

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA

Disciplina: Eletrificação Rural

**Unidade 2 – Conceitos básicos de
eletricidade voltados às instalações
elétricas.**

Prof. JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

Objetivo da Unidade 2

- Ao término da Unidade, o aluno deverá ser capaz de identificar e, ou, resolver problemas básicos de eletricidade e uso da energia voltados às instalações elétricas em baixa tensão.

1 Constituição da matéria (pg. 3 do manual)

Substância \Rightarrow Moléculas \Rightarrow Átomos

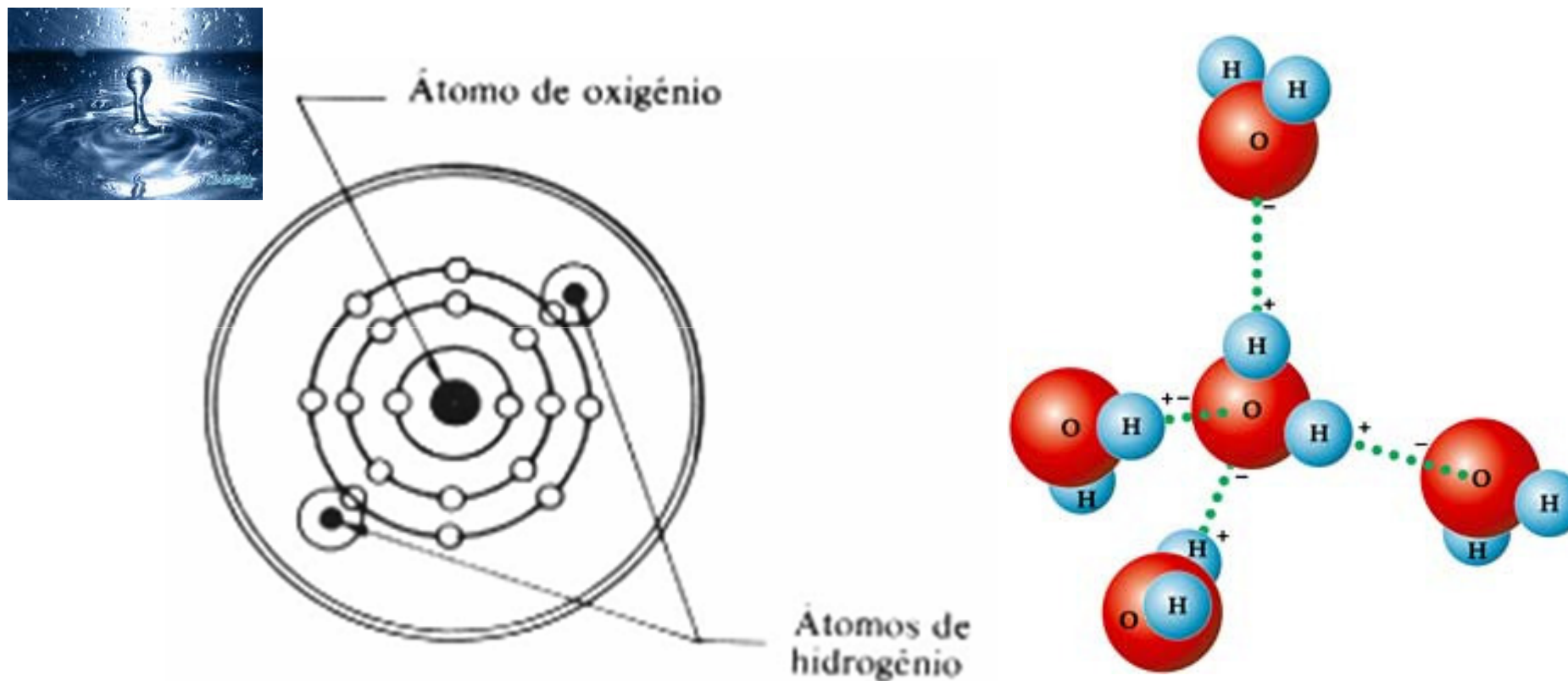


Figura – Molécula de água.

1 Constituição da matéria (pg. 4 do manual)

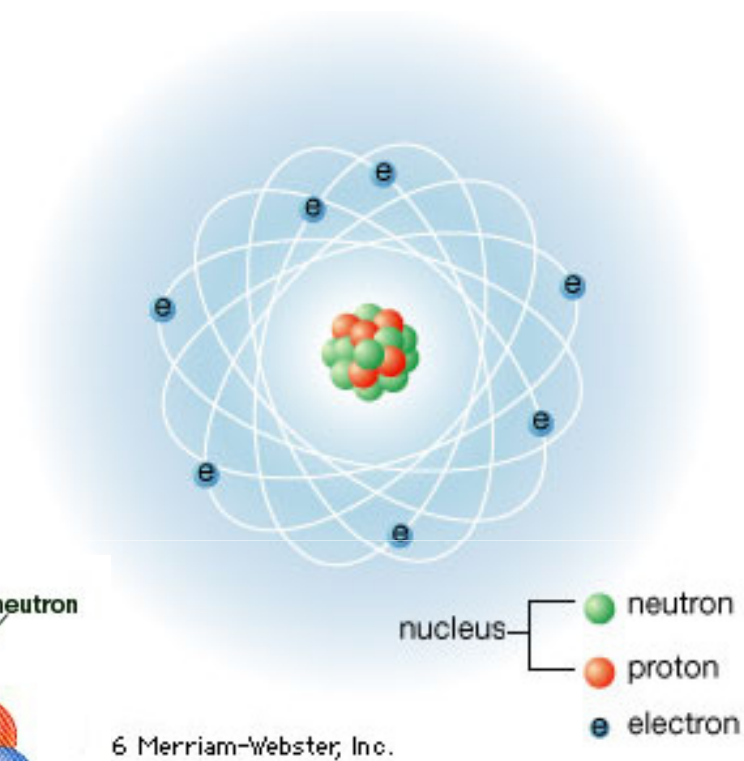
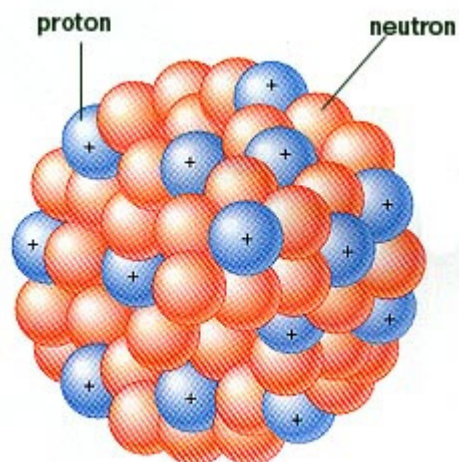
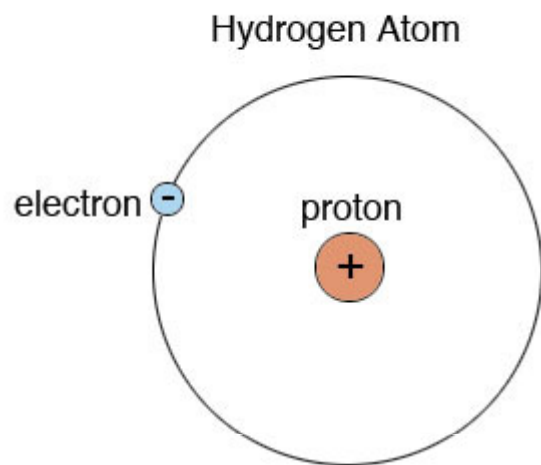


Figura – Estrutura atômica.

1 Constituição da matéria (pg. 4)

- **Corpos bons condutores de eletricidade: metais;**
- **Corpos maus condutores de eletricidade: vidro, borracha, plástico, PVC, porcelana, madeira;**
- **Unidade de medida de carga elétrica no Sistema Internacional de Unidades (SI): coulomb (C);**
- **Carga elétrica elementar de um elétron: $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;**
- **Massa de um elétron: massa é de $9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$;**
- **Corpo eletrizado positivamente;**
- **Corpo eletrizado negativamente.**

1 Constituição da matéria (pg. 4)

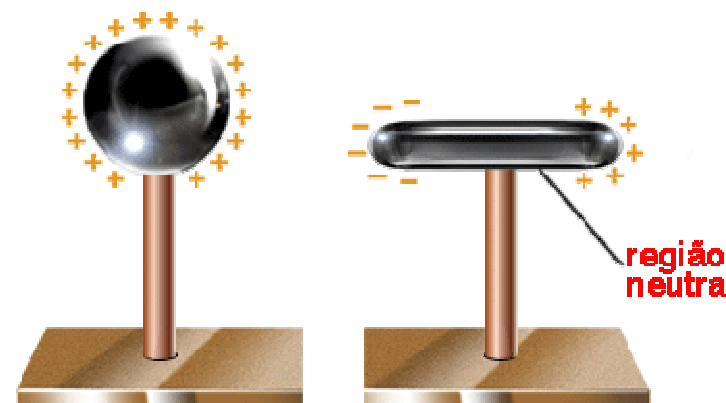
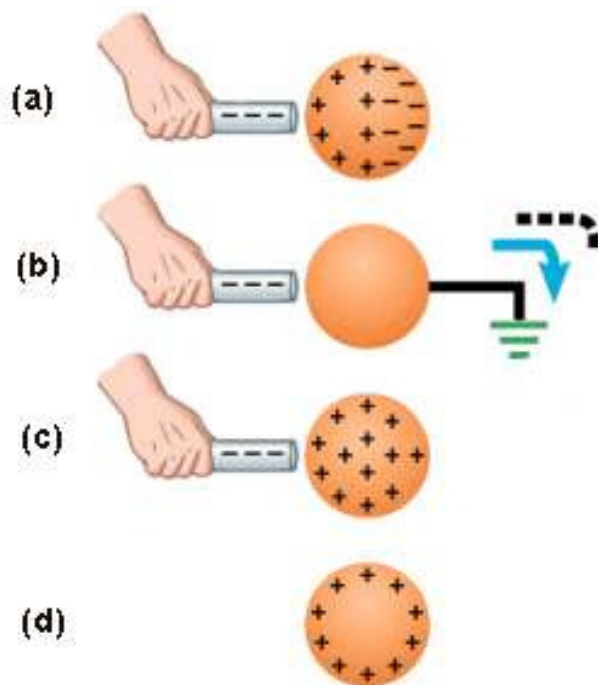
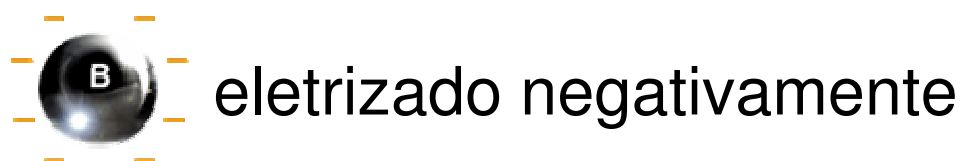
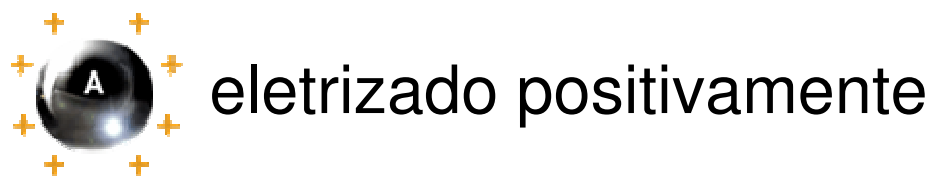


Figura – Eletrização dos corpos.

2 Grandezas elétricas (pg. 4)

2.1 Força eletromotriz (f.e.m) e diferença de potencial (d.d.p)

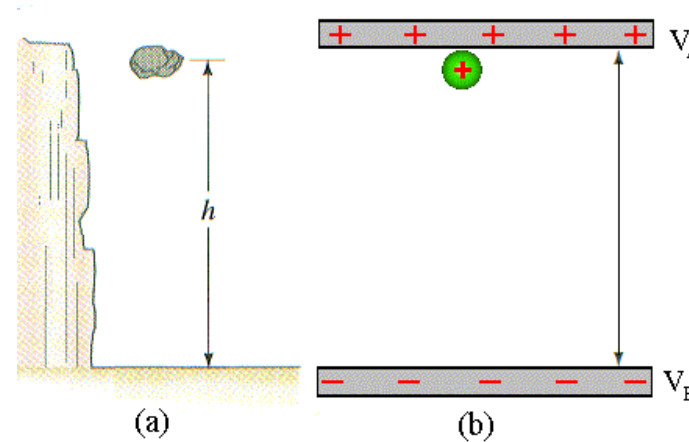


Figura – Analogia entre potencial gravitacional e elétrico.

- Definição: energia não elétrica transformada em energia elétrica ou vice-versa, por unidade de carga.

$$E = \frac{W}{Q} \quad \text{e} \quad U = E - \text{perdas internas}$$

Sendo: E – força eletromotriz (V); U – diferença de potencial (V); W – energia aplicada (J); Q – quantidade de cargas elétricas (C).

2 Grandezas elétricas (pg. 4)

2.1 Força eletromotriz (f.e.m) e diferença de potencial (d.d.p)

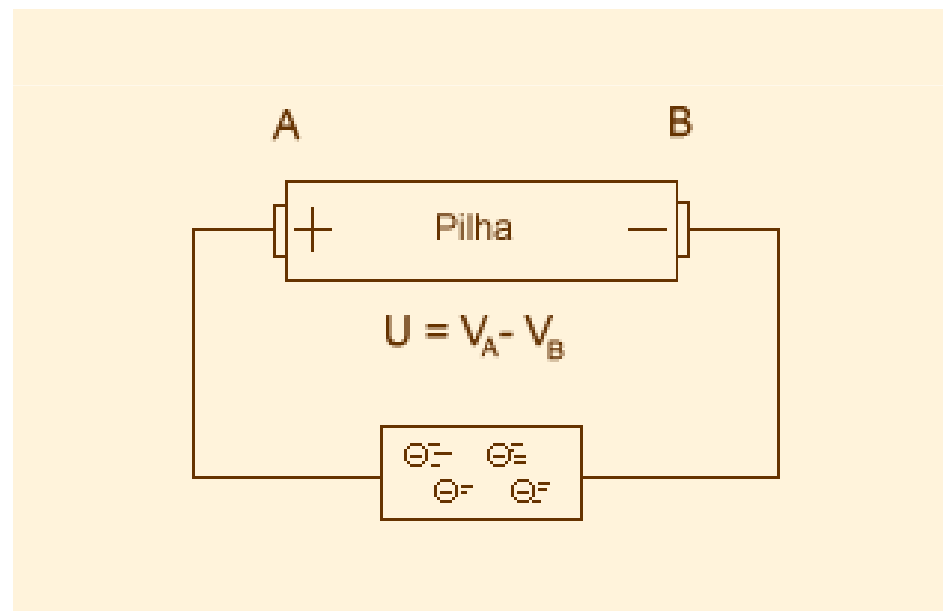
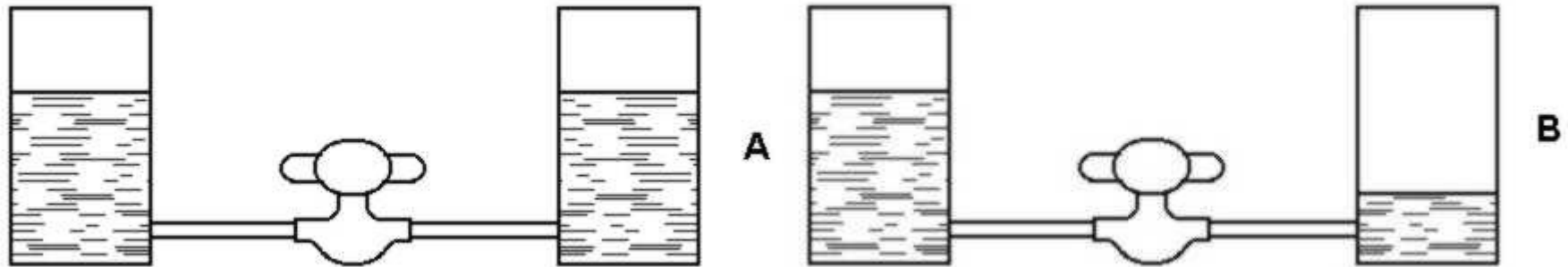


Figura – Analogia entre potencial hidráulico e elétrico.

