circuito
  - Circuito aberto

## Lanterna



## Bateria do carro



## Circuito eléctrico

- componentes eléctricos interligados
- representação simbólica

- componentes
- forma como estão ligados

## Circuito de parâmetros concentrados

- pode desprezar-se propagação e radiação ondas electromagnéticas
- parâmetros concentrados nos componentes
- fios condutores não são considerados na análise

## Descrição matemática do circuito

- resistivo - equações algébricas
- reactivo - equações diferenciais

# Topologia, Nós, Ramos e Malhas

## Topologia – forma como elementos estão interligados

- não identifica os diferentes tipos de componentes do circuito

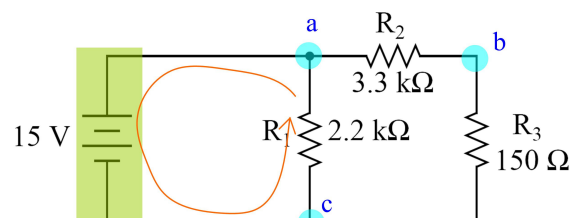
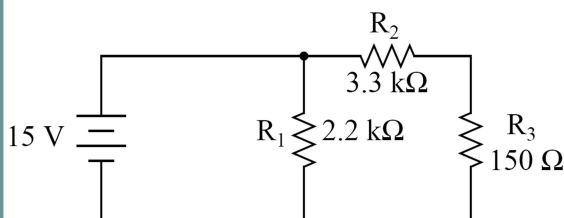
## Nó – ponto de ligação entre dois ou mais elementos do circuito

## Ramo – linha representativa do componente

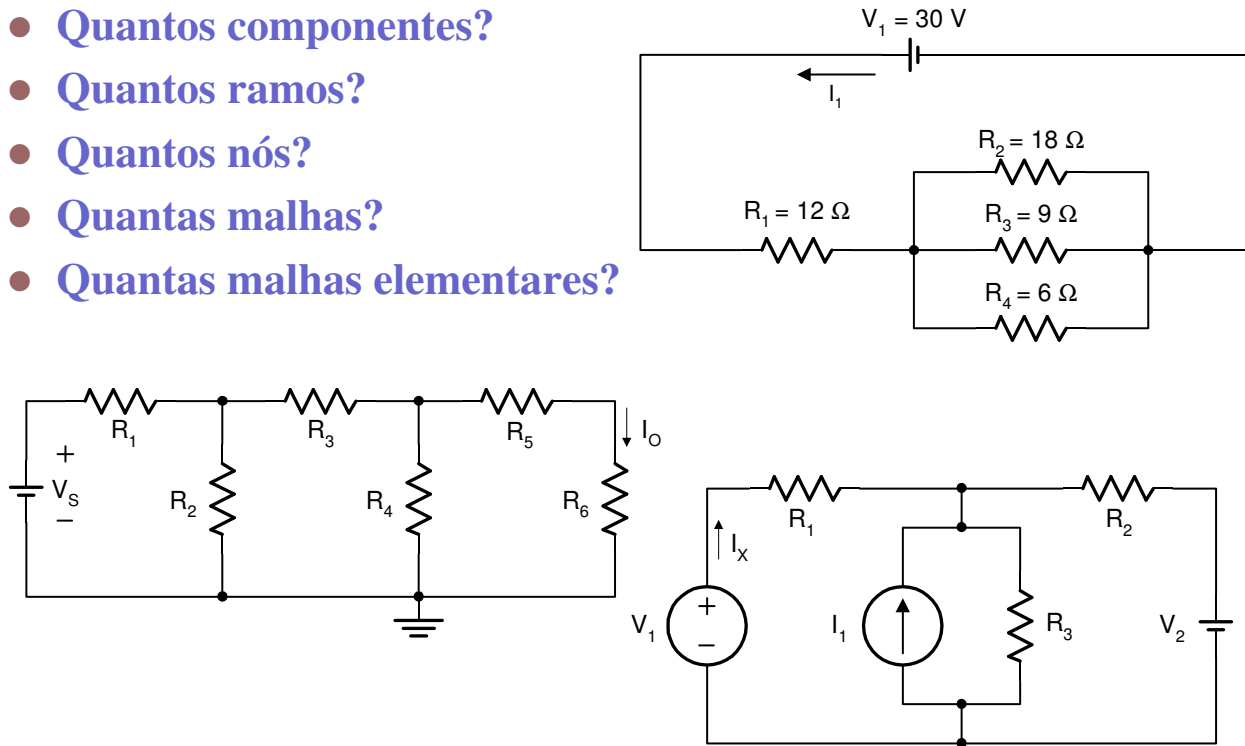
- $N.^{\circ}$  ramos =  $N.^{\circ}$  componentes

