



Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

PSI3211

Circuitos Elétricos I

Bloco 1

Carga, Corrente, Tensão, Energia, Potência

Prof^a Denise Consonni

PSI3211 CIRCUITOS ELÉTRICOS I

1. Conceitos Básicos e bipolos elementares

Carga, Corrente, Tensão, Energia, Potência
Bipolos: R, L, C e geradores independentes;
Excitações

2. Redes e Leis Básicas

Gráficos
Leis de Kirchhoff
Conceitos sobre Resposta em Frequência

3. Análise Nodal

4. Técnicas de simplificação e Teoremas das Redes

5. Redes de 1ª ordem

6. Redes de 2ª ordem

7. Equações diferenciais lineares e Transformada de Laplace

**ENGENHARIA
ELÉTRICA**



**INFORMAÇÃO
ENERGIA**

A Engenharia Elétrica visa essencialmente
prover

RECURSOS

materiais, dispositivos

processos físicos e

químicos

MÉTODOS

análise e síntese

para promover a

- Produção
- Transmissão
- Distribuição
- Armazenagem
- Transformação
- Processamento

de **ENERGIA** e **INFORMAÇÃO**

Engenharia Elétrica



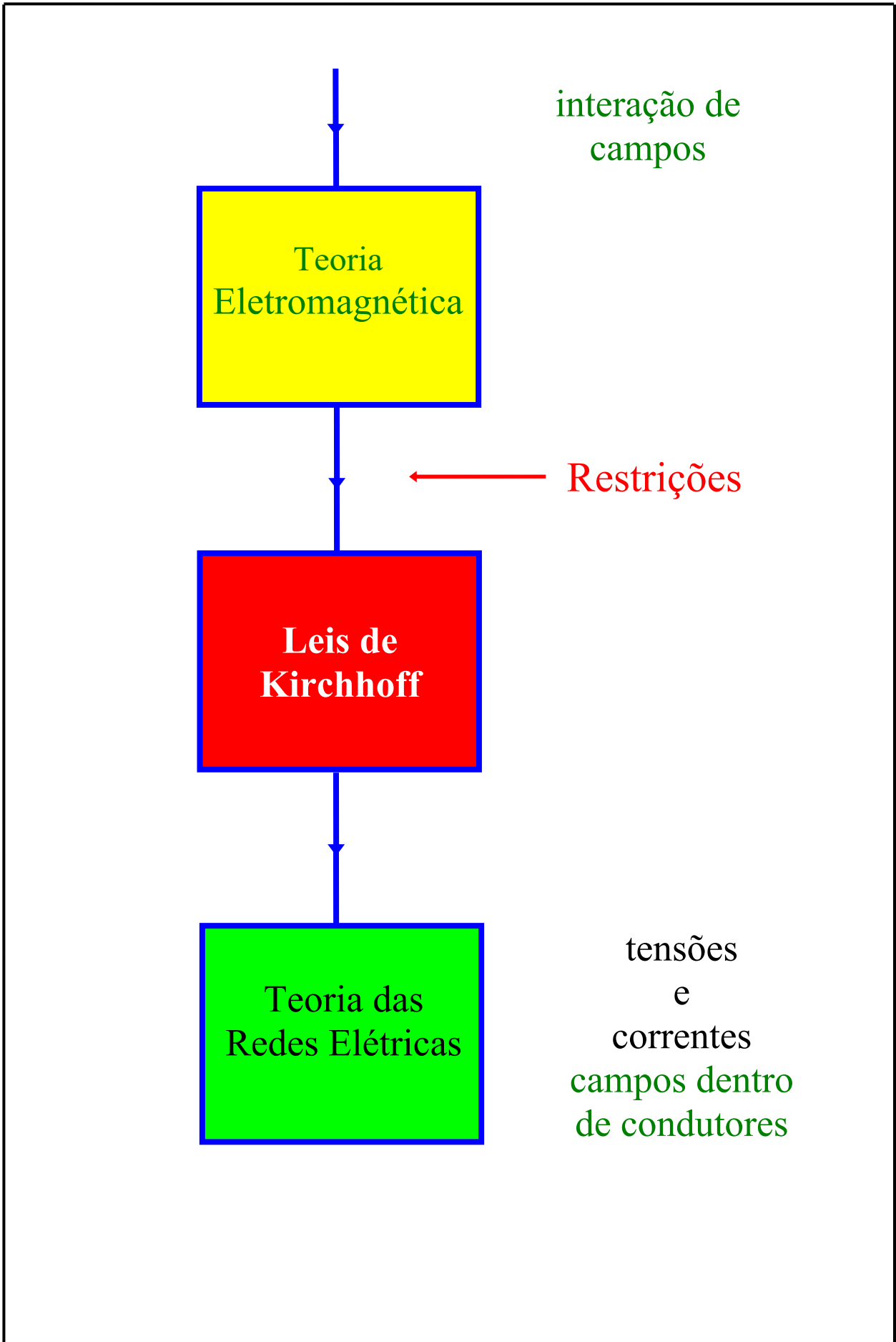
Aplicações práticas de fenômenos
eletromagnéticos

Eletromagnetismo

- Oersted 1820
- Faraday - Henry 1831
- Siemens ~ 1850
- Maxwell 1864

Gauss / Ampère / Faraday

- Hertz 1888
- Landell de Moura 1894
- Marconi 1901



Eletromag x Circuitos

Teoria Clássica de Eletromagnetismo



Equações de Maxwell



Leis que relacionam campos elétricos e magnéticos



grandezas vetoriais



Métodos de solução complicados → aproximações

Teoria Clássica de Circuitos



Leis de Kirchhoff



Relações entre tensões e correntes em elementos simples
ideais: R L C



grandezas escalares



Métodos de solução bem estabelecidos

Exemplos

a) Rede de distribuição de energia

Elétrica: 60 Hz

5ª harmônica: 300 Hz

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{300} = 10^6 \text{ metros}$$

Sistema contido em um raio de 10 km



Vale a Teoria dos Circuitos

b) Receptor FM: 100 MHz

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{10^8} = 3 \text{ metros}$$

$$\lambda/4 = 0,75 \text{ m}$$

Dimensões do circuito \ll 75 cm

TABELA DE UNIDADES

GRANDEZA	SISTEMAS CONSISTENTES			
	S.I.	A.F.	R.F.	U.H.F.
Tensão	V	V	V	V
Corrente	A	mA	mA	mA
Resistência	Ω	k Ω	k Ω	k Ω
Condutância	S	mS	mS	mS
Capacitância	F	μ F	mF	pF
Indutância	H	H	mH	μ H
Tempo	s	ms	μ s	ns
Freq. angular	rad/s	krad/s	Mrad/s	Grad/s
Frequência	Hz	kHz	MHz	GHz