2 Grandezas elétricas (pg. 4)

2.1 Força eletromotriz (f.e.m) e diferença de potencial (d.d.p)

- Analogia: potencial elétrico e pressão em hidráulica;

$$\text{tensão (V)} = \frac{\text{energia (J)}}{\text{carga (C)}}$$

$$\text{pressão (Pa)} = \frac{\text{força (N)}}{\text{área (m}^2\text{)}}$$

- Medida: com um voltímetro ou multímetro ligado em paralelo no circuito;



Figura – Voltímetros e multímetros

2 Grandezas elétricas (pg. 4)

2.1 Força eletromotriz (f.e.m) e diferença de potencial (d.d.p)

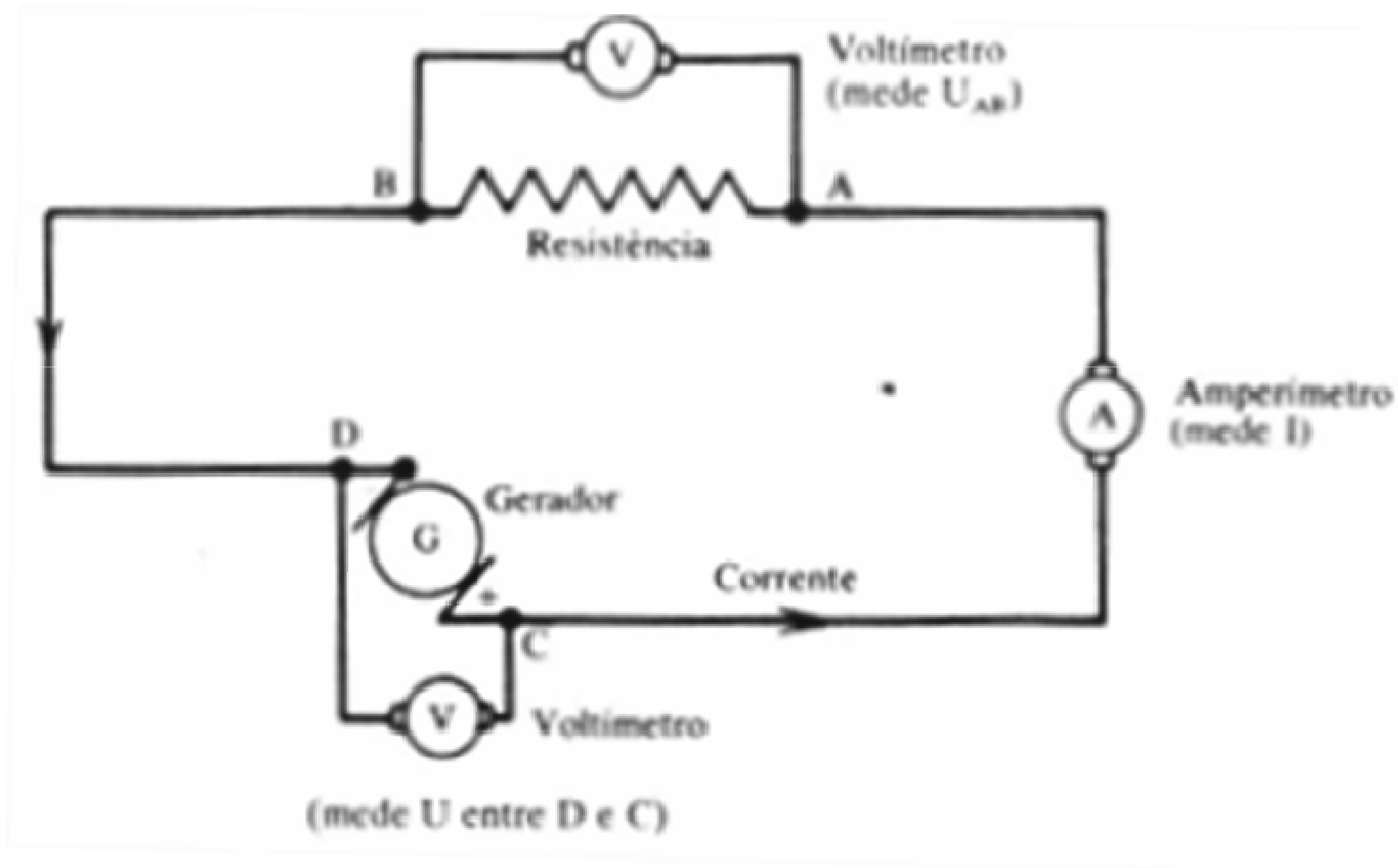


Figura – Grandezas elétrica em um circuito.

2 Grandezas elétricas (pg. 4)

2.2 Corrente e Intensidade de corrente elétrica

(a) Corrente elétrica

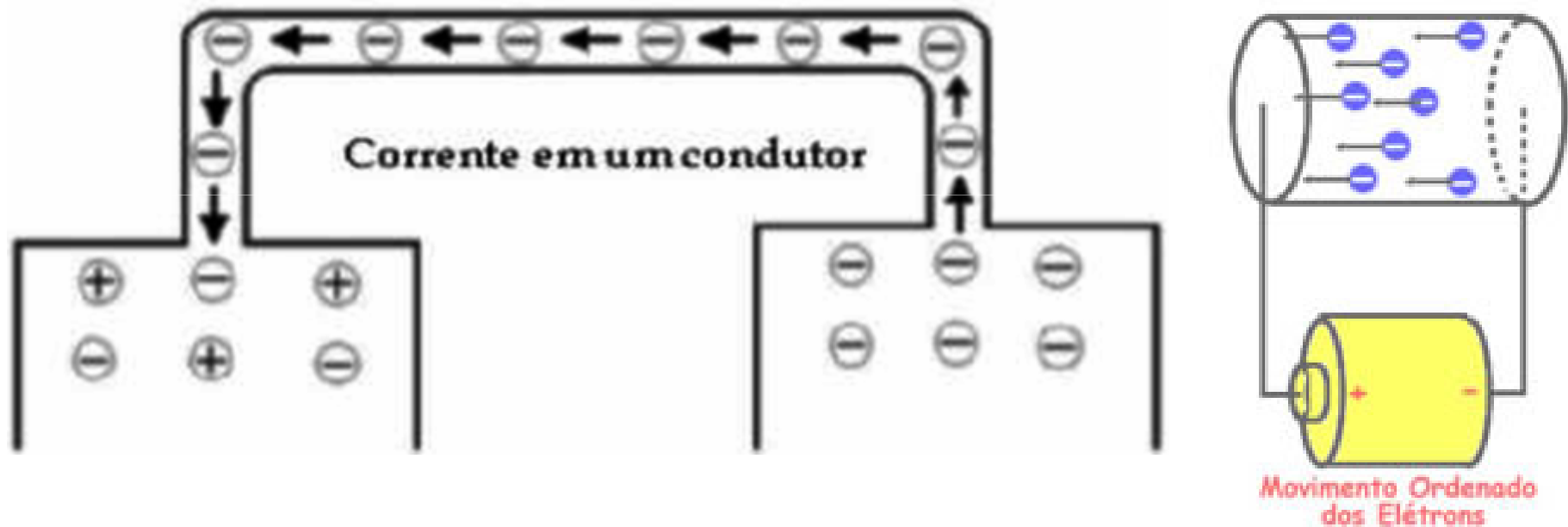


Figura – Corrente elétrica em um condutor.

2 Grandezas elétricas (pg. 4)

2.2 Corrente e Intensidade de corrente elétrica

(b) Intensidade de corrente elétrica

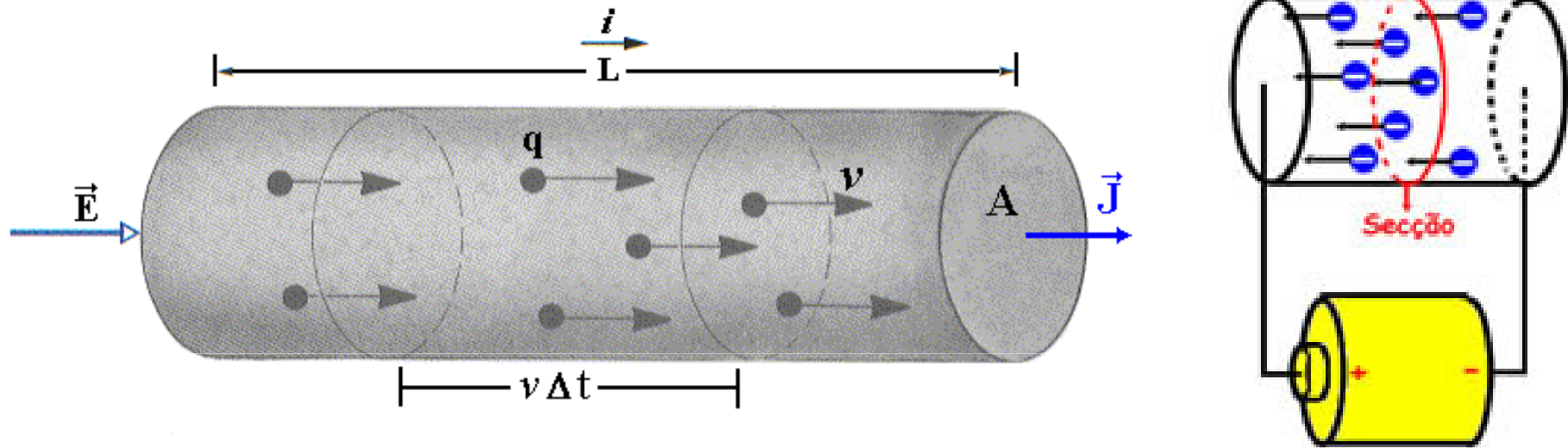


Figura – Intensidade de corrente elétrica.

$$I = \frac{Q}{t}$$

Sendo: I – intensidade de corrente elétrica (A); Q – quantidade de cargas elétricas (C); t – tempo (s).

2 Grandezas elétricas (pg. 4)

2.2 Corrente e Intensidade de corrente elétrica

(b) Intensidade de corrente elétrica

- Analogia: intensidade de corrente elétrica e vazão em hidráulica;

$$\text{corrente (A)} = \frac{\text{cargas (C)}}{\text{tempo (t)}}$$

$$\text{vazão (L s}^{-1}\text{)} = \frac{\text{volume (L)}}{\text{tempo (s)}}$$

- Medida: com um amperímetro ligado em série no circuito ou multímetro;

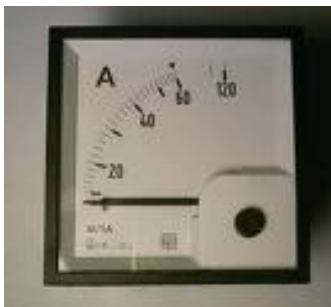
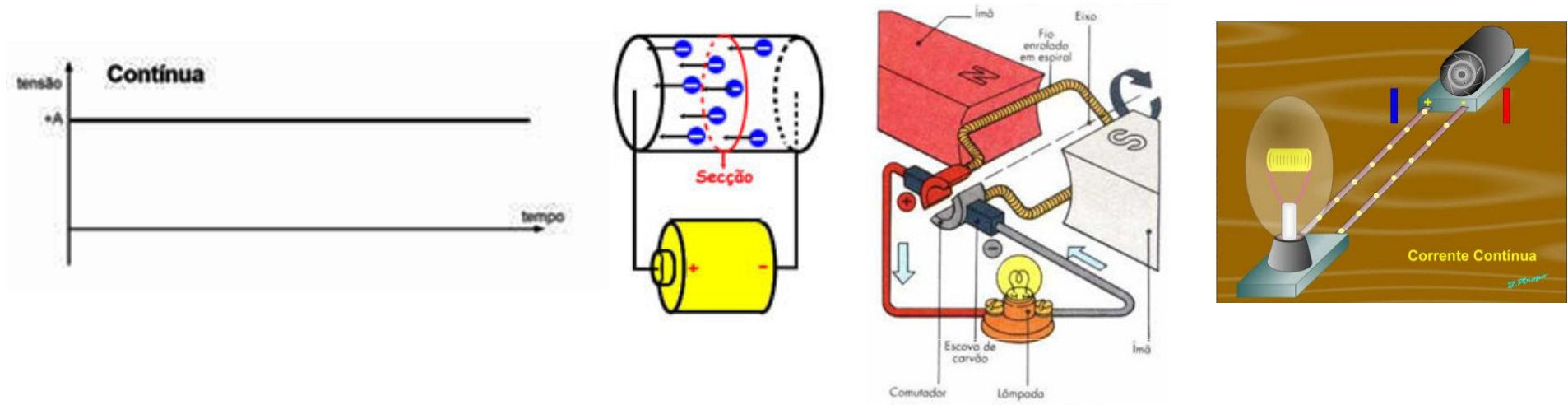


Figura – Amperímetros e multímetros

2 Grandezas elétricas

2.2 Corrente e Intensidade de corrente elétrica

(c) Corrente contínua – CC (bateria ou dínamo)



(d) Corrente alternada – CA (alternador)

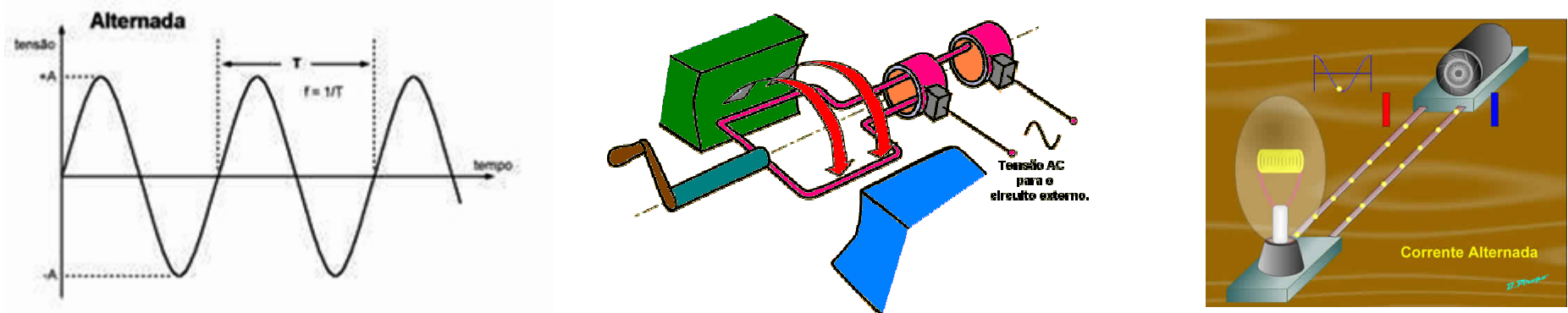


Figura – Intensidade de corrente elétrica.