## Malha – caminho fechado através dos ramos

- nó inicial e final é o mesmo
  - sem passar 2 vezes pelo mesmo nó
  - sentido de circulação – horário ou anti-horário
- malha elementar – quando percorrida não abraça nenhum componente



- Quantos componentes?
- Quantos ramos?
- Quantos nós?
- Quantas malhas?
- Quantas malhas elementares?



## Sistema Internacional de Unidades (SI)

### Sistema métrico de unidades

- Conjunto de:
  - unidades base
  - prefixos
  - unidades derivadas

### MKSA

- metro – quilograma – segundo – ampére

Table 1 - SI base units

Name	Symbol	Quantity
metre	m	length
kilogram	kg	mass
second	s	time
ampere	A	electric current
kelvin	K	thermodynamic temperature
mole	mol	amount of substance
candela	cd	luminous intensity

Table 2 - SI Prefixes

Name	yotta-	zetta-	exa-	peta-	tera-	giga-	mega-	kilo-	hecto-	deca-
Symbol	Y	Z	E	P	T	G	M	k	h	da
Factor	$10^{24}$	$10^{21}$	$10^{18}$	$10^{15}$	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^2$	$10^1$
Name	deci-	centi-	milli-	micro-	nano-	pico-	femto-	atto-	zepto-	yocto-
Symbol	d	c	m	$\mu$	n	p	f	a	z	y
Factor	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$	$10^{-18}$	$10^{-21}$	$10^{-24}$

$$\begin{aligned}
 1\mu s &= 10^{-6} s \\
 30ms &= 3 \times 10^{-2} s \\
 20nA &= 2 \times 10^{-8} A \\
 0,45kA &= 450A
 \end{aligned}$$

Named units derived from SI base units

Name	Symbol	Quantity	Expression in terms of other units	Expression in terms of SI base units
<b>hertz</b>	Hz	frequency	1/s	s <sup>-1</sup>
<b>newton</b>	N	force, weight	m·kg/s <sup>2</sup>	m·kg·s <sup>-2</sup>
<b>pascal</b>	Pa	pressure, stress	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> ·kg·s <sup>-2</sup>
<b>joule</b>	J	energy, work, heat	N·m	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup>
<b>watt</b>	W	power, radiant flux	J/s	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup>
<b>coulomb</b>	C	electric charge or electric flux	s·A	s·A
<b>volt</b>	V	voltage, electrical potential difference, electromotive force	W/A = J/C	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup> ·A <sup>-1</sup>
<b>farad</b>	F	electric capacitance	C/V	m <sup>-2</sup> ·kg <sup>-1</sup> ·s <sup>4</sup> ·A <sup>2</sup>
<b>ohm</b>	Ω	electric resistance, impedance, reactance	V/A	m <sup>2</sup> ·kg <sup>-3</sup> ·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-2</sup>
<b>siemens</b>	S	electrical conductance	1/Ω	m <sup>-2</sup> ·kg <sup>-1</sup> ·s <sup>3</sup> ·A <sup>2</sup>
<b>weber</b>	Wb	magnetic flux	J/A	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-1</sup>
<b>tesla</b>	T	magnetic field	V·s/m <sup>2</sup> = Wb/m <sup>2</sup> = N/A·m	kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-1</sup>
<b>henry</b>	H	inductance	V·s/A = Wb/A	m <sup>2</sup> ·kg <sup>-2</sup> ·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-2</sup>
<b>Celsius</b>	°C	Celsius Temperature	t <sub>C</sub> = t <sub>K</sub> - 273.15	K
<b>lumen</b>	lm	luminous flux	cd·sr	cd
<b>lux</b>	lx	illuminance	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> ·cd
<b>becquerel</b>	Bq	radioactivity (decays per unit time)	1/s	s <sup>-1</sup>
<b>gray</b>	Gy	absorbed dose (of ionizing radiation)	J/kg	m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>
<b>sievert</b>	Sv	equivalent dose (of ionizing radiation)	J/kg	m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>
<b>katal</b>	kat	catalytic activity	mol/s	s <sup>-1</sup> ·mol