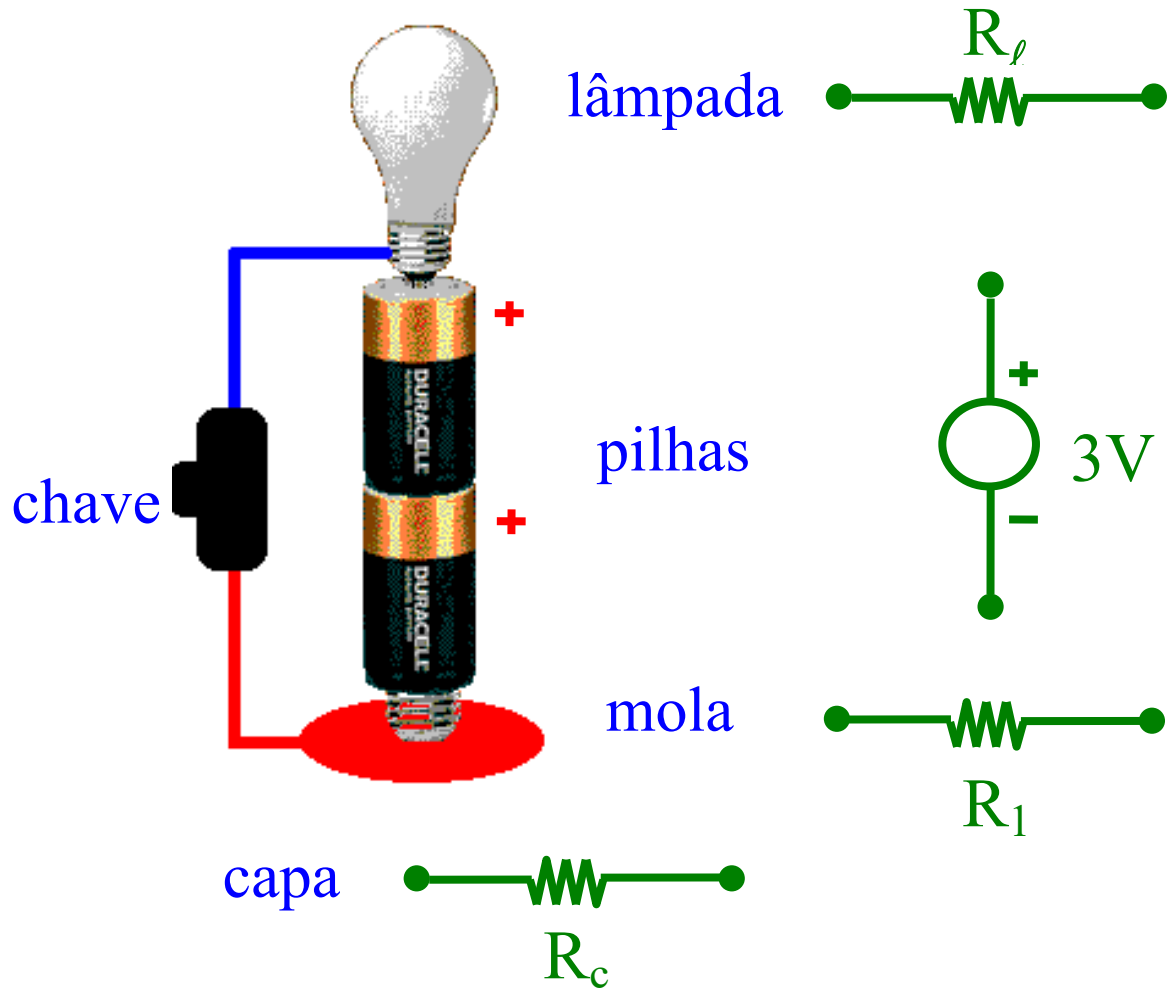
T	Tera	10^{12}
G	Giga	10^9
M	Mega	10^6
k	Quilo	10^3
m	Mili	10^{-3}
μ	Micro	10^{-6}
n	Nano	10^{-9}
p	Pico	10^{-12}

SISTEMAS DE UNIDADES CONSISTENTES

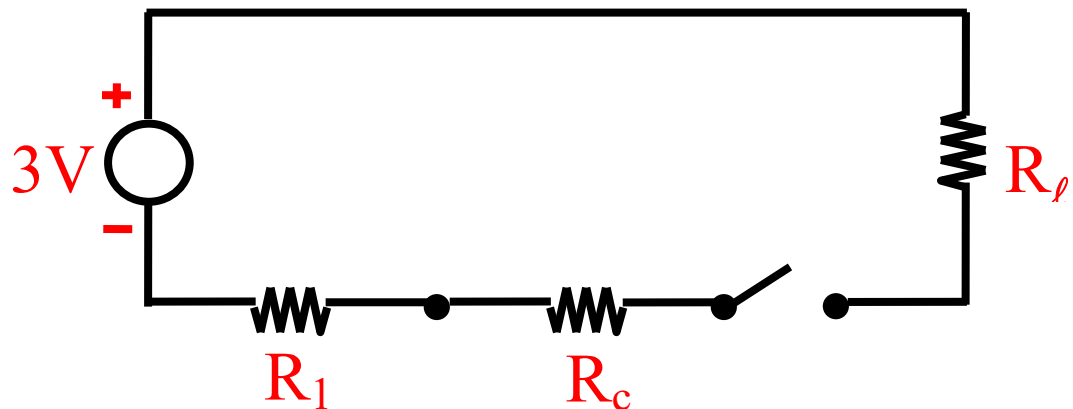
GRANDEZA	S.I.	ÁUDIO FREQ.	RÁDIO FREQ.
Tempo	s	ms	μ s
Frequência	Hz	kHz	MHz
Tensão	V	V	V
Corrente	A	mA	mA
Resistência	Ω	k Ω	k Ω
Condutância	S	mS	mS
Capacitância	F	μ F	nF
Indutância	H	H	mH