2 Grandezas elétricas

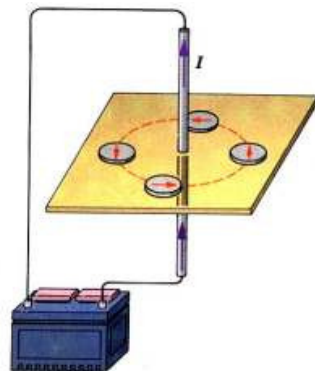
2.2 Corrente e Intensidade de corrente elétrica

(e) Principais efeitos da corrente elétrica

- Efeito térmico ou efeito joule;
- Campo magnético produzido pela corrente elétrica;
- Efeito químico;
- Efeitos fisiológicos.



térmico



magnético



químico



fisiológico

Figura – Principais efeitos da corrente elétrica

2 Grandezas elétricas (pg. 5)

2.3 Resistência elétrica (segunda lei de Ohm)

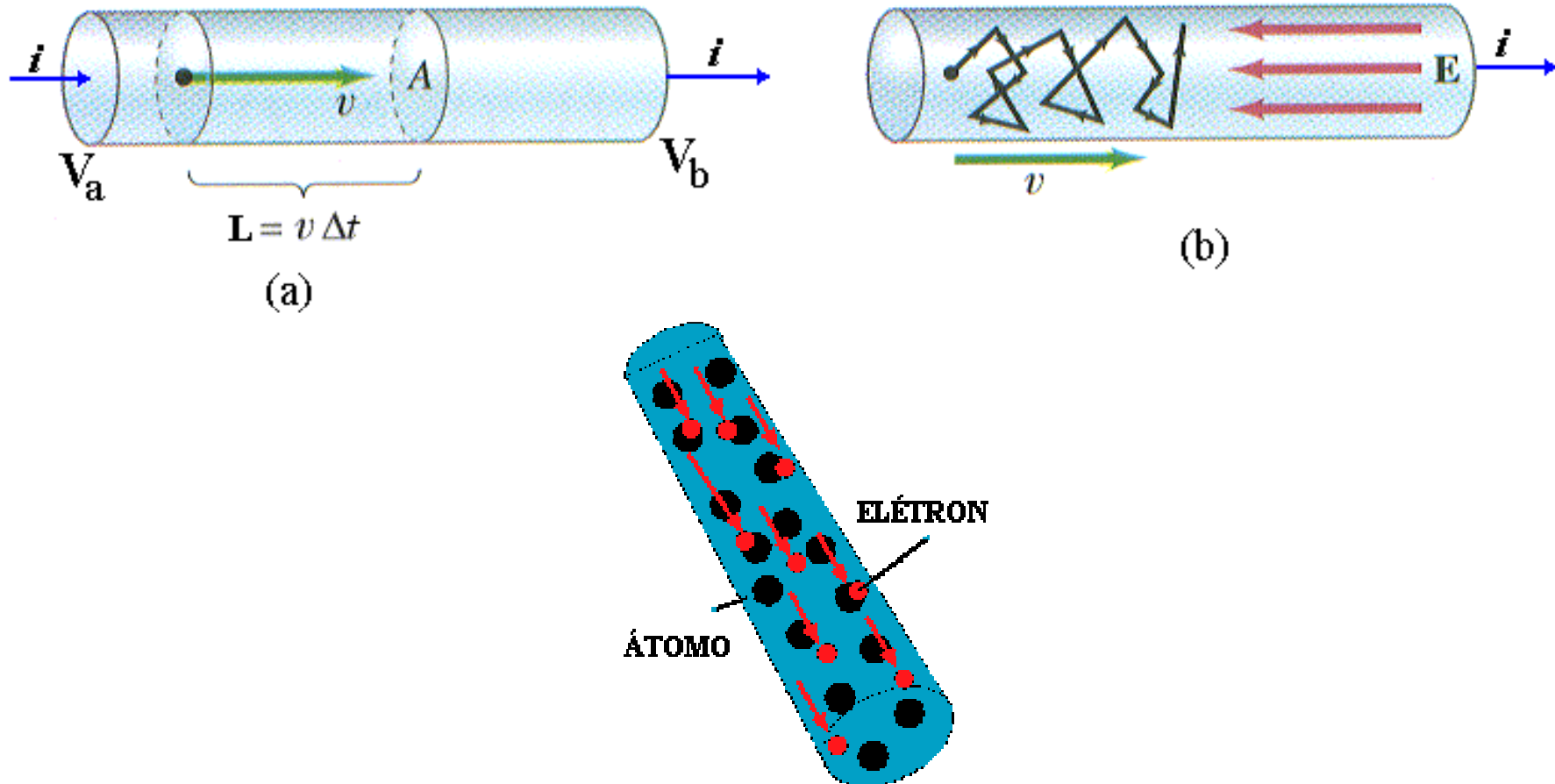
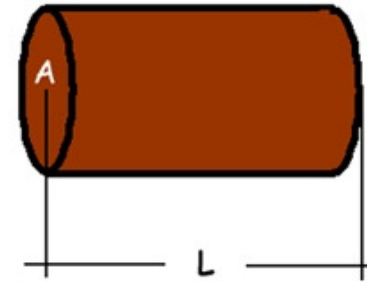


Figura – Movimento de uma carga no interior do condutor

2 Grandezas elétricas (pg. 5)

2.3 Resistência elétrica (segunda lei de Ohm)

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$



Sendo: R – resistência elétrica (Ω); ρ – resistividade do material condutor ($\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$); L – comprimento do condutor (m); S – área da seção transversal do condutor (mm^2).

$$R = f(\rho, L, S, T)$$

2 Grandezas elétricas (pg. 5)

2.3 Resistência elétrica (em função da temperatura)

$$R_T = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_f - T_i)]$$

Sendo: R_T – resistência elétrica a uma determinada temperatura T em °C (Ω); R_{20} – resistência elétrica a 20°C (Ω); α – coeficiente de temperatura ($^{\circ}\text{C}^{-1}$); T_i – temperatura inicial (°C); T_f – temperatura final (°C)

- Analogia: resistência elétrica (R) e perda de carga (h_f) em hidráulica;
- Medida: com um multímetro.

Tabela 1. Resistividade (ρ) e coeficiente de temperatura (α) dos principais materiais condutores

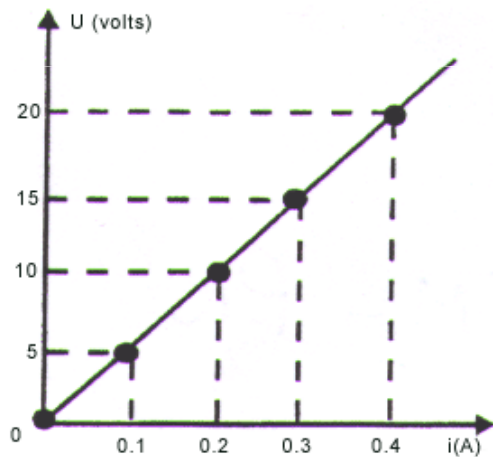
Material	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)	Coeficiente de temperatura ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Prata	0,0160	0,0038
Prata-liga	0,3000	0,0007
Cobre	0,0178	0,0040
Alumínio	0,0280	0,0039
Ferro	0,1300	0,0060
Platina	0,1000	0,0032
Zinco	0,0600	0,0039
Chumbo	0,2100	0,0042
Constantan	0,5000	$\cong 0,0$
Níquel-cromo	1,0000	0,00016
Mercúrio	0,9600	0,00092
Tungstênio	0,0550	0,0048

2 Grandezas elétricas (pg. 5 e 6)

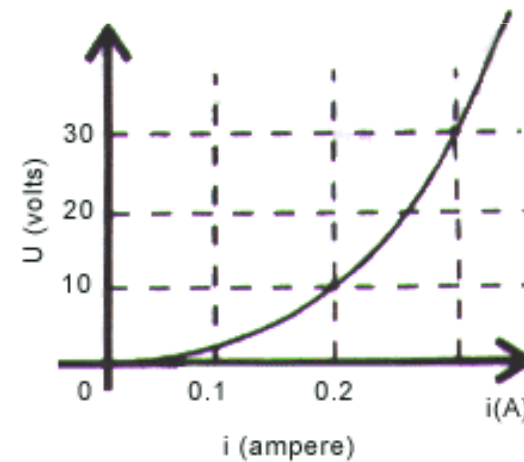
2.4 Primeira lei de Ohm

$$U = R \cdot I$$

Sendo: U – tensão elétrica (V); R – resistência elétrica (Ω); I – Intensidade de corrente elétrica (A).



(a)



(b)

Figura – Característica do condutor: (a) ôhmico; e, (b) não ôhmico.

2 Grandezas elétricas (pg. 7)

2.5 Queda de tensão

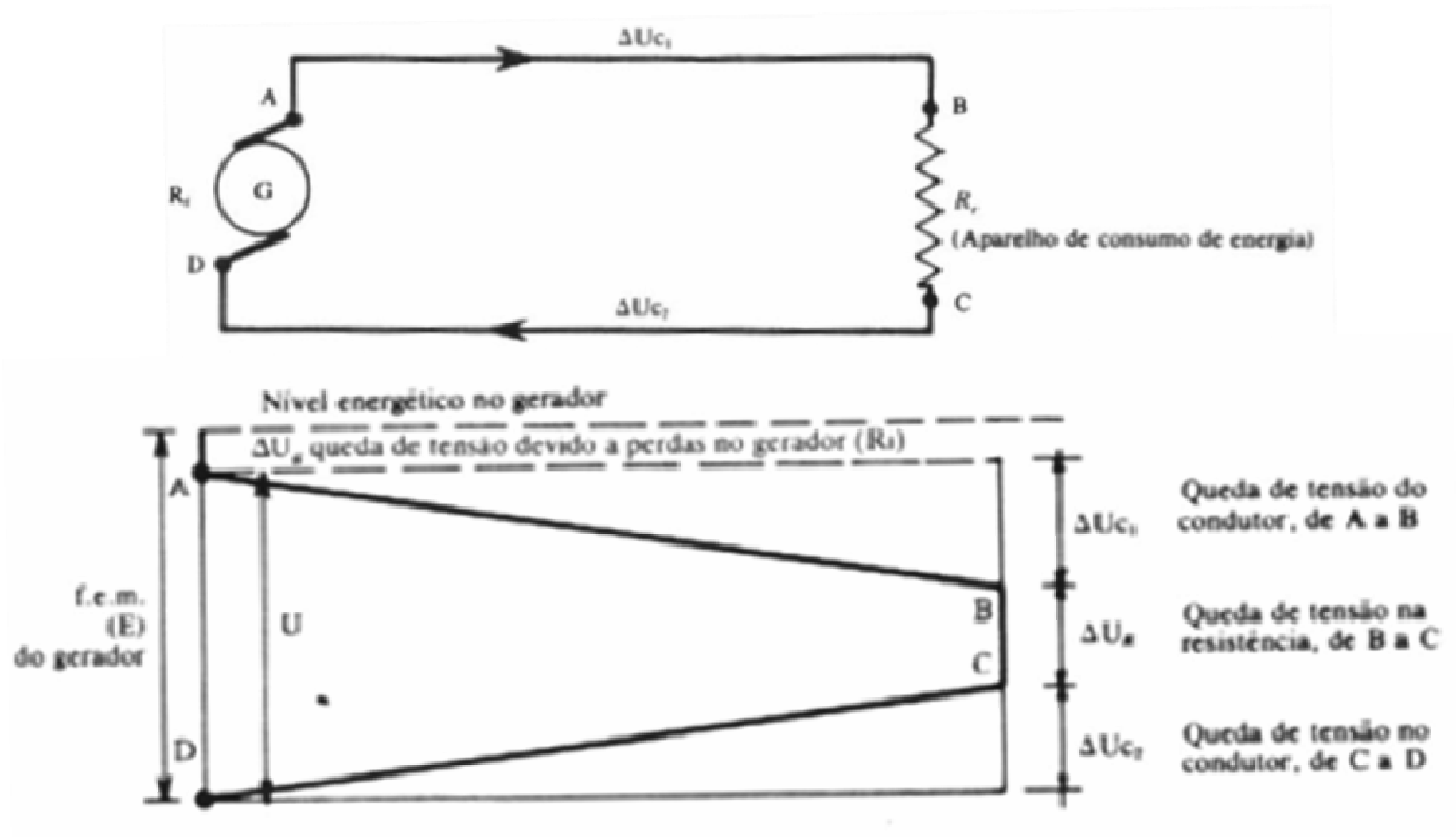


Figura – Balanço energético em um circuito elétrico.

2 Grandezas elétricas (pg. 7)

2.5 Queda de tensão



$$E = U + \Delta U = R_e \cdot I + r_i \cdot I$$

Sendo, E – força eletromotriz – f.e.m (V); R_e – resistência externa do circuito (Ω); r_i – resistência interna do circuito (Ω); I – intensidade da corrente elétrica (A); U – tensão nos terminais (V); ΔU – queda de tensão devido as perdas no sistema (V).

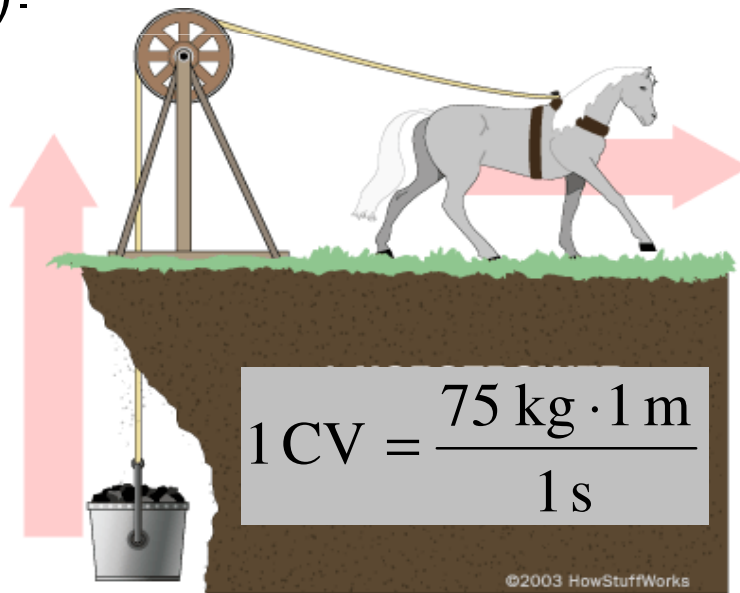
2 Grandezas elétricas (pg. 6)

2.6 Potência elétrica (circuitos resistivos)

$$P = U \cdot I$$

$$P = E \cdot I$$

Sendo: P – potência elétrica (W); U – tensão elétrica (v); E – força eletromotriz (V); I – intensidade de corrente elétrica (A).



$$1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W}$$

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

Figura – Definição de cavalo vapor (CV).

2 Grandezas elétricas (pg. 6)

2.6 Potência elétrica

- Analogia: potência elétrica e potência hidráulica.

$$\text{potência elétrica } (P) = \text{tensão } (V) \cdot \text{corrente } (A)$$

$$\text{potência hidráulica } (\text{L m s}^{-1}) = \frac{\text{volume (L)}}{\text{tempo (s)}} \cdot \text{altura (m)}$$

$$1 \text{ L água} = 1 \text{ kg água}$$

$$1 \text{ CV} = \frac{75 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ s}}$$

- Medida: wattímetro.