## Condução e corrente eléctrica

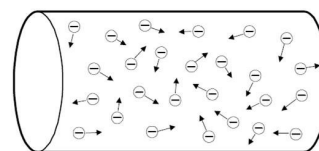
### Material condutor

- electrões livres
- sujeitos a pequenas forças de atracção do núcleo
- ex: cobre e alumínio

**Carga electrão**  
-  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

### Sem influência externa

- comportamento aleatório

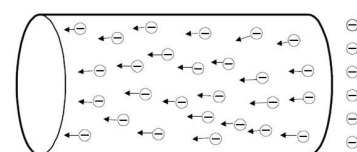


### Sob influência externa

- electrões livres podem ter movimento ordenado numa direcção

### Corrente eléctrica

- movimento de electrões
- analogia – fluído que se desloca



### Carga

- quantidade mais elementar a considerar nos circuitos eléctricos

- **Fluxo de carga eléctrica, que atravessa uma superfície, por unidade de tempo**

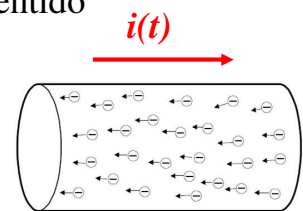
$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad [A] = \frac{[C]}{[s]} \quad [Ampere] = \frac{[Coulomb]}{[segundo]}$$

- **Qual a corrente associada a um movimento de  $10^{18}$  electrões durante 10 segundos?**

$$I = \frac{10^{18} \times 1,6 \times 10^{-19}}{10} = 1,6 \times 10^{-2} = 16mA$$

- **Sentido convencional da corrente**

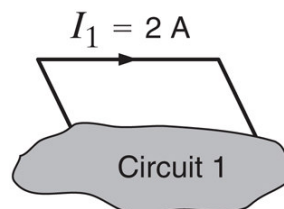
- para além do valor numérico é sempre preciso indicar sentido
- convenção
  - sentido do movimento de cargas positivas
  - embora se saiba que é um movimento de electrões



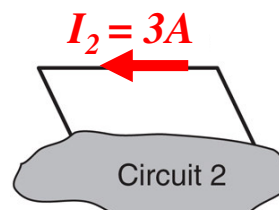
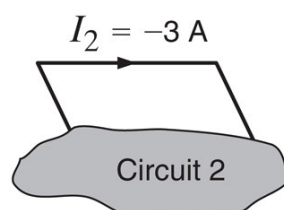
## Sentido da corrente eléctrica

- **Como saber qual o sentido?**

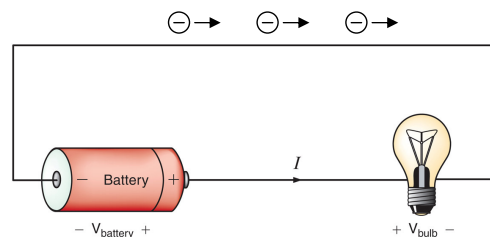
- se corrente é desconhecida não se sabe o sentido!
- então arbitra-se um sentido
- fazem-se os cálculos
  - resultado positivo – sentido é o que foi arbitrado



- resultado negativo – sentido é contrário ao que foi arbitrado



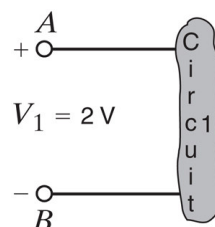
- **Movimento de cargas eléctricas**
  - o que permite transferência de energia
- **Para existir corrente**
  - tem de existir uma fonte de energia
  - pilha – fornece energia
  - lâmpada – recebe energia