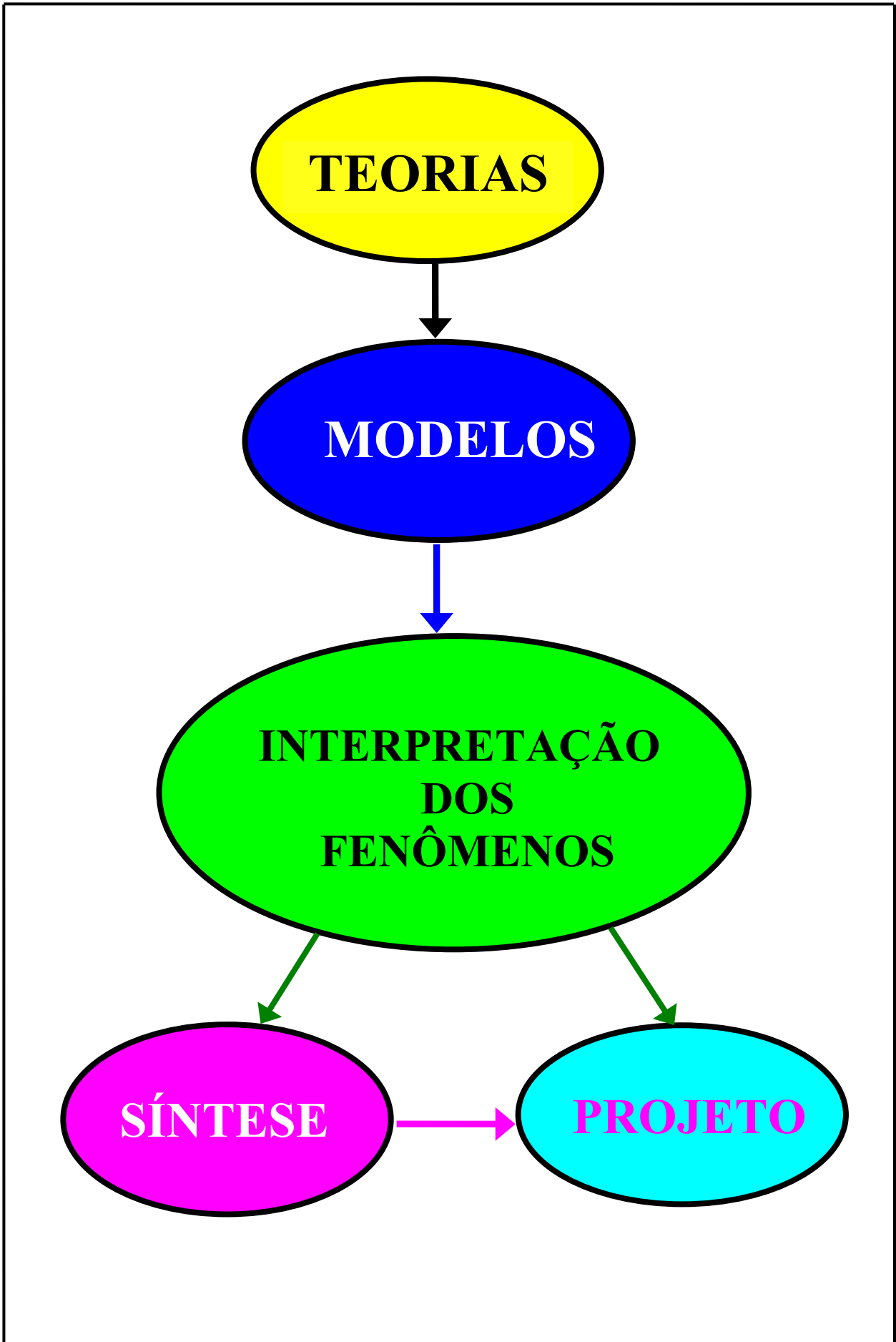
MODELAMENTO

Lanterna:

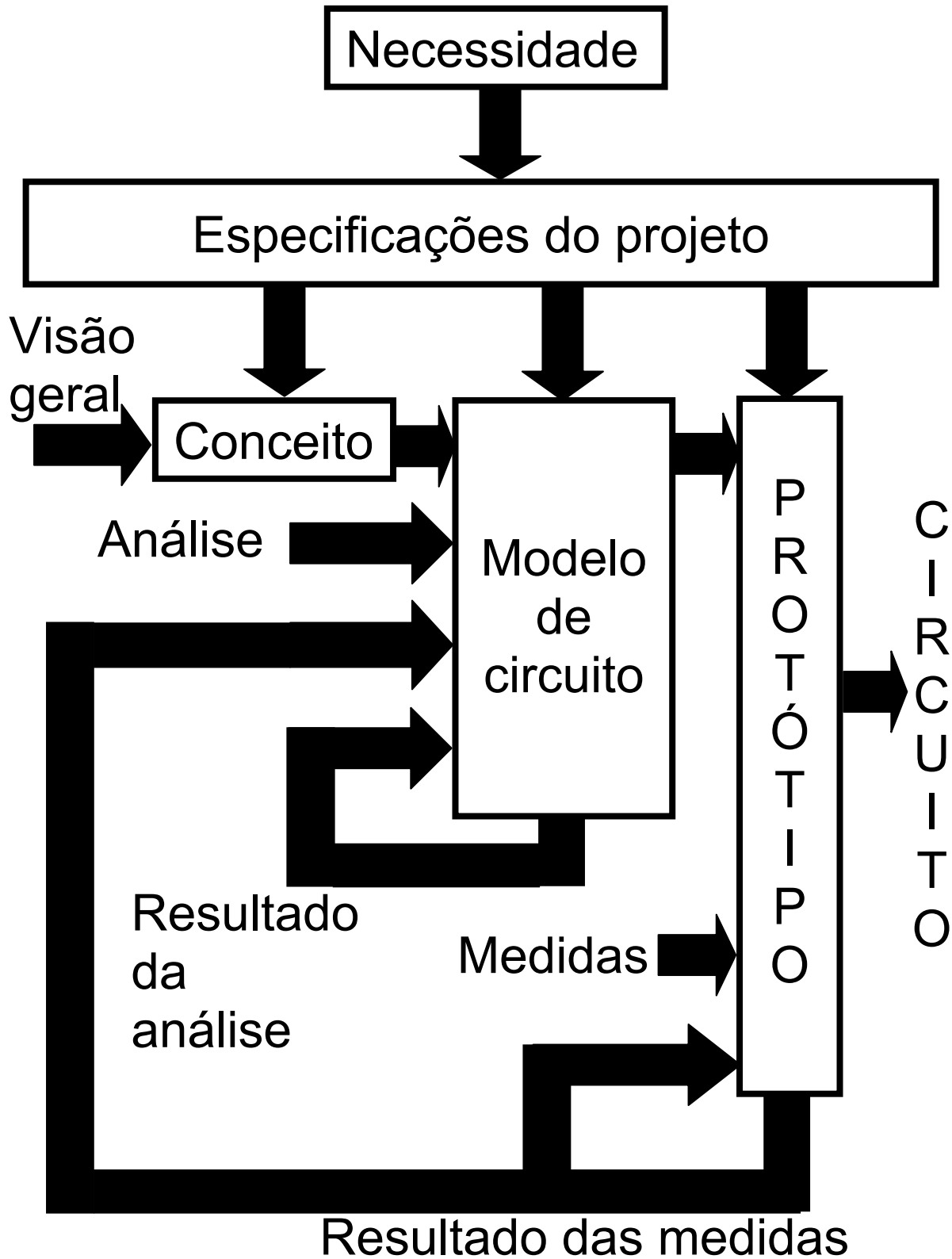


Modelo :





MODELO PARA PROJETO



Adaptado de Nilsson & Riedel (8ª edição) – Prof. Magno

CIRCUITOS ELÉTRICOS I :

CONCEITOS BÁSICOS:

- CARGA ELÉTRICA $q(t)$:

Múltiplo inteiro de $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulombs

- CORRENTE ELÉTRICA ATRAVÉS DE UMA SUPERFÍCIE:

- VALOR MÉDIO:

$$i_m = \frac{\Delta q(t)}{\Delta t} \quad (\text{AMPÈRES})$$

- VALOR INSTANTÂNEO:

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

Carga

- Conservativa
- Quantizada $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Bipolar \oplus \ominus
Atração e Repulsão
- Móvel ou Fixa
- Materiais: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Condutores} \\ \text{Semicondutores} \\ \text{Isolantes} \end{array} \right.$

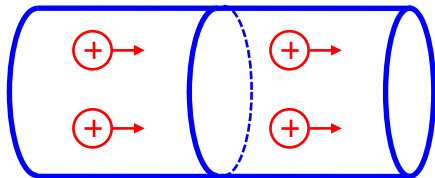
Corrente Elétrica (física)

- Condução lâmpada incandescente
- Convecção íons em eletrólitos \rightarrow luz néon
- Difusão semicondutores
- Deslocamento dielétricos