2 Grandezas elétricas (pg. 15)

2.7 Rendimento elétrico

$$\eta = \frac{P_s}{P_E}$$

$$\eta = \frac{P_n}{P_a}$$

Sendo: η – rendimento elétrico (adimensional); P_E – potência de entrada (W); P_s – potência de saída (W); P_a – potência absorvida pelo equipamento (W); P_n – potência nominal entregue pelo equipamento (W).

- Analogia: rendimento elétrico (perdas por aquecimento e indução eletromagnética) e rendimento hidráulico (perdas por atrito, vazamento).

2 Grandezas elétricas

2.8 Energia e trabalho

- Energia (do grego *energeia*, atividade) é definida pela capacidade de se produzir trabalho.
- Trabalho é o resultado de uma força sobre o deslocamento de um corpo.

A energia pode ser:

- cinética (a partir da força das ondas e dos ventos);
- gravitacional (a partir das quedas d'água);
- elétrica (a partir de turbinas e baterias) ;
- química (obtida por reações exotérmicas como a combustão de diesel e gasolina) ;
- térmica (pela queima de carvão ou madeira);
- radiante (pela luz solar); e,
- nuclear (obtida pela fissão de átomos de urânio ou fusão de núcleos de hidrogênio).

2 Grandezas elétricas

2.8 Energia e trabalho (entendimento errado dos conceitos)

O movimento perpétuo

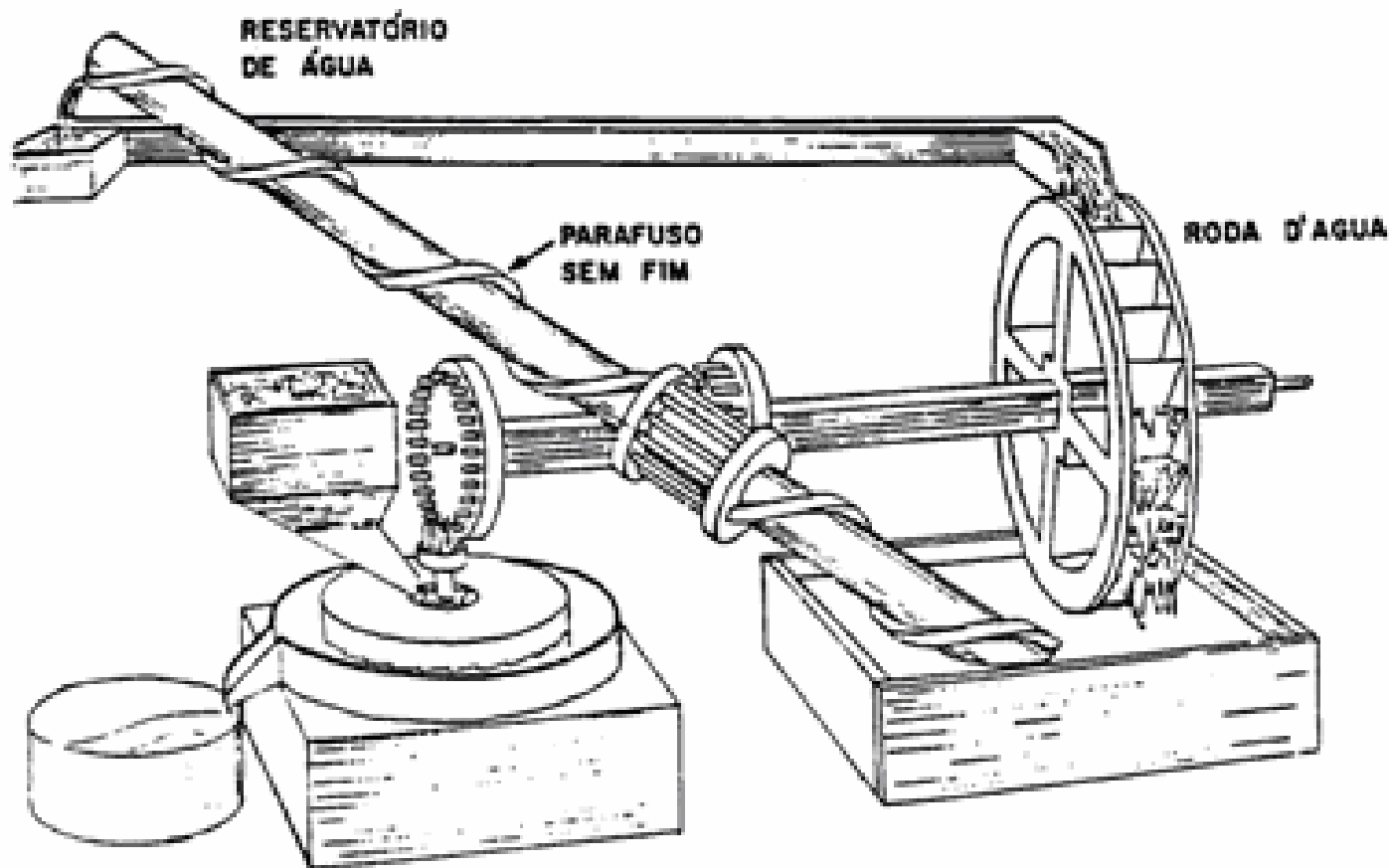
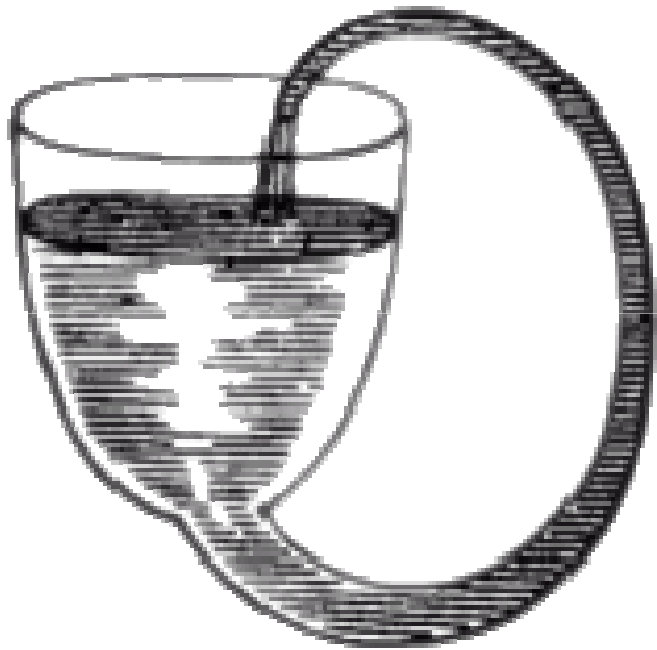


Figura – O moto-contínuo de Robert Fludd.

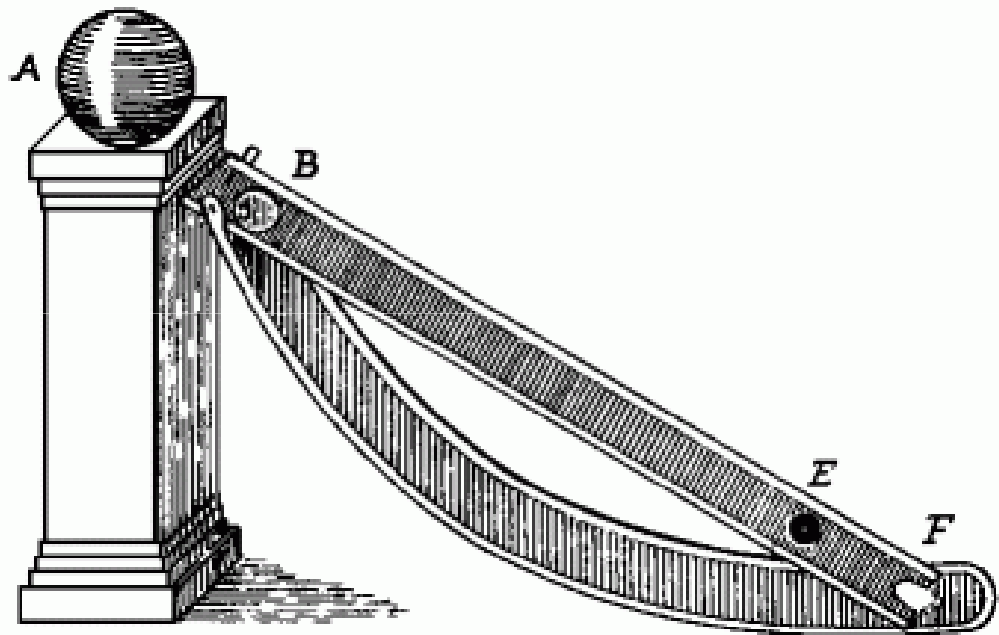
2 Grandezas elétricas

2.8 Energia e trabalho (entendimento errado dos conceitos)

O movimento perpétuo



(a)



(b)

Figura – O moto-contínuo de: (a) Robert Boyle; e, (b) Johannes Taisnerius

2 Grandezas elétricas (pg. 6)

2.8 Energia e trabalho

- Energia consumida ou trabalho elétrico efetuado é definido como:

$$***W = P \cdot t***$$

Sendo: W – trabalho elétrico (kWh); P – potência elétrica (kW);
 t – tempo (h).

- Analogia: trabalho elétrica e trabalho mecânico.

Trabalho mecânico (J) = força (N) · distância (m)

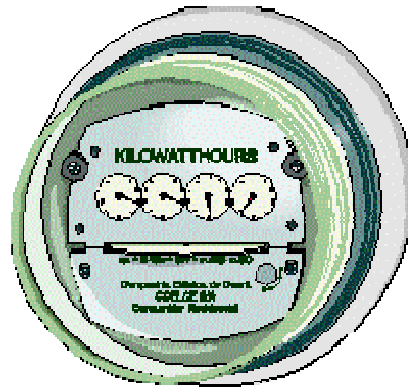
Trabalho elétrico (kWh) = potência (kW) · tempo (s)

2 Grandezas elétricas (pág. 6)

2.8 Energia e trabalho

- Medida:

(a) analógico



(b) digital



Figura – Medidores de energia: (a) analógico; e, (b) digital.

Tabela 2. Unidade de trabalho, energia e potência

$$1 \text{ J (joule)} = 10^7 \text{ ergs}$$

$$1 \text{ W (watt)} = 1 \text{ J s}^{-1}$$

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh (quilowatt-hora)} = 860 \text{ kcal} = 3.600 \text{ kJ} = 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ TEP} = 3,6 \cdot 10^{13} \text{ ergs}$$

$$1 \text{ TEP (tonelada de equivalente petróleo)} = 11.630 \text{ kWh} = 10^7 \text{ kcal} = 1,28 \text{ tonelada de carvão}$$

$$1 \text{ BTU (unidade térmica britânica)} = 252 \text{ cal}$$

$$1 \text{ kWano ano}^{-1} = 0,753 \text{ TEP ano}^{-1}$$

2 Grandezas elétricas (pg. 7)

2.9 Circuitos com resistências associadas

(a) Constituição de um circuito elétrico

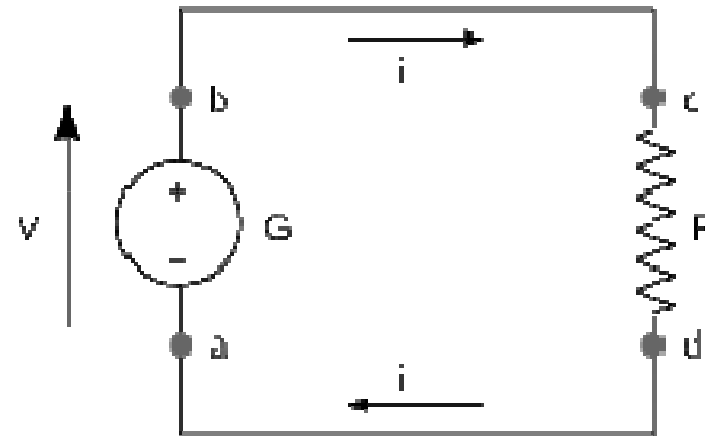
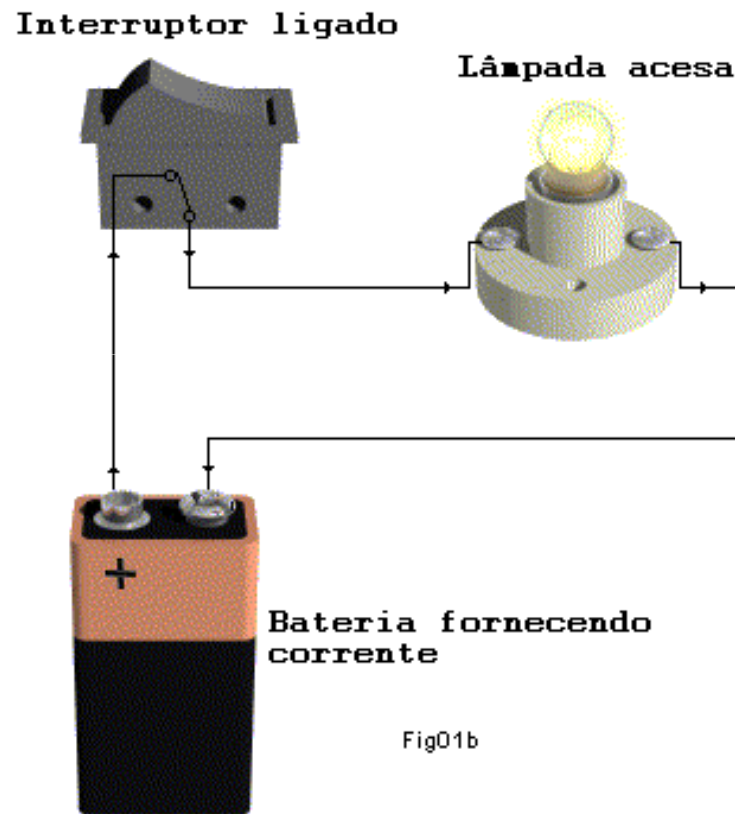


Figura – Exemplos de circuito .