## Tensão eléctrica

- energia necessária para mover uma carga eléctrica (electrão) do potencial mais elevado para o potencial mais baixo
- diferença do nível de energia entre uma carga unitária colocada em cada um dos dois pontos
- também chamada
  - diferença de potencial
  - força electromotriz
- medida entre dois pontos (nós) do circuito

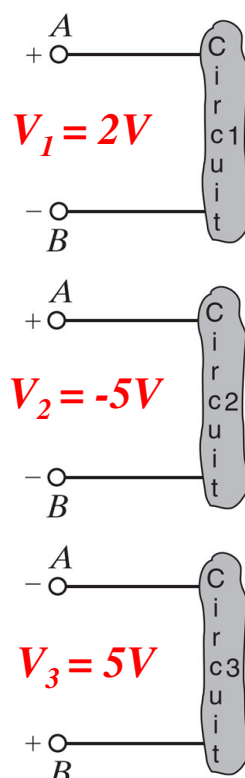
$$v = \frac{dw}{dq} \quad [Volt] = \frac{[Joule]}{[Coulomb]} \quad [V] = \frac{[J]}{[C]}$$



# Tensão eléctrica

- **Medida entre dois pontos**

$$V_{AB} = V_A - V_B \quad V_{BA} = V_B - V_A = -(V_A - V_B) = -V_{AB}$$
- **É sempre referenciada a um ponto**
  - $V_{AB}$ 
    - tensão  $V_A$  medida relativamente à tensão  $V_B$
- **Como saber o sentido (+ / -)?**
  - se tensão é desconhecida não se sabe o sentido!
  - então arbitra-se um sentido
  - fazem-se os cálculos
    - resultado positivo
      - sentido é o que foi arbitrado
    - resultado negativo
      - sentido é contrário ao que foi arbitrado
- **Interpretar o resultado**



## Tensão (V)

$10^8$	Lightning bolt
$10^6$	High-voltage transmission lines Voltage on a TV picture tube
$10^4$	Large industrial motors ac outlet plug in U.S. households
$10^2$	Car battery Voltage on integrated circuits Flashlight battery
$10^0$	
$10^{-2}$	Voltage across human chest produced by the heart (EKG)
$10^{-4}$	Voltage between two points on human scalp (EEG)
$10^{-6}$	Antenna of a radio receiver
$10^{-8}$	
$10^{-10}$	

## Corrente (A)

$10^6$	Lightning bolt
$10^4$	Large industrial motor current
$10^2$	Typical household appliance current
$10^0$	Causes ventricular fibrillation in humans
$10^{-2}$	Human threshold of sensation
$10^{-4}$	
$10^{-6}$	Integrated circuit (IC) memory cell current
$10^{-8}$	
$10^{-10}$	
$10^{-12}$	
$10^{-14}$	Synaptic current (brain cell)

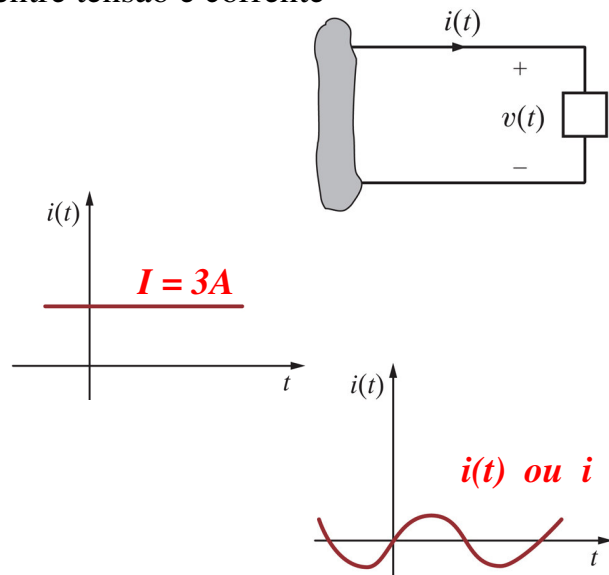
# Grandezas eléctricas

## Tensão (V) e Corrente (I)

- equações do circuito são escritas em termos destas duas grandezas
- componentes eléctricos
  - descritos através das relações entre tensão e corrente
    - resistivos – eq. algébricas
    - reactivos – eq. diferenciais