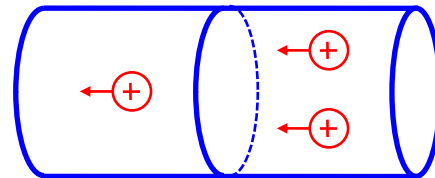
$$i(t) \triangleq dq/dt$$

$$q(t) = \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau + q(t_0)$$

CORRENTE ELÉTRICA



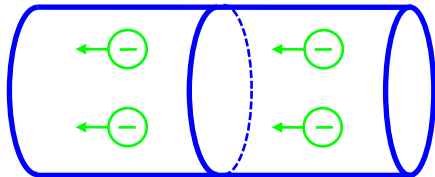
+ Q_1



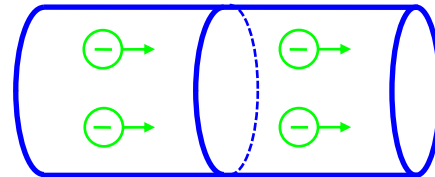
- Q_2



Sentido de Referência



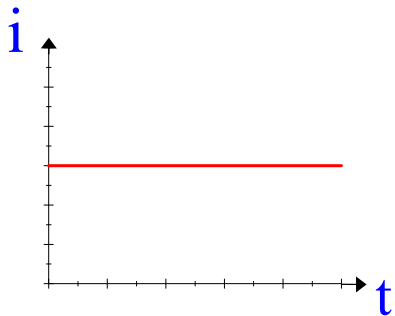
+ Q_3



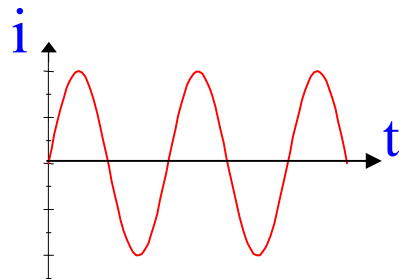
- Q_4

$$i_m = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{+Q_1 - Q_2 + Q_3 - Q_4}{\Delta t}$$

FORMAS DE ONDA

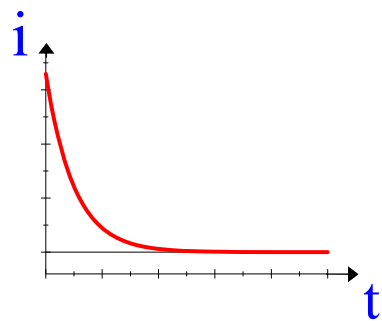


Contínua CC
DC

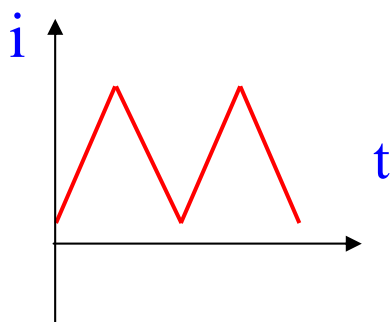


Alternativa CA
AC

Ex.: senoidal
- Periódica, média
nula num período



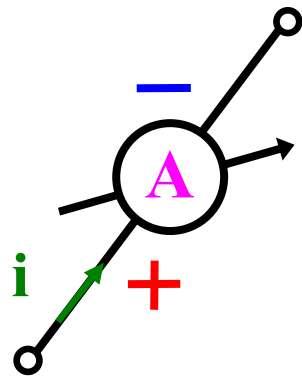
Não periódica
Ex.: exponencial



Pulsada

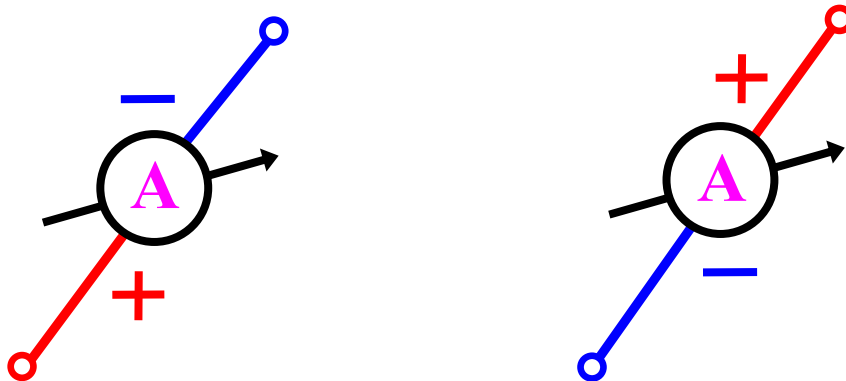
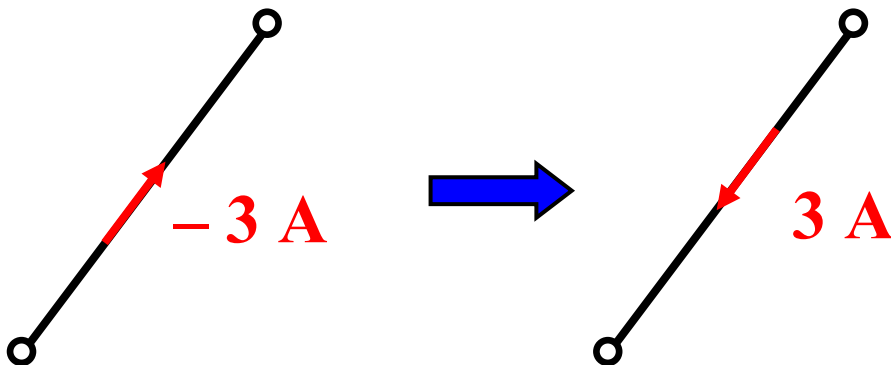
Ex.: triangular