2 Grandezas elétricas (pg. 7 e 8)

2.9 Circuitos com resistências associadas

(b) Circuito com resistência em série

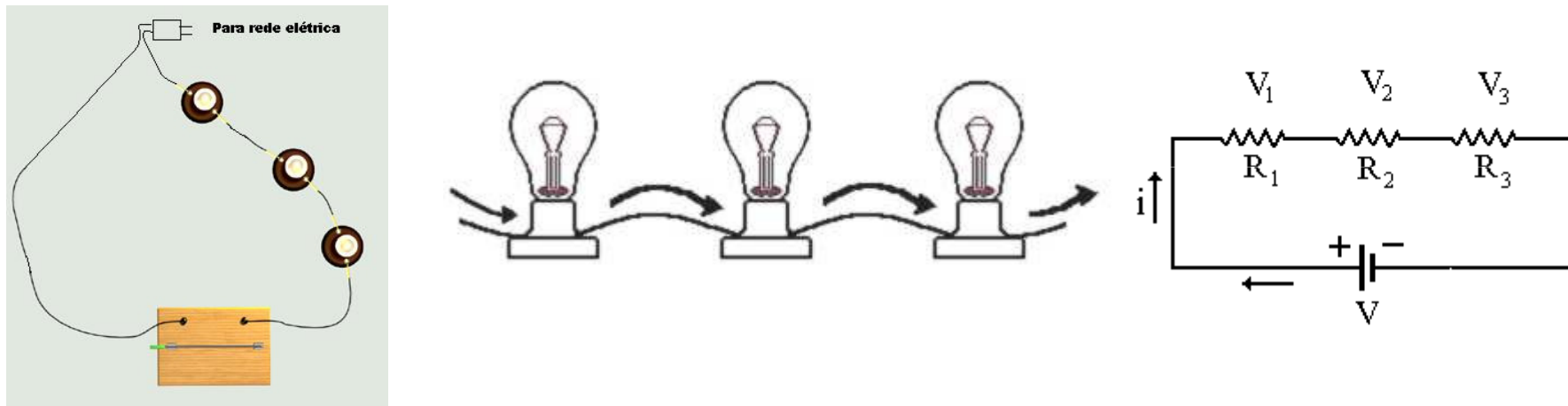
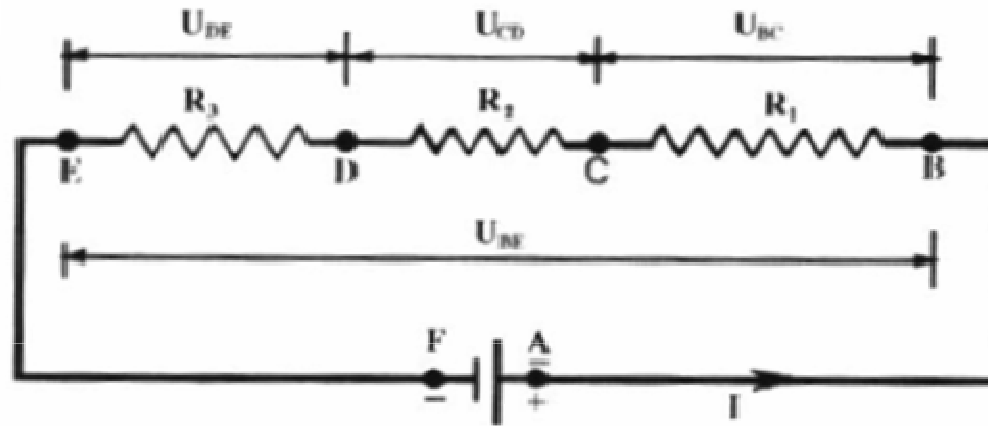


Figura – Circuito em série.

2 Grandezas elétricas (pg. 7 e 8)

2.9 Circuitos com resistências associadas

(b) Circuito com resistência em série



$$I_e = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$U_{e(BE)} = U_{BC} + U_{CD} + \dots + U_{DE}$$

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

2 Grandezas elétricas (pg. 8)

2.9 Circuitos com resistências associadas

(c) Circuito com resistência em paralelo

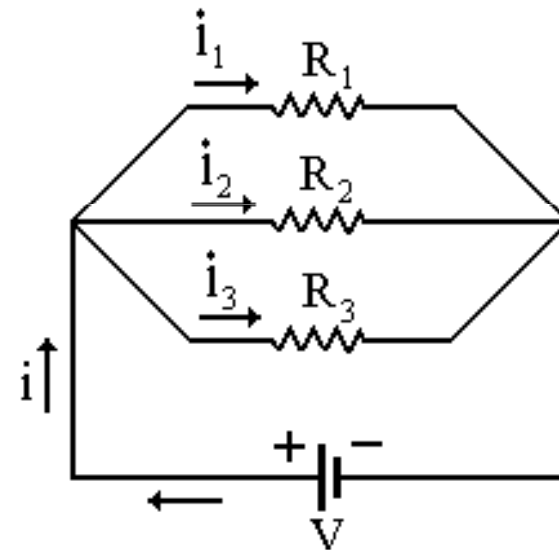
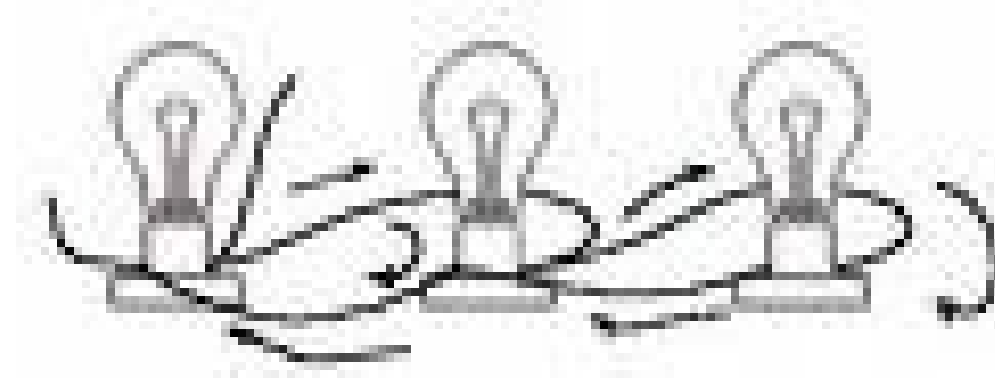


Figura – Circuito em paralelo.

2 Grandezas elétricas (pg. 8)

2.9 Circuitos com resistências associadas

(c) Circuito com resistência em paralelo

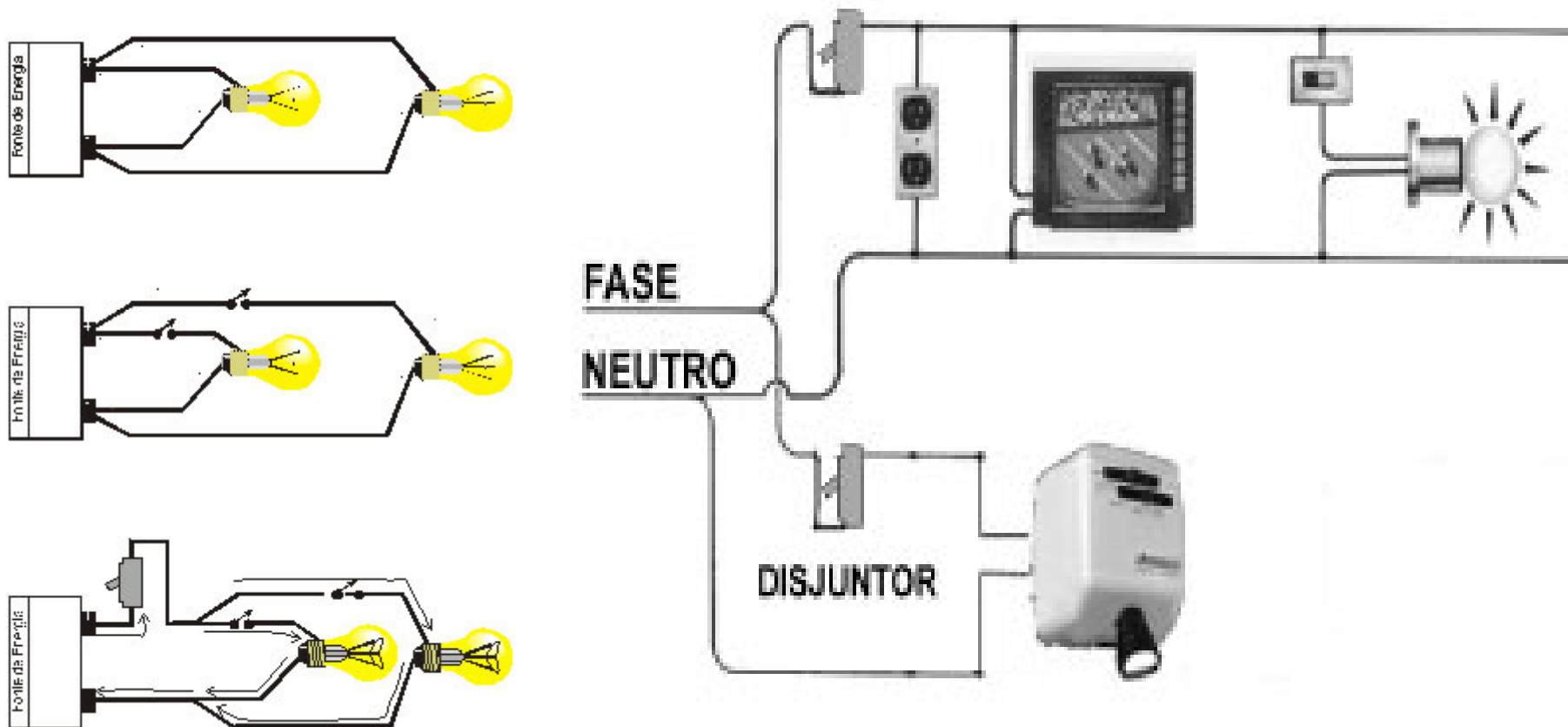
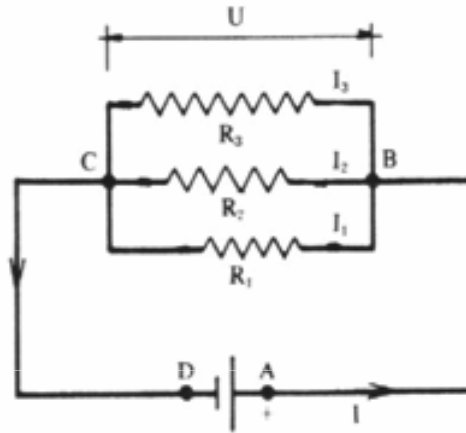


Figura – Circuitos em paralelo.

2 Grandezas elétricas (pg. 8)

2.9 Circuitos com resistências associadas

(c) Circuito com resistência em paralelo



$$U_e = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

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

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

2 Grandezas elétricas

2.9 Circuitos com resistências associadas

(d) Circuito misto (resistências em série e paralelo)

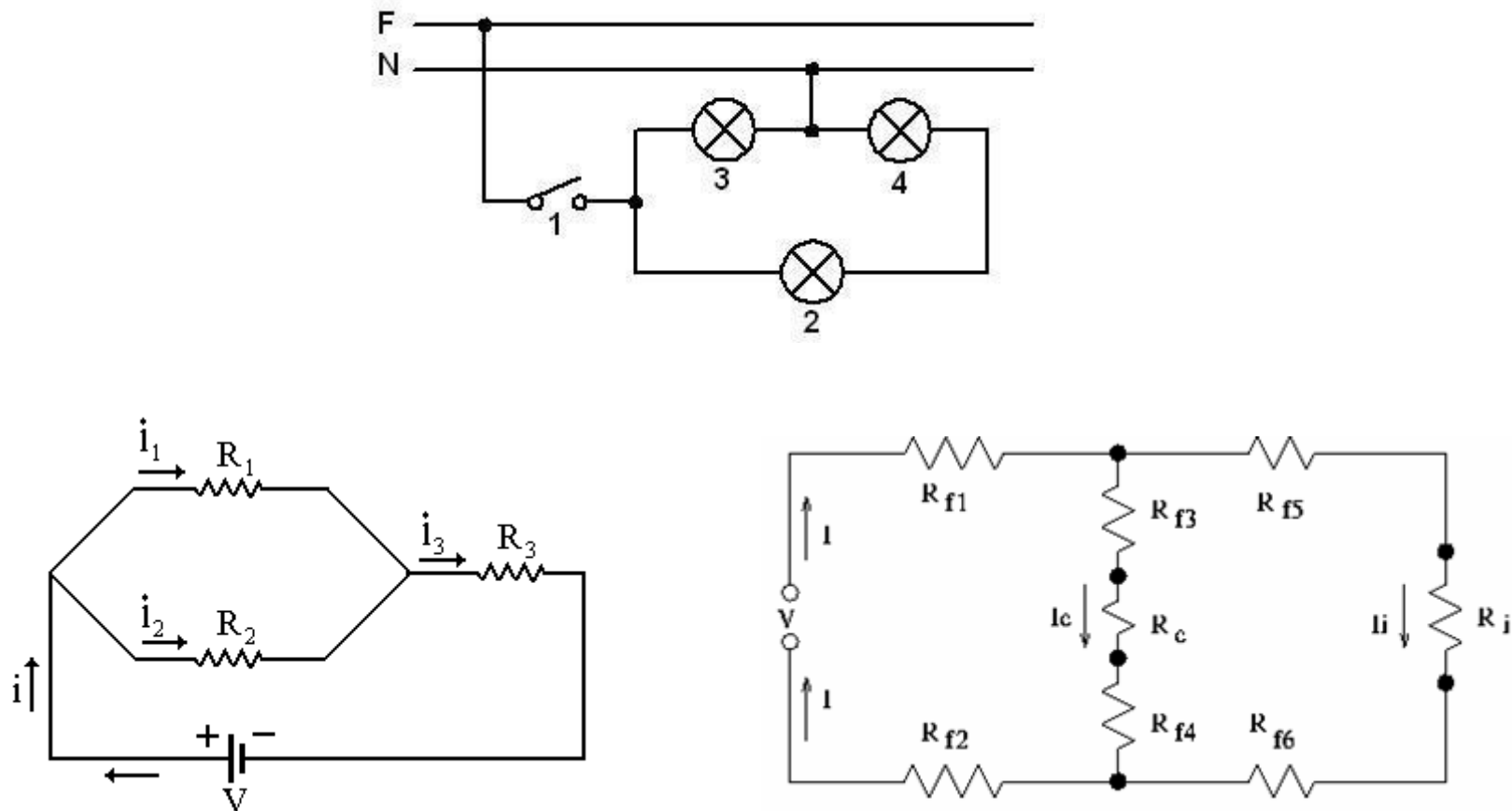
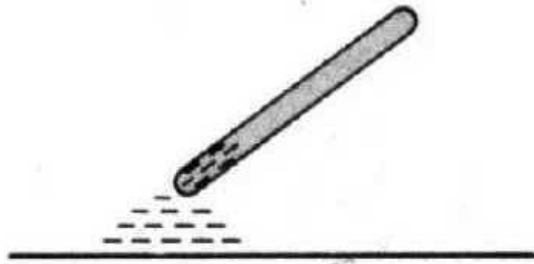
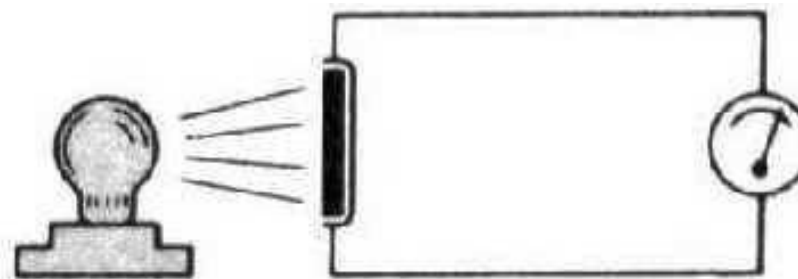


Figura – Circuitos misto.