## Notação

- Maiúsculas
  - grandeza constante no tempo
    - grandeza contínua
  - DC – direct current
- Minúsculas
  - grandeza variável no tempo
  - AC – alternating current



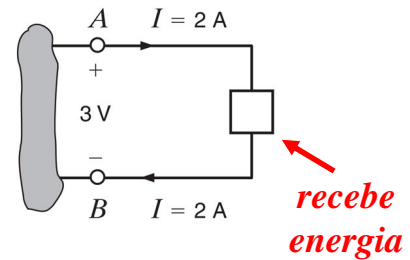
## Componente do circuito pode fornecer ou receber energia

### $I_{AB}=2A$

- carga positiva de  $2C$  move-se de A para B

- através do componente
- em cada segundo

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$



### $V_{AB}=3V$

- movimento de carga positiva
  - do potencial mais alto para o potencial mais baixo
  - 1C perde 3J de energia ao atravessar o componente

$$v = \frac{dw}{dq}$$

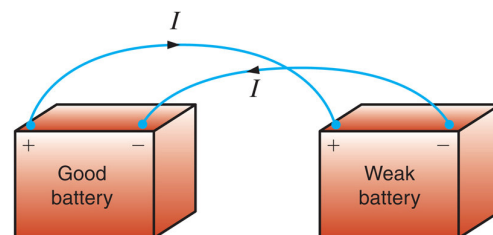
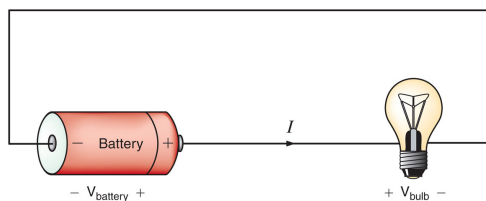
## Resultado

- componente recebe (absorve) 6J de energia por segundo

## Potência

$$v \times i = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = \frac{dw}{dt} = p \quad p(t) = \frac{dw(t)}{dt} \quad [W] = \frac{[J]}{[s]} \quad [Watt] = \frac{[Joule]}{[segundo]}$$

# Potência



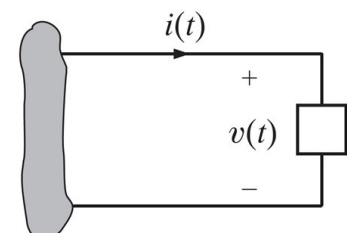
## Cálculo da potência

$$p(t) = v(t) \times i(t) \quad P = VI$$

- que sentidos considerar para v e i?

## Convenção passiva do sinal

- no componente onde se quer calcular a potência
- sentidos de tensão e corrente concordantes
  - corrente entra no terminal + marcado para a tensão
  - independentemente dos seus valores numéricos!



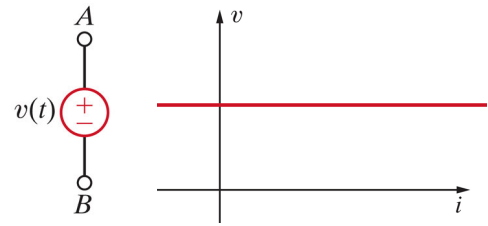
## Interpretação do resultado

- $P > 0 \rightarrow$  componente recebe (absorve) energia
- $P < 0 \rightarrow$  componente fornece energia