Aparelho para medir corrente elétrica

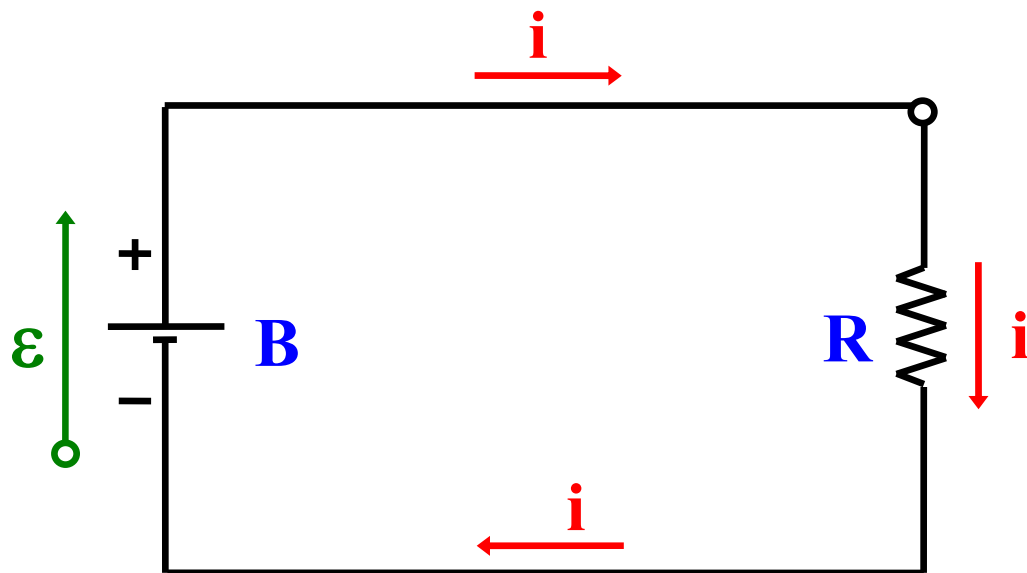


Amperímetro
Ideal

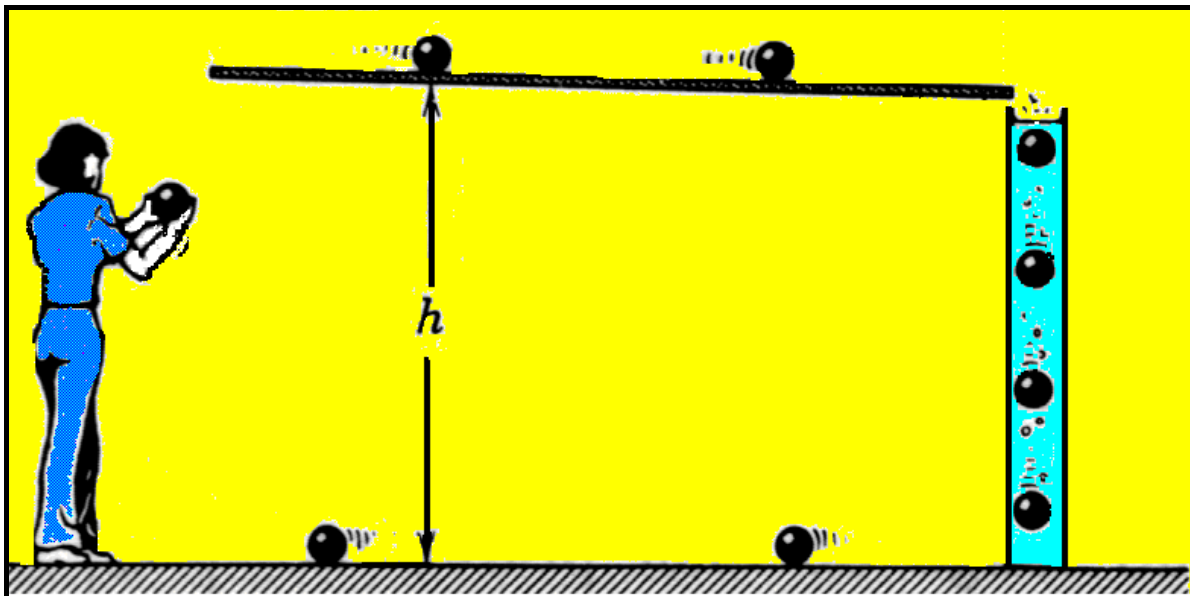
→ curto-circuito



CONCEITO DE TENSÃO ELÉTRICA (ddp)



(a)



(b)

Tensão Elétrica

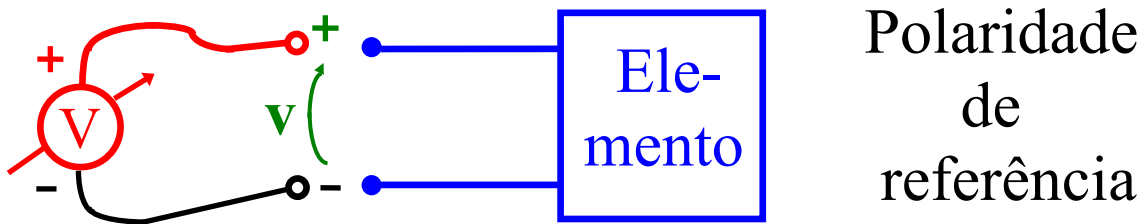
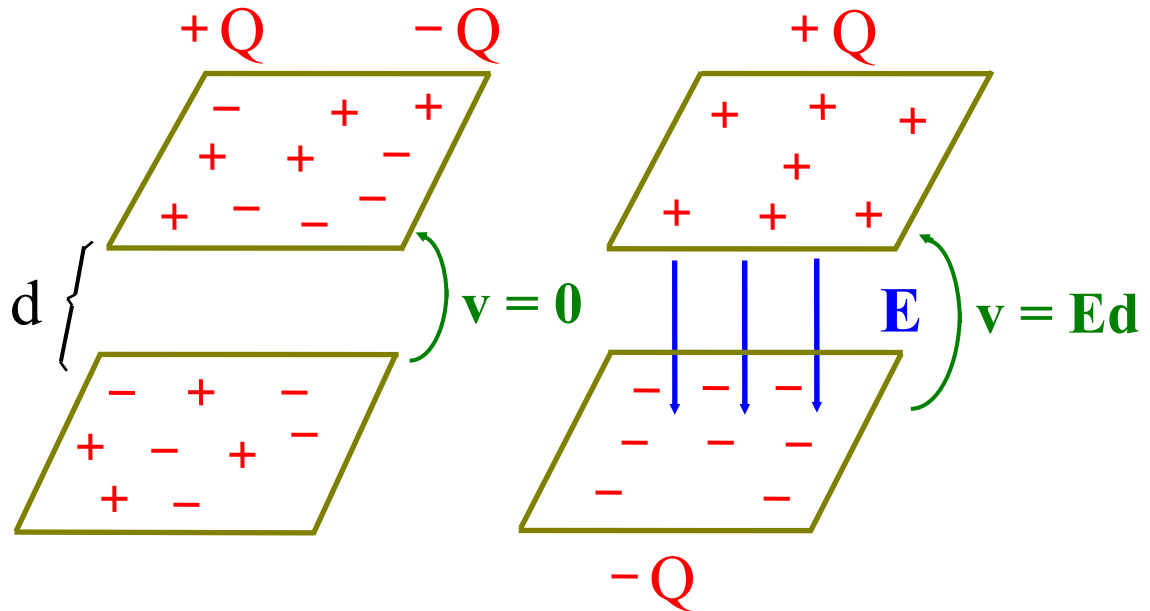
$$d w(t) = v(t) dq(t)$$

$d w(t)$ → energia (trabalho) necessário para separar cargas positivas de cargas negativas (J)

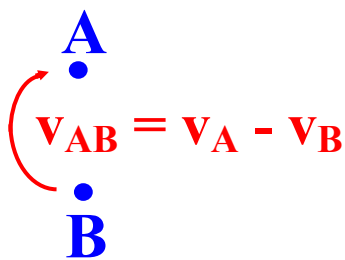
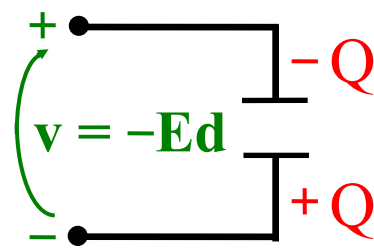
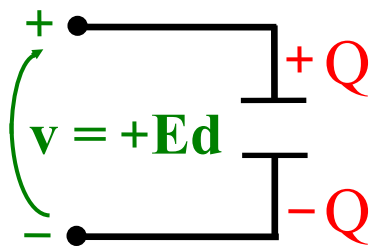
$dq(t)$ → quantidade de carga a ser separada (C)

$v(t)$ → tensão elétrica (V)

Tensão Elétrica



Polaridade de referência



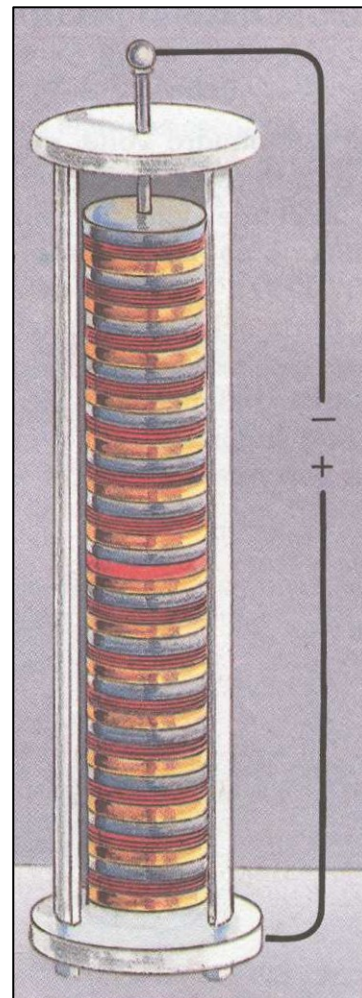
FONTES DE TENSÃO

- Ação Química Baterias, Pilhas
- Magnetismo Geradores
- Luz → Fotoeletricidade Célula Solar
- Calor → Termoeletricidade
 Par termoelétrico
- Pressão Mecânica → Piezoeletricidade
 Cristal piezoelétrico
- Fricção