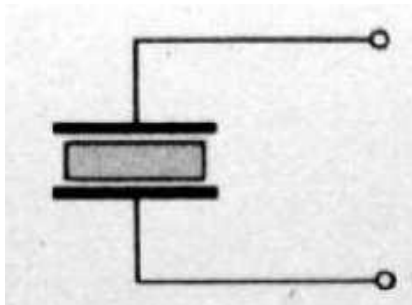
3 Produção de uma força eletromotriz (pg. 9)



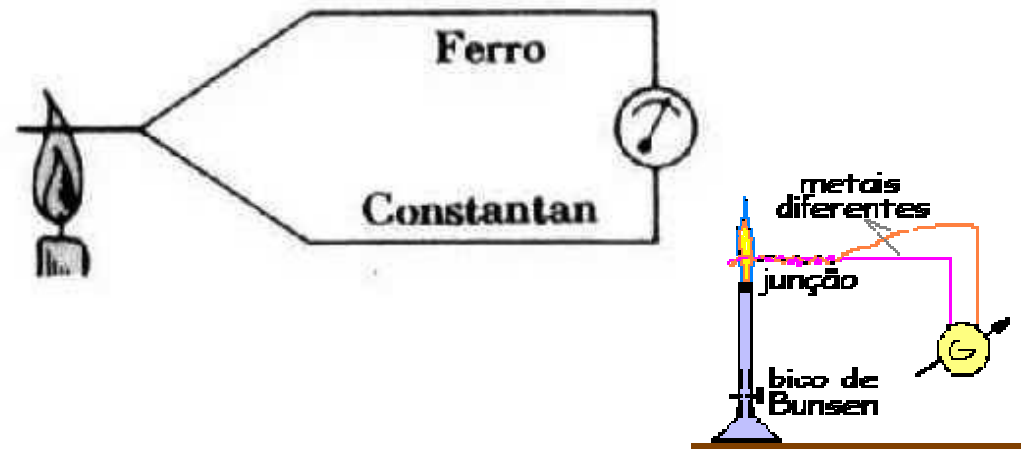
(a) Atrito



(b) Ação da luz



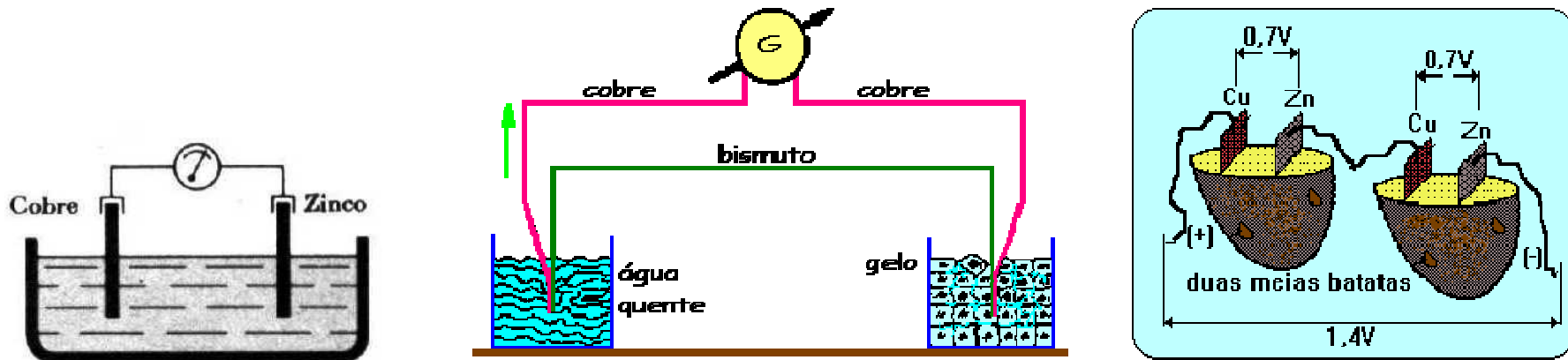
(c) Efeito piezelétricos
(compressão e tração de
cristais de quartzo)



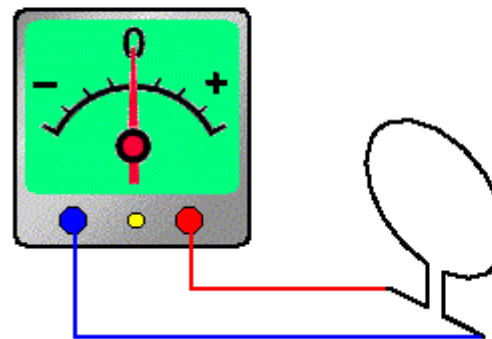
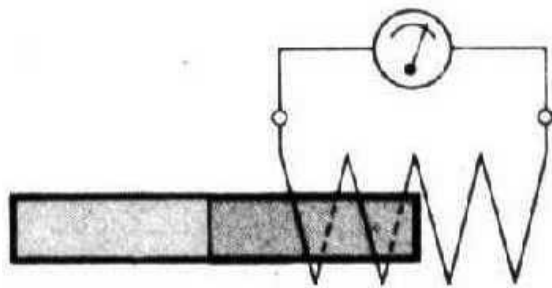
(d) Efeito termelétrico

Figura – Formas de obtenção de uma força eletromotriz (f.e.m)

3 Produção de uma força eletromotriz (pg. 9)



(e) Ação química de soluções



(f) Indução eletromagnética (magnetismo)

Figura – Formas de obtenção de uma força eletromotriz (f.e.m)

3 Produção de uma força eletromotriz

3.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

(a) Magnetismo

- Imãs naturais



- Imãs artificiais

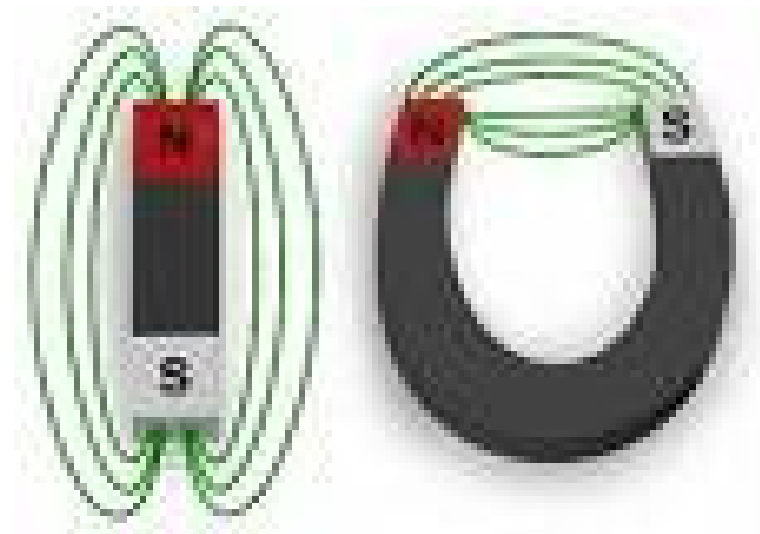
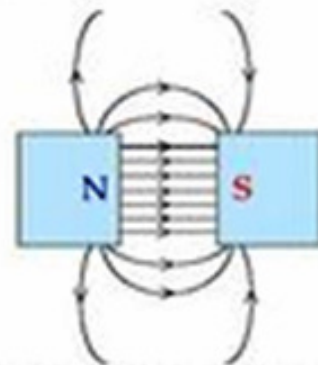
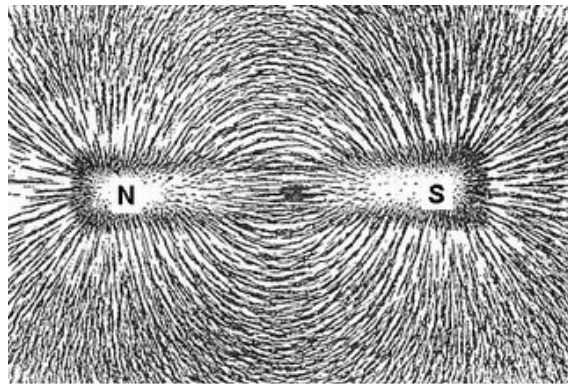


Figura – Imãs naturais e artificiais.