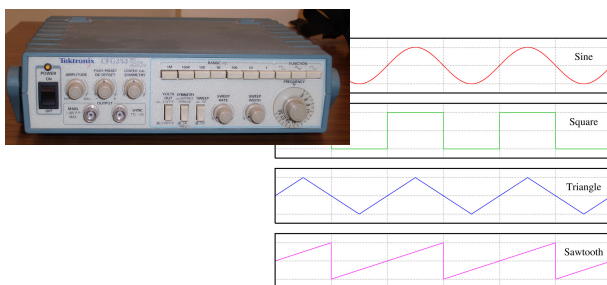
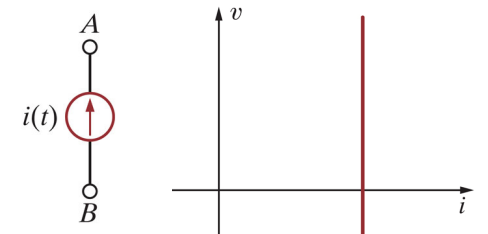
## Gerador de Tensão: $V_{AB}$

- impõe valor da tensão aos seus terminais
- qual a corrente que passa no gerador?
  - é preciso analisar o circuito para saber
- fonte de tensão DC



## Gerador de Corrente: $I_{BA}$

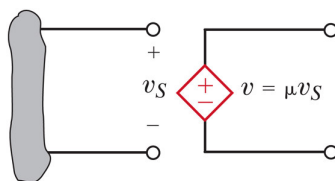
- impõe valor de corrente que o percorre
- qual a tensão aos seus terminais?
  - é preciso analisar o circuito para saber



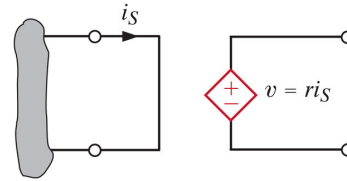
# Geradores dependentes

## Gerador de Tensão

- Controlado por tensão

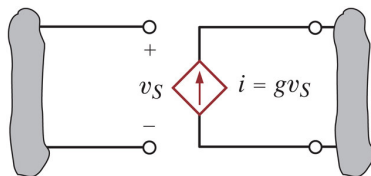


- Controlado por corrente

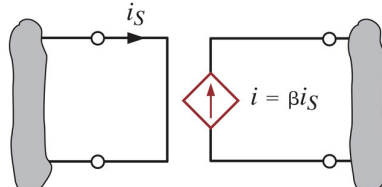


## Gerador de Corrente

- Controlado por tensão



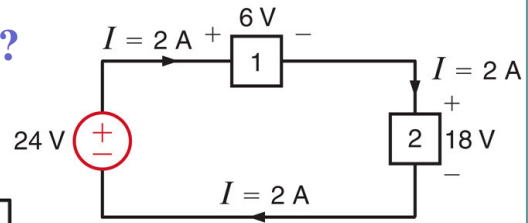
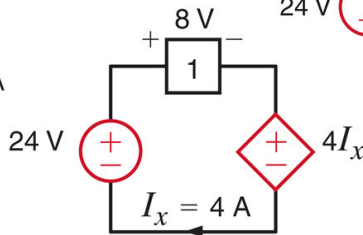
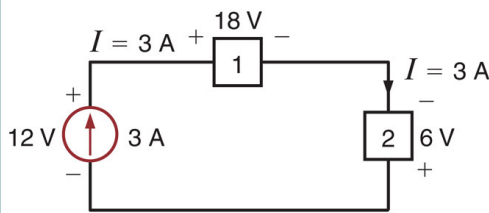
- Controlado por corrente



## grandeza do gerador depende de tensão/corrente no circuito

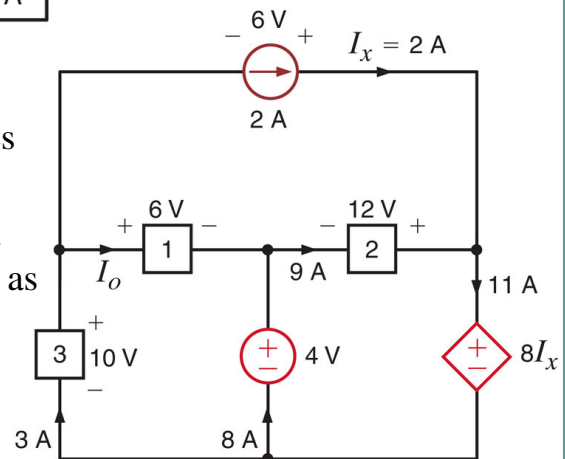
- modelo que permite representar o funcionamento de determinados componentes (p. ex. amplificador operacional)

- Que componentes fornecem energia?
- Qual a soma de todas as potências?