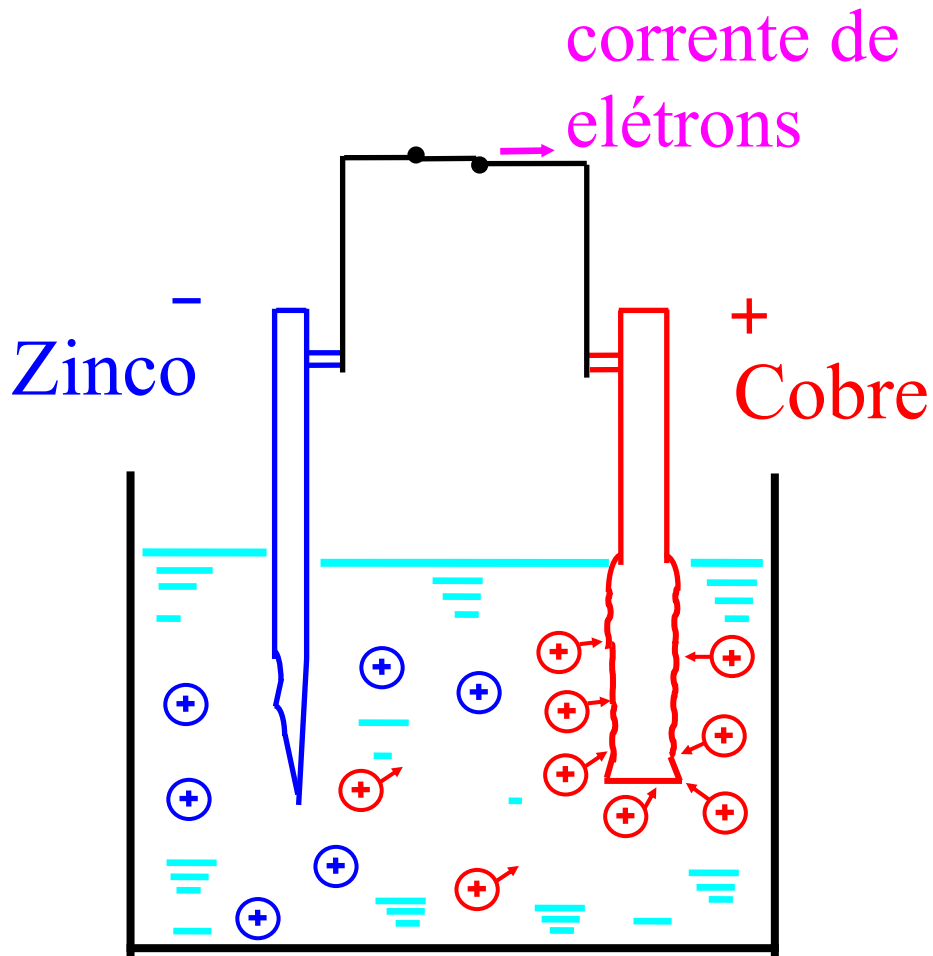
A pilha inventada por Alessandro Volta



**Volta apresenta a
Napoleão e a
cientistas
franceses sua grande
invenção (1799)**



PILHA VOLTAICA

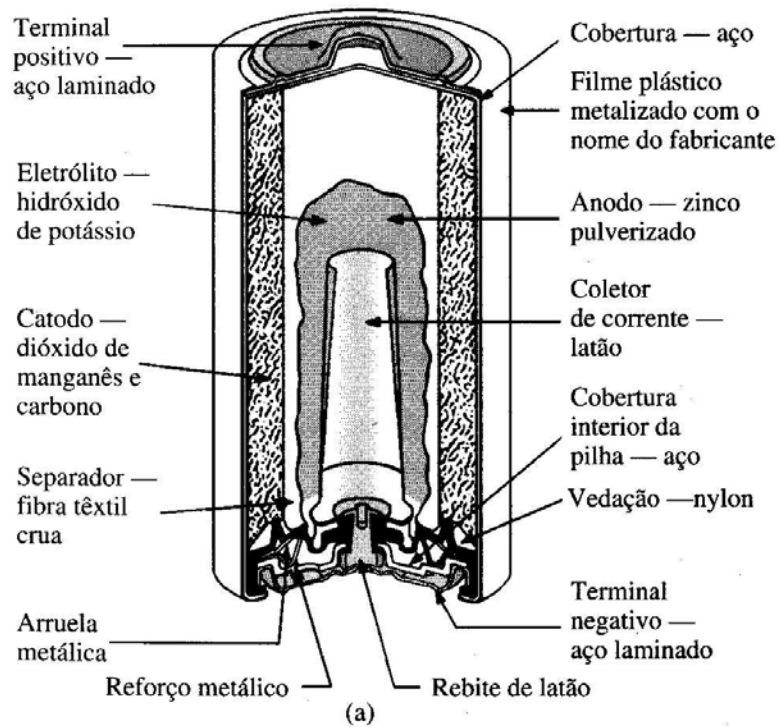


água + sulfato de cobre

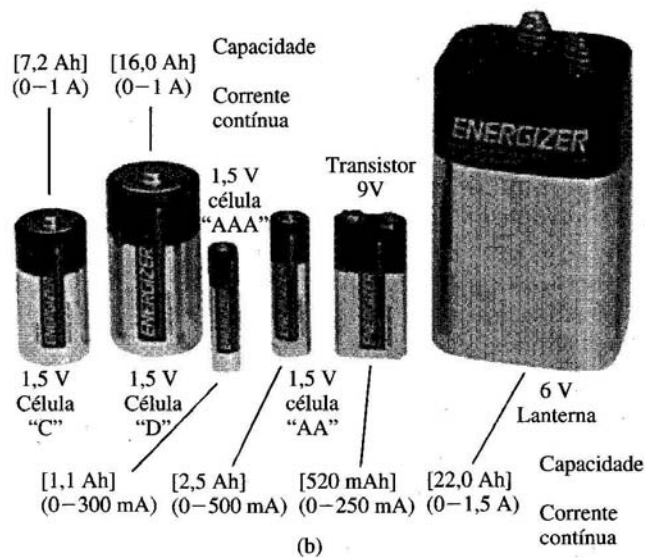
⊕ íons de cobre

⊕ íons de zinco

Pilha Seca Alcalina

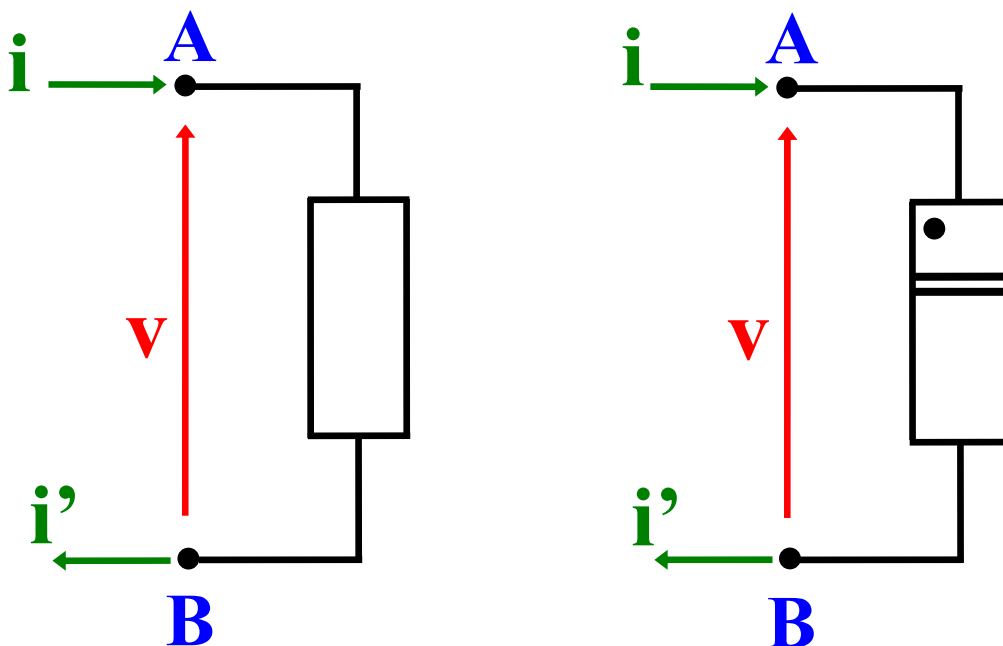


Células Primárias



BIPOLos ELÉTRICOS

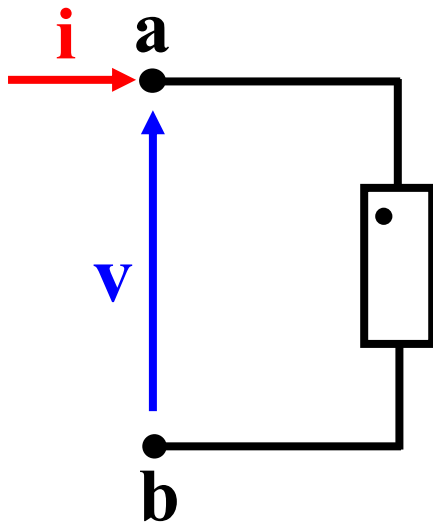
- SÍMBOLOS:



- PROPRIEDADES:

$$\left\{ \begin{array}{l} i(t) = i'(t), \quad \forall t \\ v(t) = v_A(t) - v_B(t), \quad \forall t \end{array} \right.$$

VARIÁVEIS ELÉTRICAS NOS BIPOLOS



$$\mathbf{i} = \int_s \vec{\mathbf{J}} \cdot d\vec{\mathbf{s}}$$

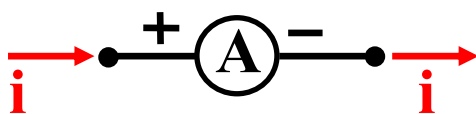
$$\mathbf{v} = \int_b^a \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\ell}$$

$$\mathbf{i} = \frac{dq}{dt}$$

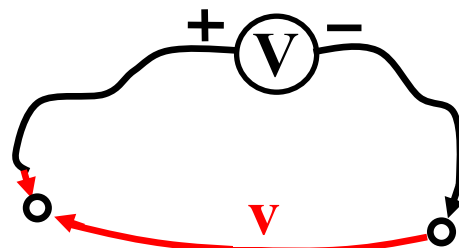
$$\mathbf{v} = \frac{dw}{dq}$$

(CAMPO POTENCIAL)

AMPERÍMETRO



VOLTÍMETRO



IMPORTANTE:

**AS FLECHAS DE REFERÊNCIA
DE TENSÃO E DE CORRENTE
SÃO**

**REGRAS PARA LIGAR
VOLTÍMETROS E AMPERÍ-
METROS AO CIRCUITO !**

Potência Elétrica

Potência instantânea :

$$p(t) = \frac{d w(t)}{dt} \quad (W)$$

Mas :