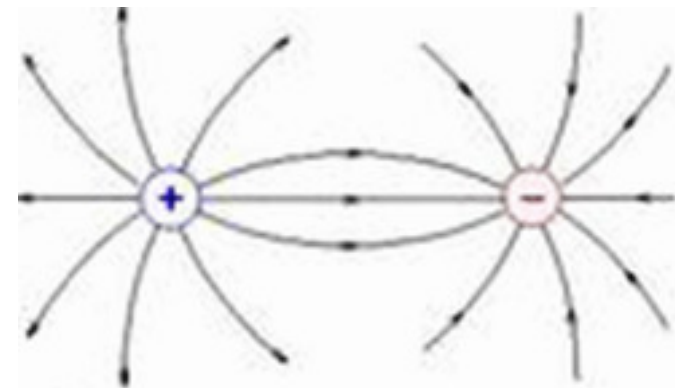
3 Produção de uma força eletromotriz

3.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

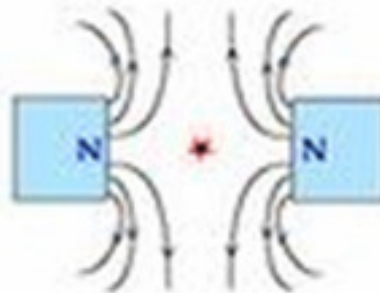
(b) Campo magnético



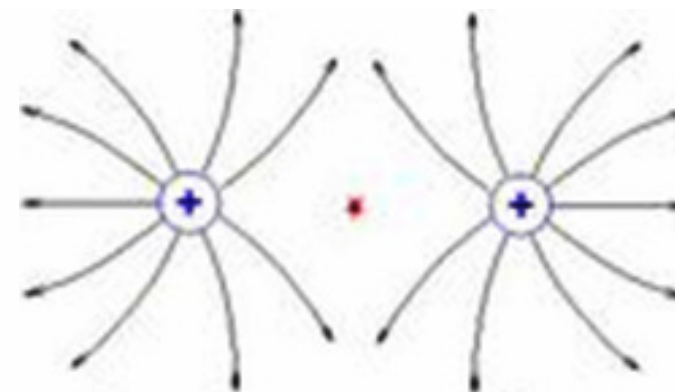
Pólos que se atraem



Cargas que se atraem



Pólos que se repelem



Cargas que se repelem

Figura – Campo magnético

3 Produção de uma força eletromotriz

3.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

(c) Campo magnético ao redor de um condutor

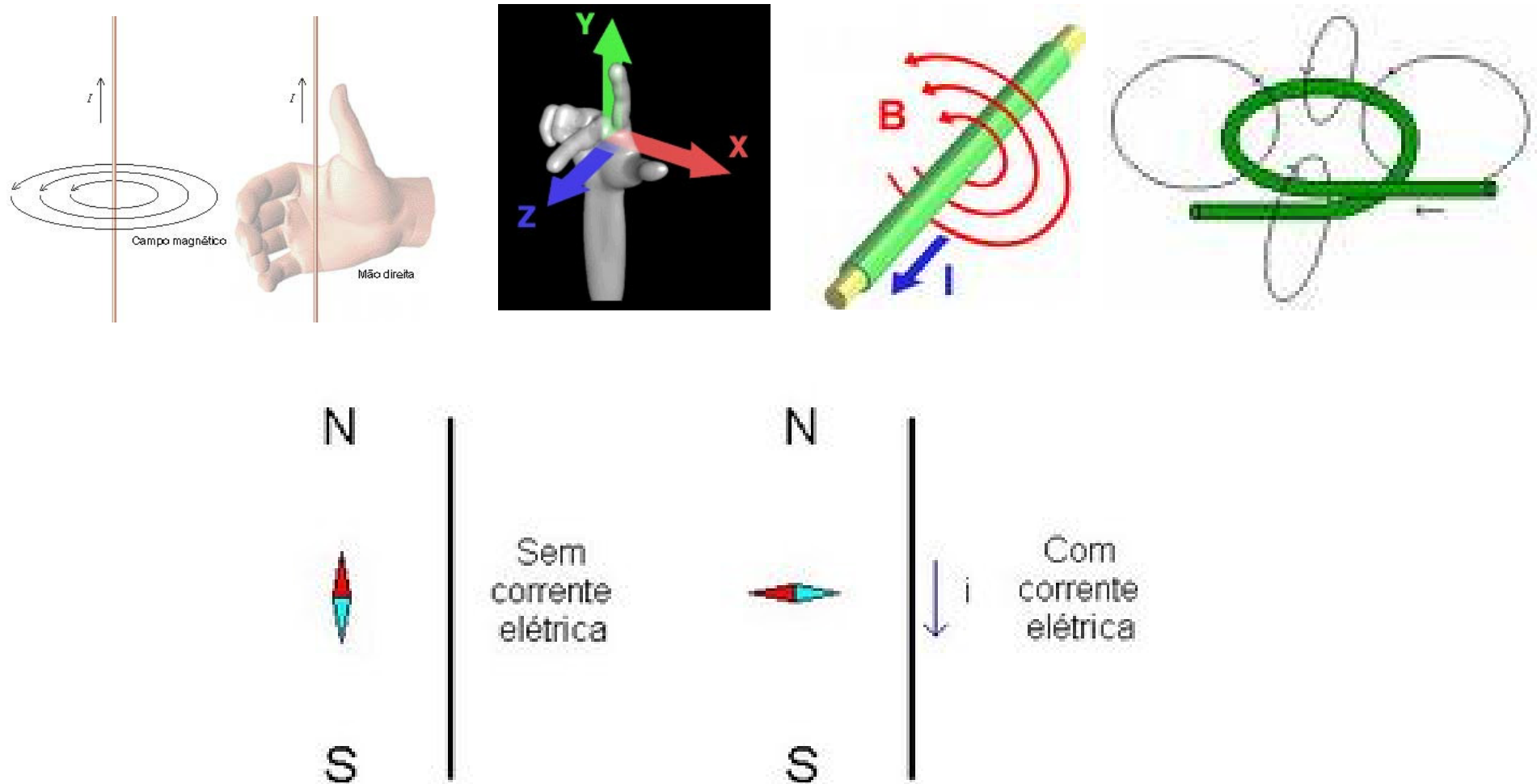


Figura – Campo magnético em um condutor

3 Produção de uma força eletromotriz

3.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

(d) Campo magnético de dois condutores paralelos

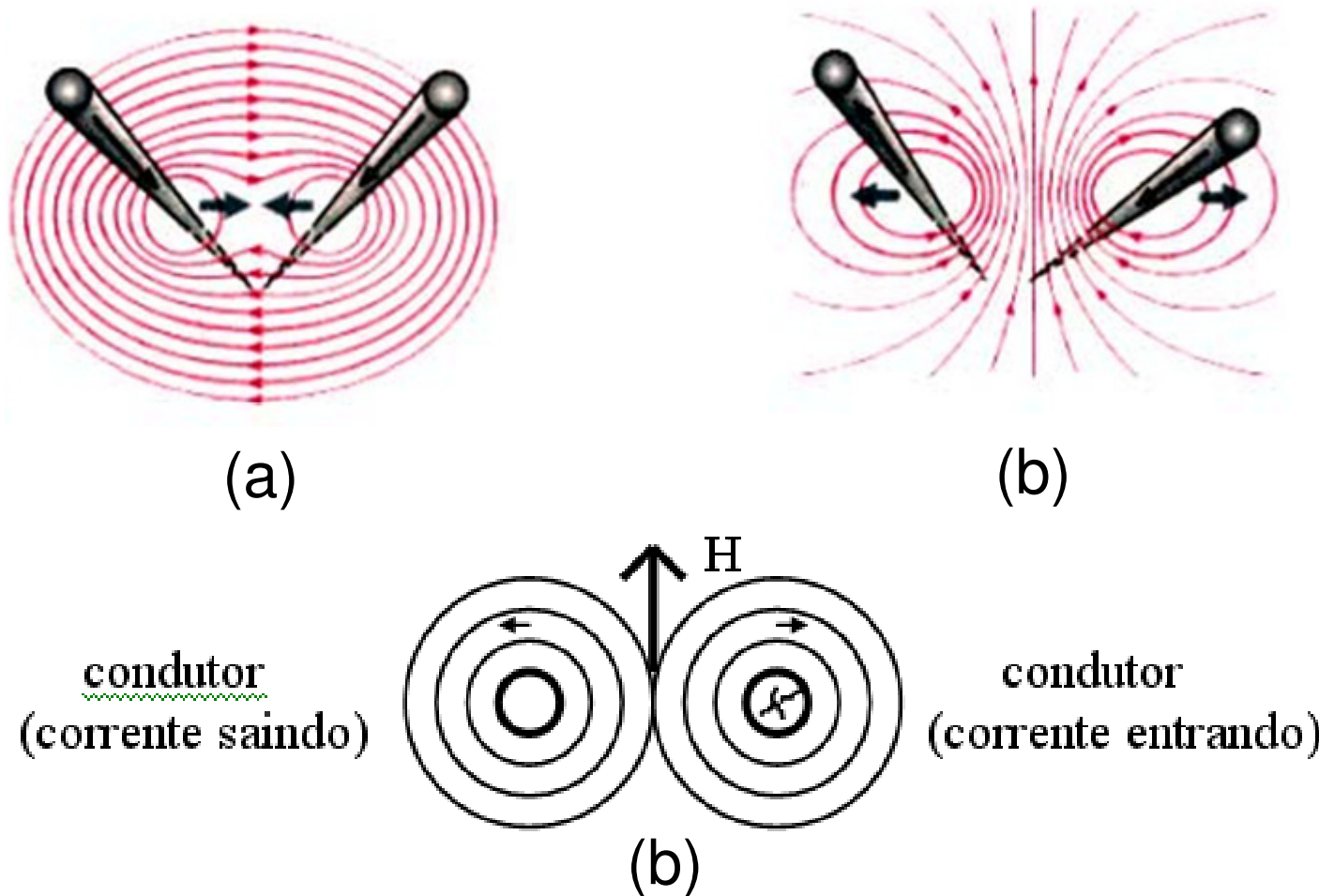


Figura – Campo magnético formado por uma corrente em dois condutores: (a) mesmo sentido; e, (b) sentidos contrários.

3 Produção de uma força eletromotriz (pg. 9)

3.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética (e) Campo magnético de um solenóide

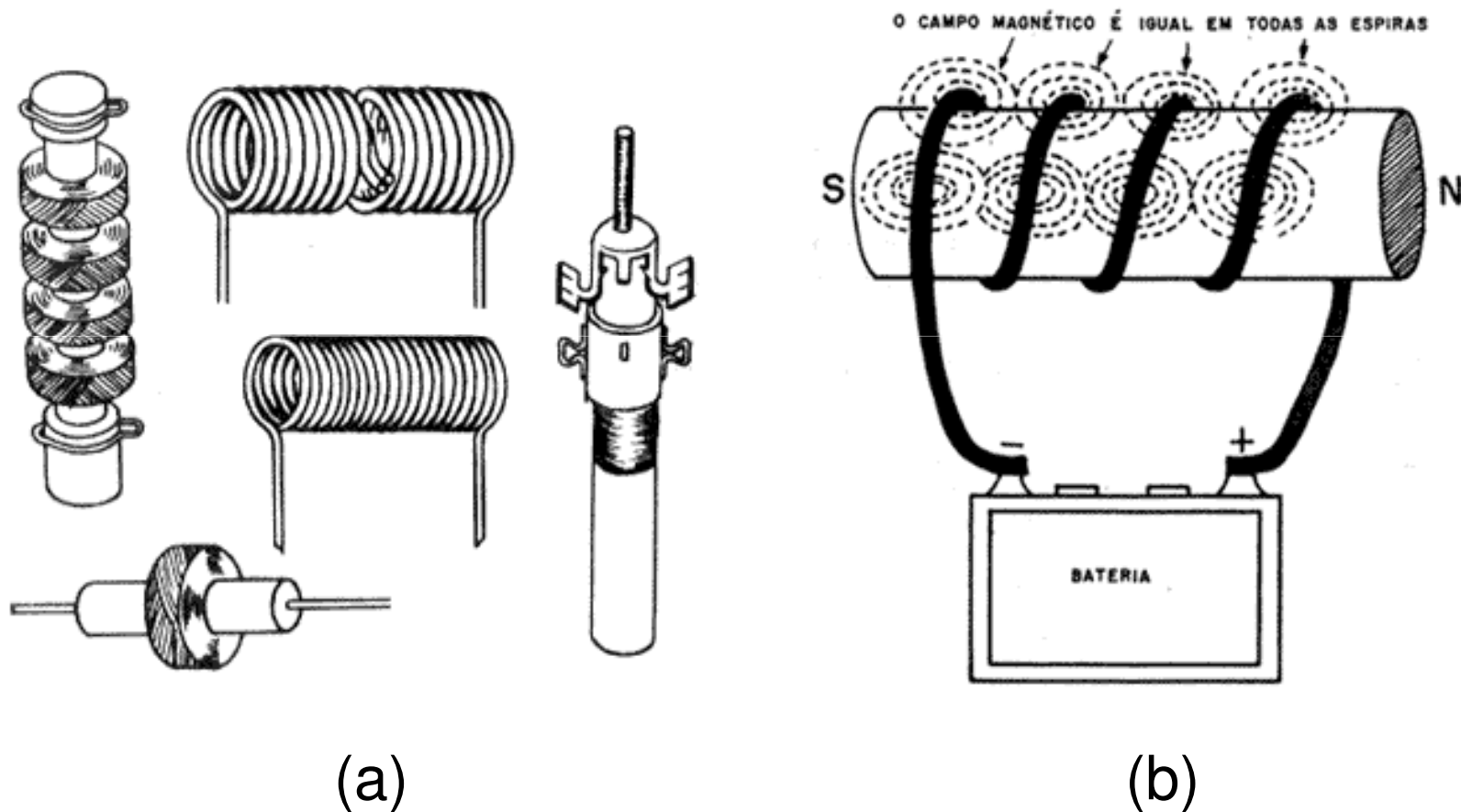


Figura – (a) Bobinas; e, (b) Solenóide

3 Produção de uma força eletromotriz (pg. 9)

3.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética (e) Campo magnético de um solenóide

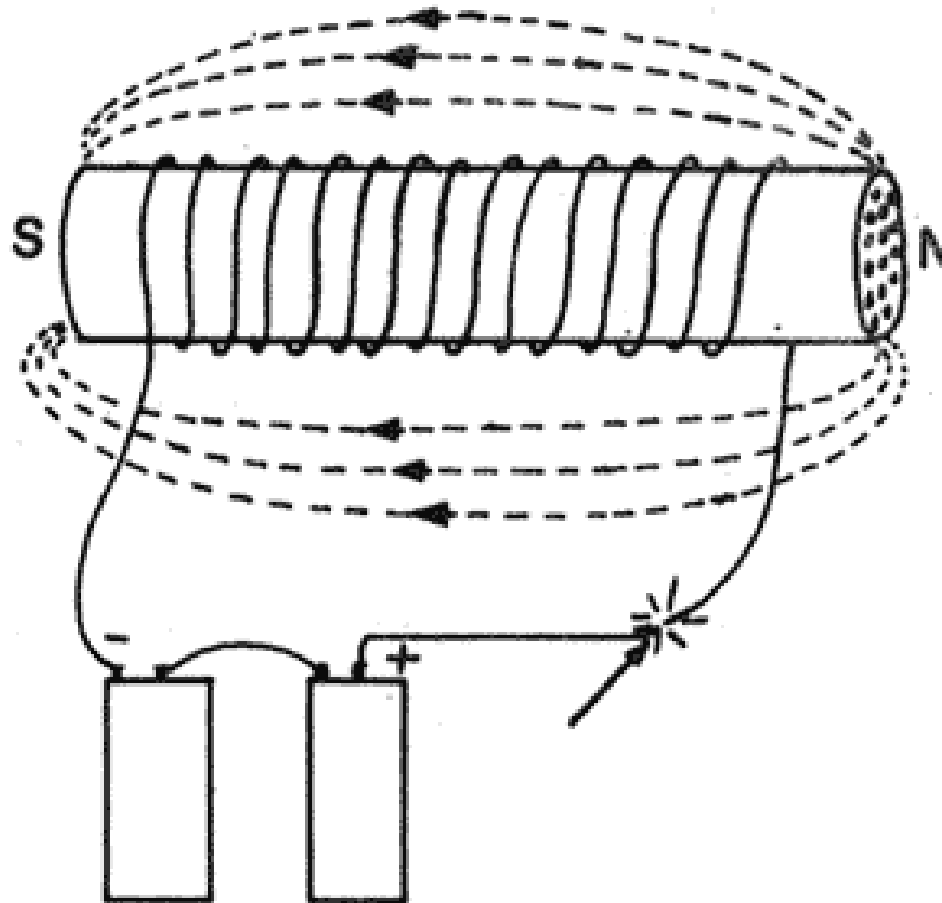


Figura – Campo magnético produzido por um solenóide

3 Produção de uma força eletromotriz

3.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

(f) Força do campo magnético

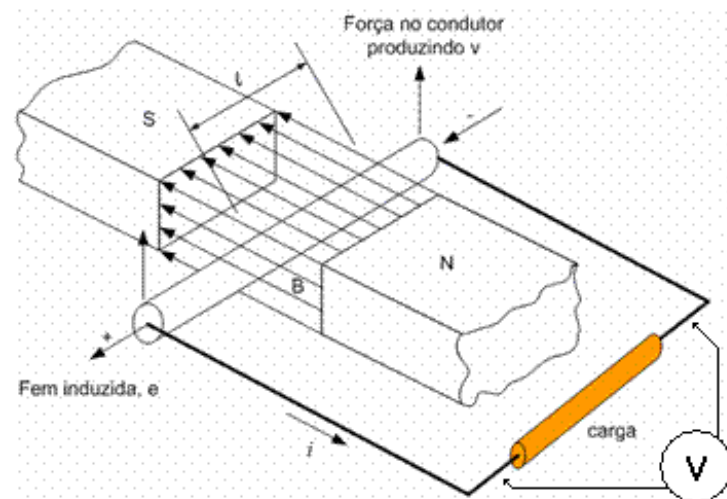
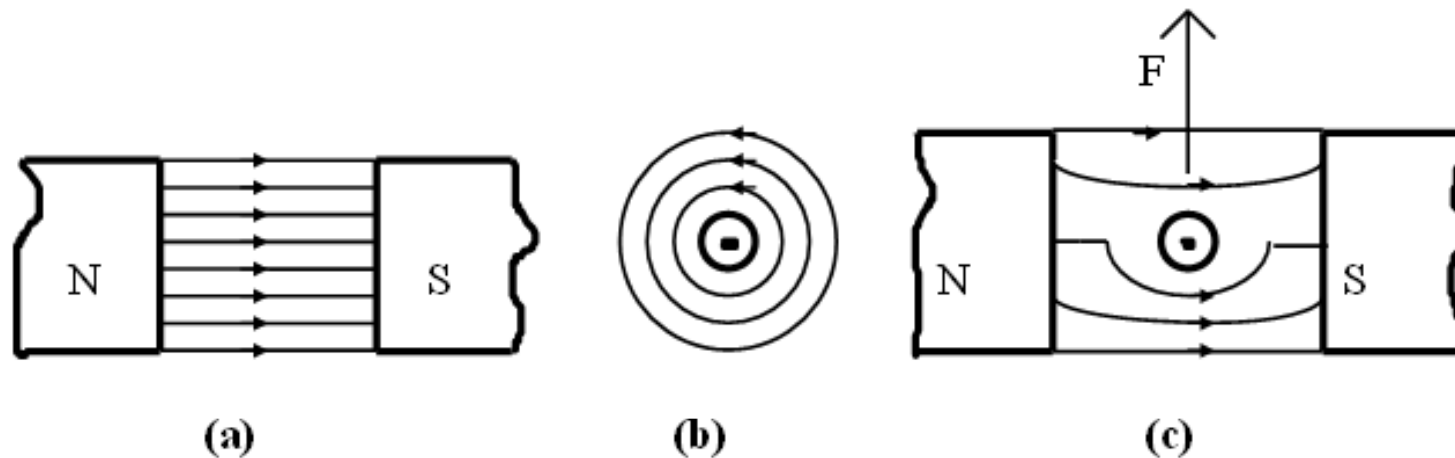
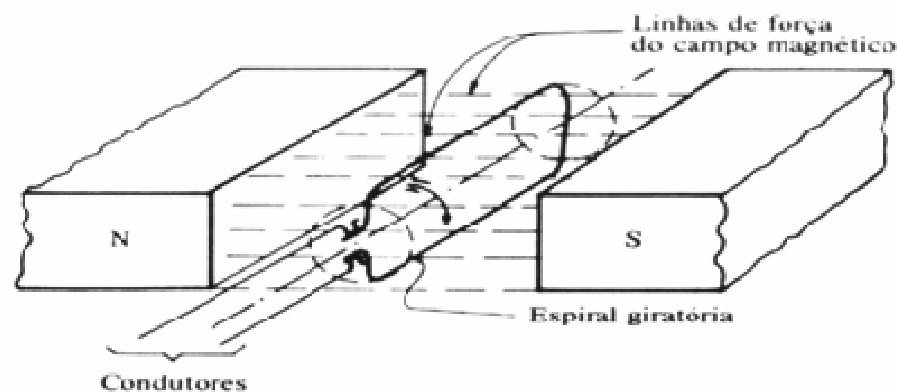


Figura – Força de um campo magnético

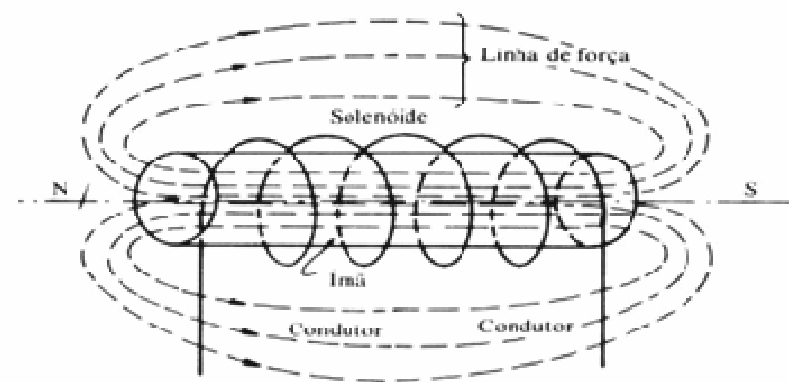
3 Produção de uma força eletromotriz (pg. 10)