- Quanto vale  $I_0$ ?

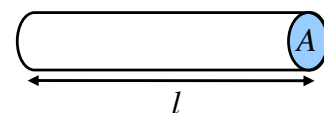
- calcular potência em todos componentes excepto no 1 (não se sabe  $I_0$ )
- num circuito há sempre conservação da energia, logo a soma algébrica de todas as potências é sempre zero
- calcular potência no componente 1
- calcular  $I_0$



## Resistência

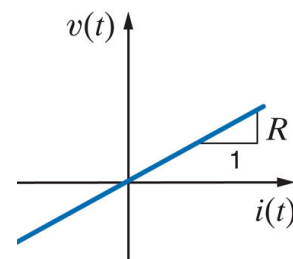
- Condutor cilíndrico homogêneo

- $R$  = resistência  $[\Omega]$
  - $\rho$  = resistividade  $[\Omega \text{ m}]$
  - $l$  = comprimento  $[\text{m}]$
  - $A$  = secção transversal  $[\text{m}^2]$
- $$R = \rho \frac{l}{A}$$
- $$R \geq 0$$



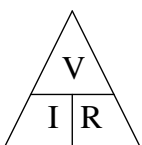
- Resistência

- componente eléctrico
- tensão é directamente proporcional à corrente
- a constante de proporcionalidade é a resistência



- Lei de Ohm

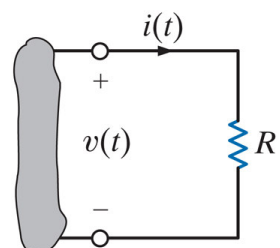
- sentidos V e I concordantes!



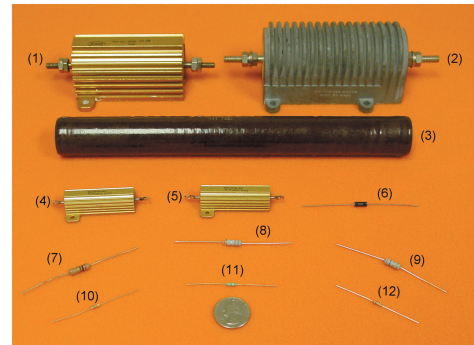
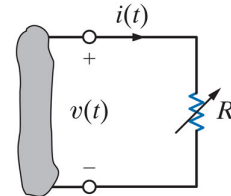
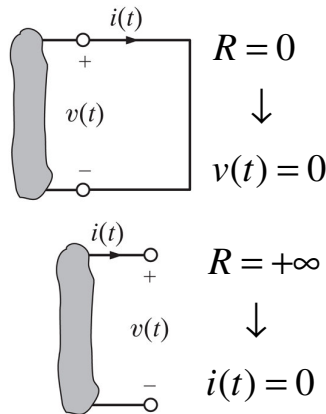
$$V = RI \quad R = \frac{V}{I} \quad I = \frac{V}{R}$$

$$[\Omega] = \frac{[\text{V}]}{[\text{A}]}$$

$$[\text{Ohm}] = \frac{[\text{Volt}]}{[\text{Ampere}]}$$



- Condutância**
 $G = \frac{1}{R}$  [S] [Siemens]  $I = \frac{V}{R} \rightarrow I = GV$ 
  - inverso da resistência
- Potência**
 $P = VI = \frac{V^2}{R} = RI^2$   $P \geq 0$ 
  - resistência recebe energia eléctrica
  - por efeito de Joule dissipa-a sob a forma de calor
- Curto-circuito**
  - resistência nula
  - tensão nula
- Circuito aberto**
  - resistência infinita
  - corrente nula



## Exemplos de aplicação

- Qual a corrente e a potência absorvida na R?**
- Qual a corrente e qual a potência fornecida pela fonte?**
- Quanto vale  $V_S$  e qual a potência fornecida pela fonte?**
- Quanto vale  $V_S$  e qual a potência fornecida pela fonte?**