$$d w(t) = v(t) d q(t)$$

e

$$d q(t) = i(t) dt$$



$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

- TENSÃO ELÉTRICA ENTRE OS TERMINAIS DE UM BIPOLO

$$v(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (\text{VOLTS})$$

- É MEDIDA PELOS **VOLTÍMETROS**

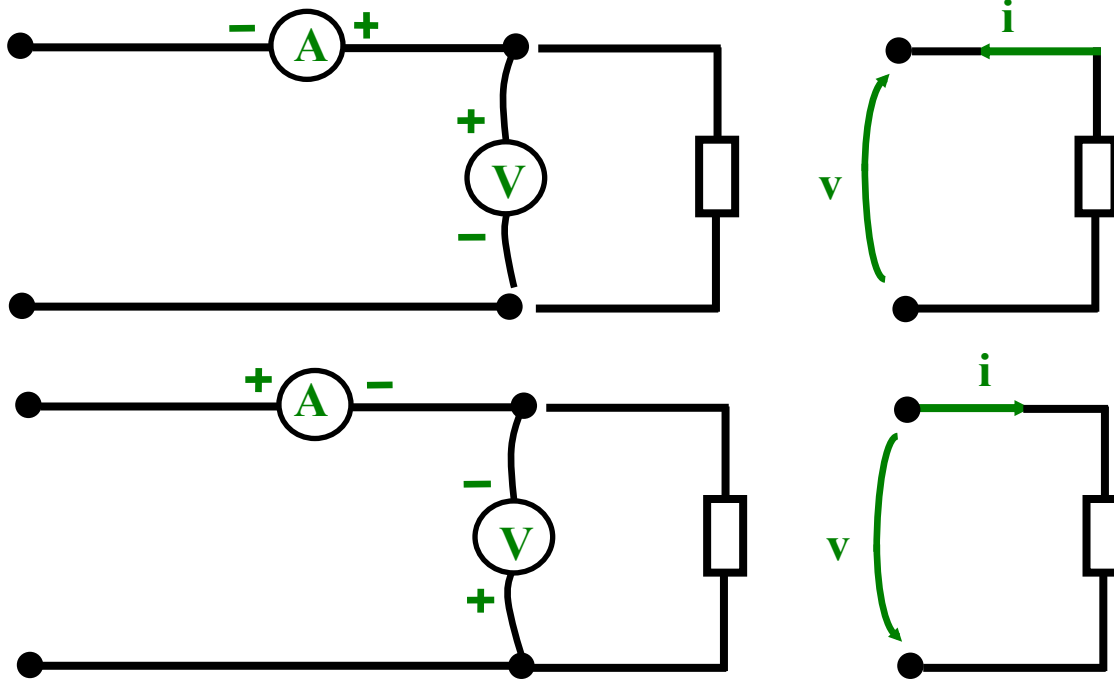
- **POTÊNCIA INSTANTÂNEA:**

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (\text{WATTS})$$

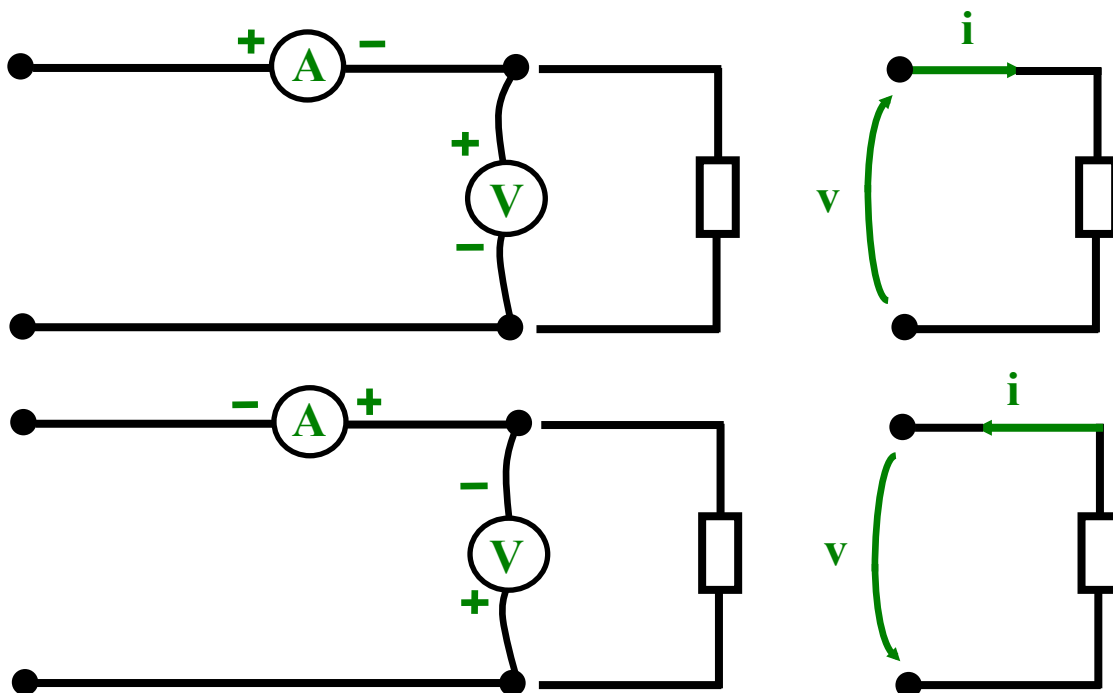
- PARA SABER SE A POTÊNCIA ESTÁ SENDO **RECEBIDA** OU **FORNECIDA** É PRECISO FIXAR **CONVENÇÕES !**

CONVENÇÕES

Gerador

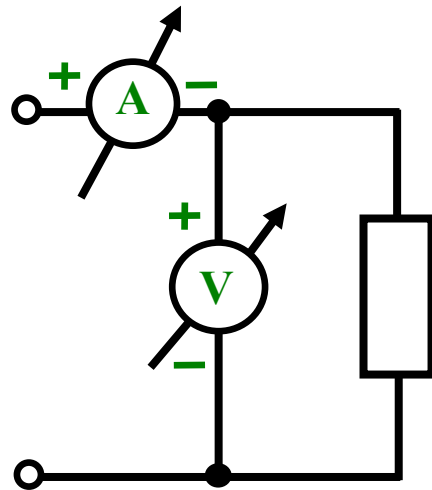
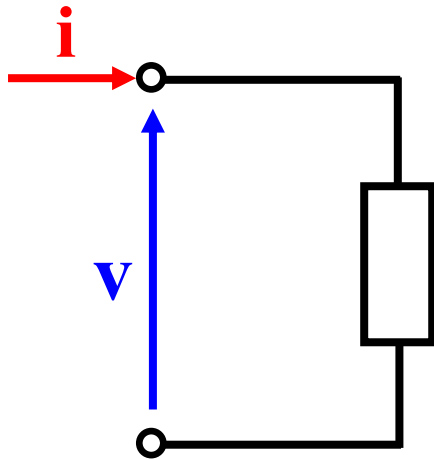


Receptor

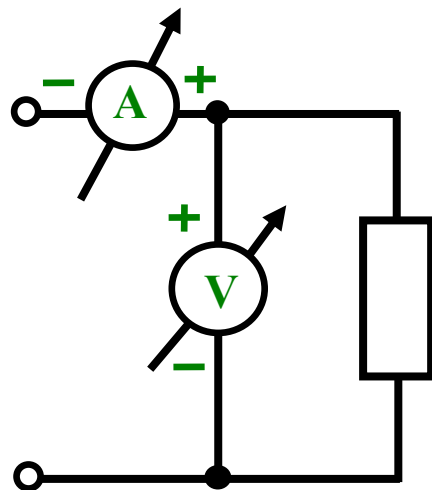
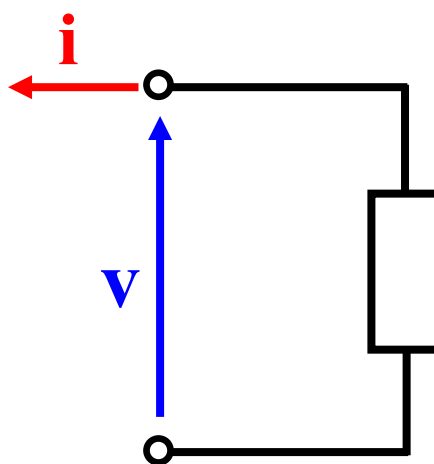


SENTIDOS DE REFERÊNCIA NOS BIPOLOS

Convenção do Receptor (SPICE)



Convenção do Gerador



POTÊNCIA ELÉTRICA NOS BIPÓLOS

- CONVENÇÃO DO GERADOR:

$v \cdot i > 0 \rightarrow$ BIPOLO FORNECE
POTÊNCIA

- CONVENÇÃO DO RECEPTOR:

$v \cdot i > 0 \rightarrow$ BIPOLO RECEBE
POTÊNCIA

**- POTÊNCIA MÉDIA NUM
INTERVALO :**

$$P \triangleq \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot dt \quad (\text{WATTS}).$$

CONVENÇÃO DE NOTAÇÃO:

- LETRAS MINÚSCULAS PARA
FUNÇÕES DO TEMPO.**
- LETRAS MAIÚSCULAS PARA
GRANDEZAS INDEPENDENTES
DO TEMPO.**

-
- CASO DE v E i PERIÓDICOS
COM PERÍODO T :**

$$P = \frac{1}{T} \int_T v(t) \cdot i(t) \cdot dt$$

ENERGIA ELÉTRICA

$$w(t, t_0) = \int_{t_0}^t p(\tau) \cdot d\tau =$$

$$= \int_{t_0}^t v(\tau) \cdot i(\tau) \cdot d\tau$$

(JOULES)

UNIDADE PRÁTICA DE ENERGIA:

- QUILOWATT – HORA (kWh)

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

- **MEDIDOR DE ENERGIA:**
CALCULA

$$\int_{t_0}^t p(\tau) \cdot d\tau$$

ALGUNS VALORES NUMÉRICOS

CARGA ELÉTRICA

- Carga em uma célula DRAM (quando o bit 1 é armazenado) 50 fcoulomb
- Carga em um capacitor de potência 5 mcoulomb
- Carga em um raio 3000 coulomb

CORRENTE ELÉTRICA

- Corrente de fuga em transistores de CIs fA
- Corrente de sinais em transistores de CIs μ A-mA
- Limite de corrente suportada pelo corpo humano ~10mA
- Correntes de alimentação em CIs 100mA-10A
- LED 10mA-100mA
- Lâmpadas e eletrodomésticos pequenos 1A-10A
- Limite de corrente residencial 60A
- Rede de distribuição residencial 100A
- Rede de distribuição comercial ou industrial 1000A

ALGUNS VALORES NUMÉRICOS

TENSÃO ELÉTRICA

- Sinal em uma antena $1\mu\text{V}$
- Sinal em um microfone (fonte não ruidosa) $1\mu\text{V}$
- Sinal de áudio (CD player) 100mV
- Tensão de alimentação de um CI $1,8\text{V}$ a 12V
- Bateria de carro 12V
- Rede de distribuição residencial 10kV
- Monitor a cores 10kV
- Sistema de transmissão de potência 100kV

POTÊNCIA

- Sinal em um microfone (fonte não ruidosa) pW
- CIs μW a vários W
- Lâmpada residencial 100W
- Aquecedor elétrico 1kW
- Máximo consumo residencial 25kW
- Sistema de som em show de rock 50kW
- Central transmissora de rádio 100kW
- Sistema de iluminação de show de rock 250kW
- Usina de geração de energia elétrica 1GW