3.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

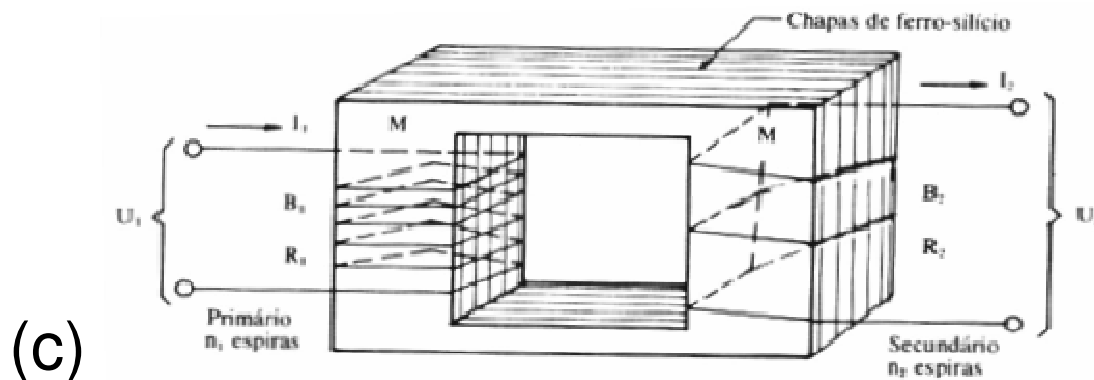
(g) Indução eletromagnética



(a)



(b)



(c)

Figura – (a) Rotação de um condutor em um campo magnético; (b) Deslocamento longitudinal de um ímã no interior de um solenóide; (c) Esquema básico de um transformador monofásico

4 Geração de energia (pg. 10)

4.1 Gerador monofásico de corrente alternada (alternador)

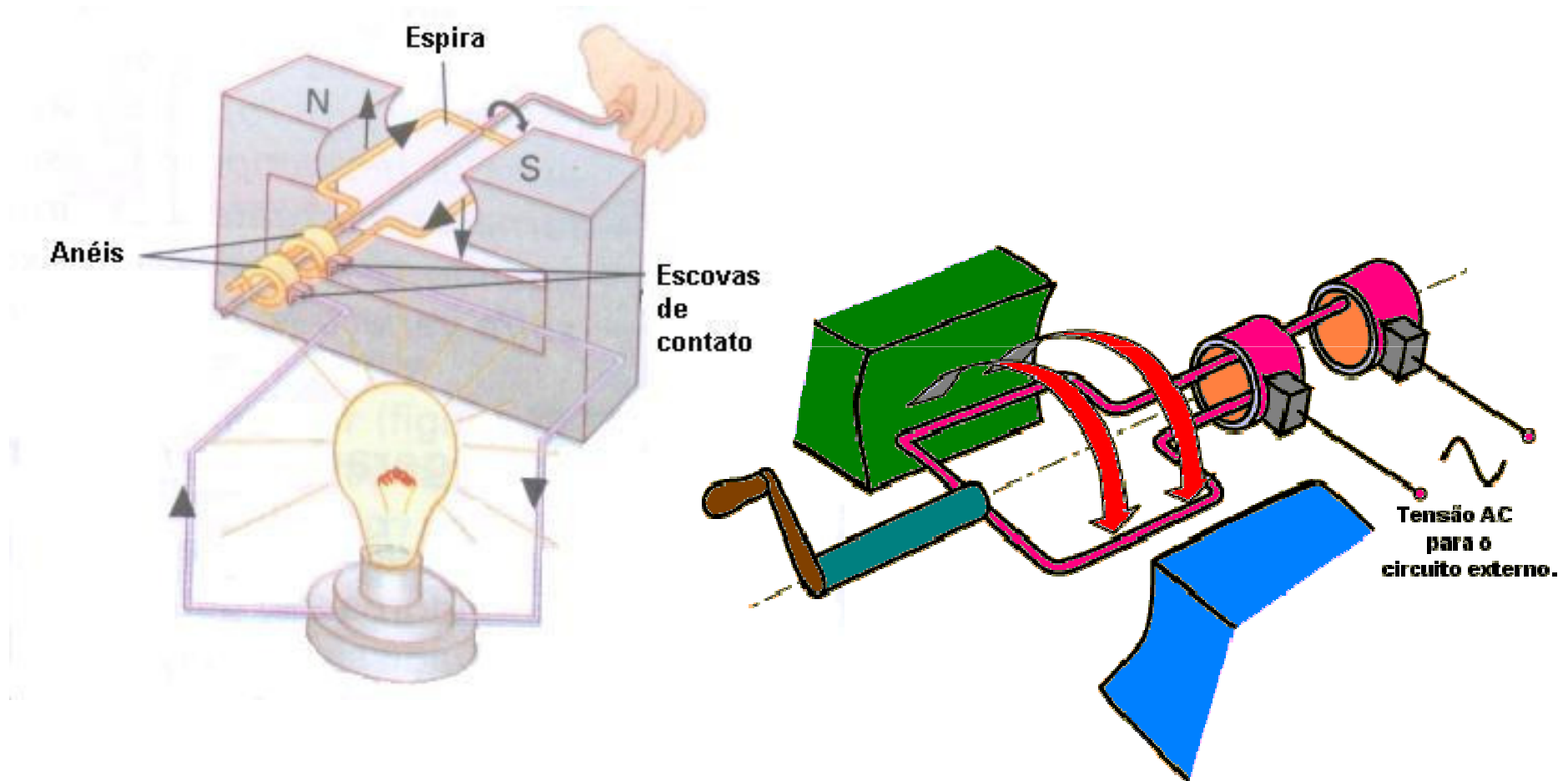


Figura – Geração de corrente alternada em um alternador monofásico

4 Geração de energia (pg. 10)

4.1 Gerador monofásico de corrente alternada (alternador)

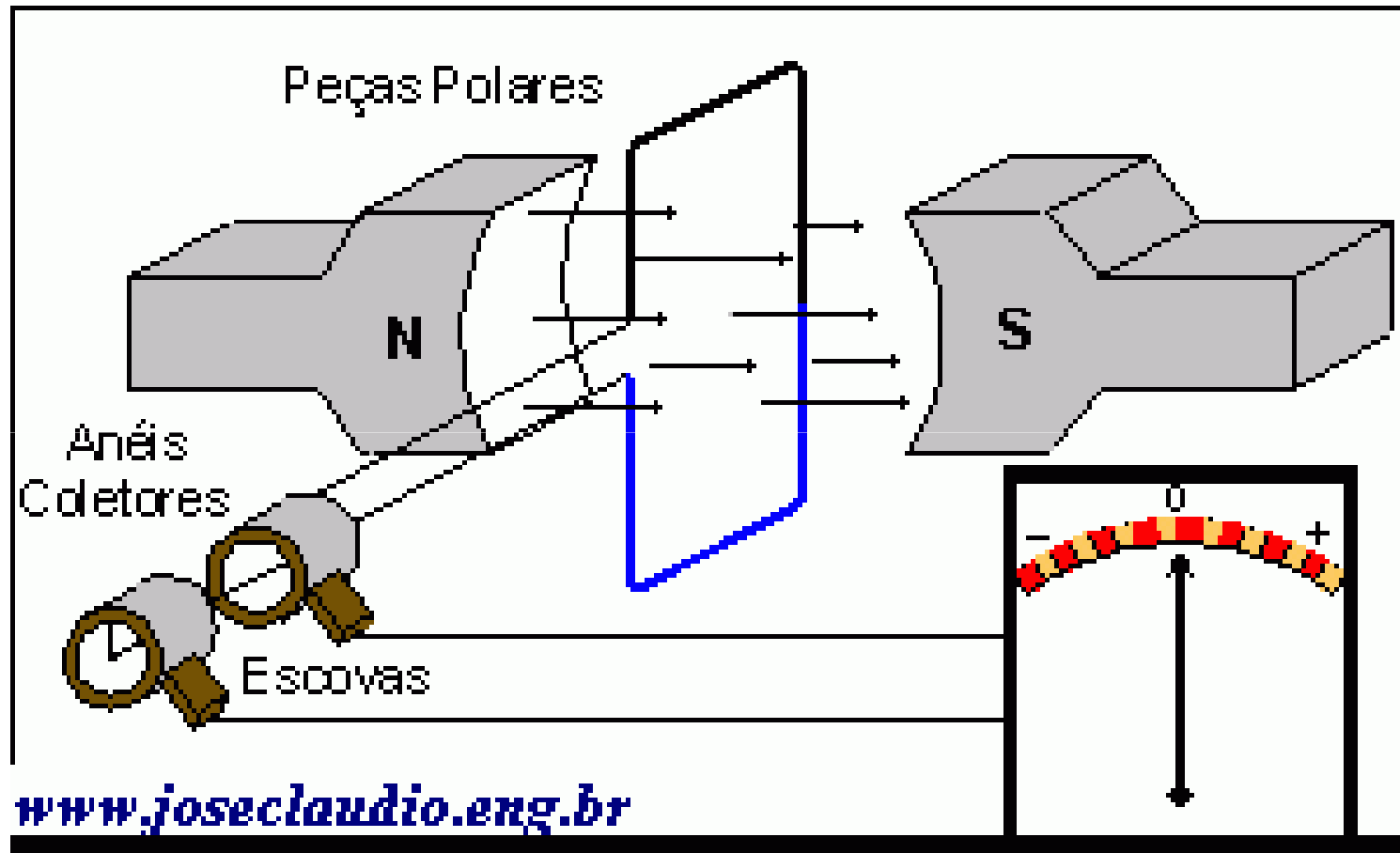


Figura – Geração de corrente alternada em um alternador monofásico

4 Geração de energia (pg. 10)

4.1 Gerador monofásico de corrente alternada (alternador)

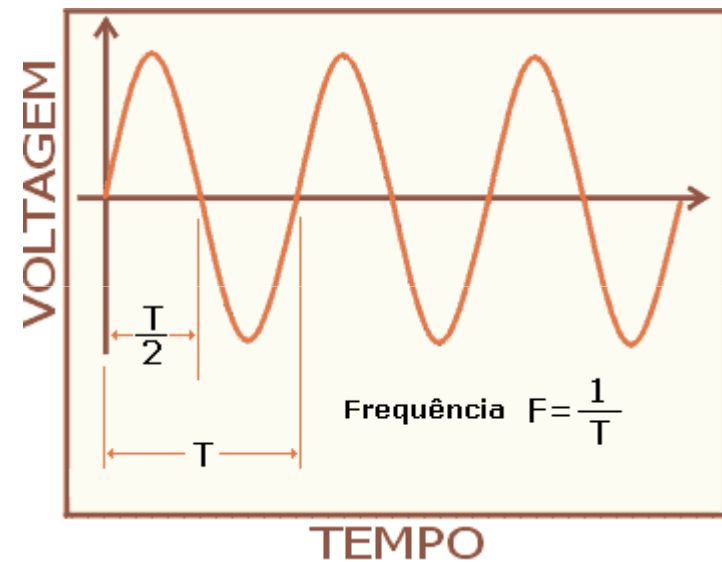
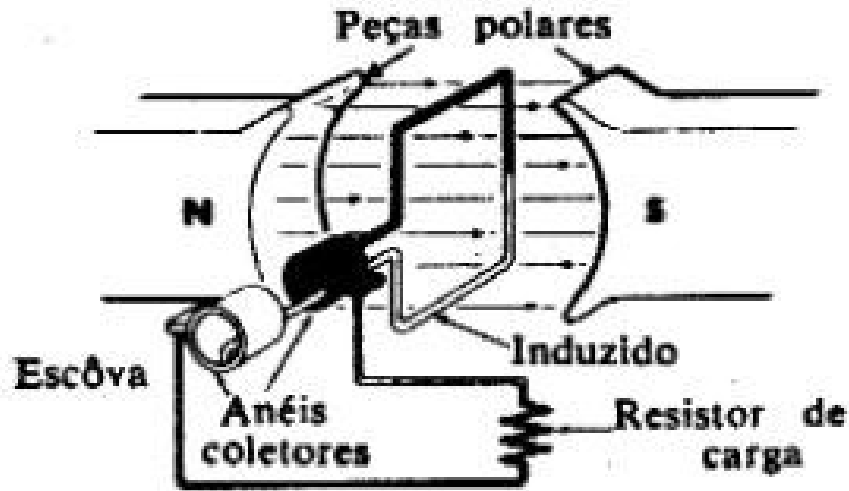
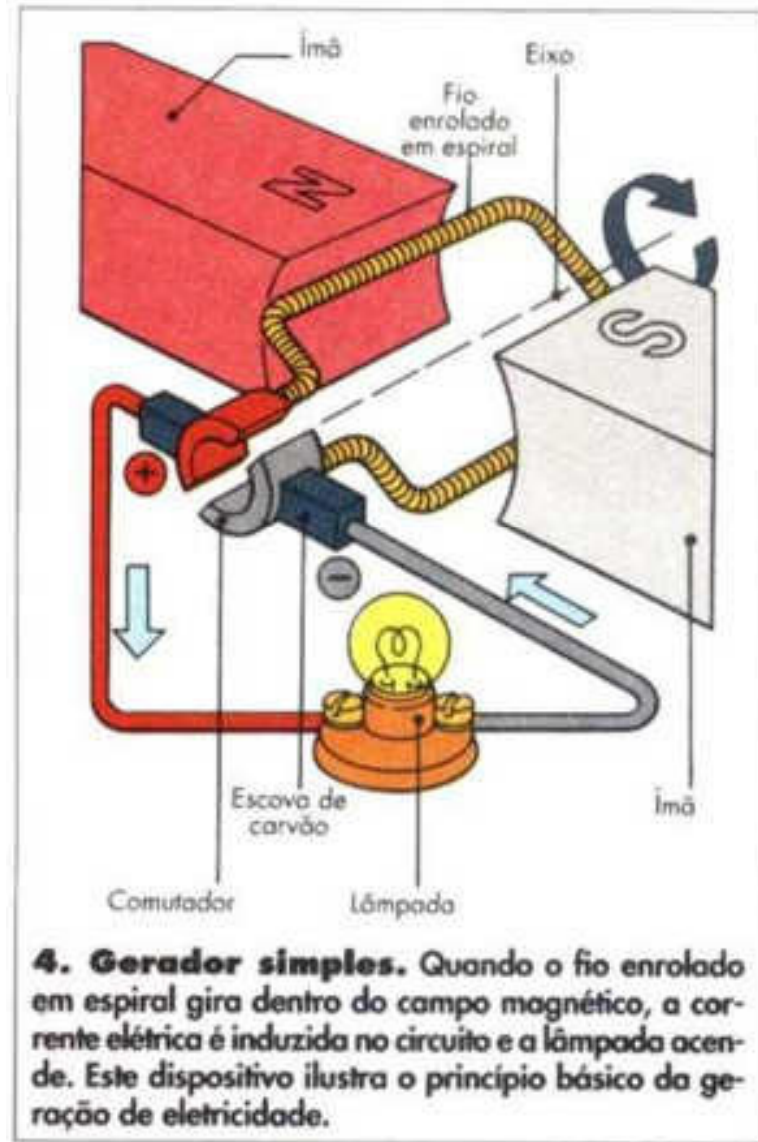


Figura – Geração de corrente alternada em um alternador monofásico e definição de frequência.

4 Geração de energia

4.2 Gerador de corrente contínua (dínamo)



Qual é a diferença entre os dois esquemas?!

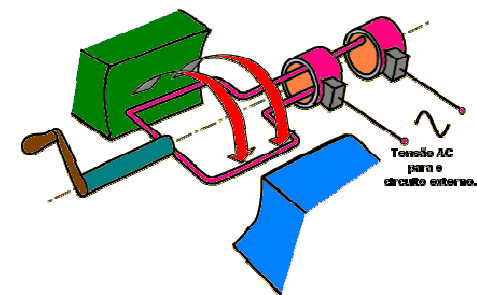
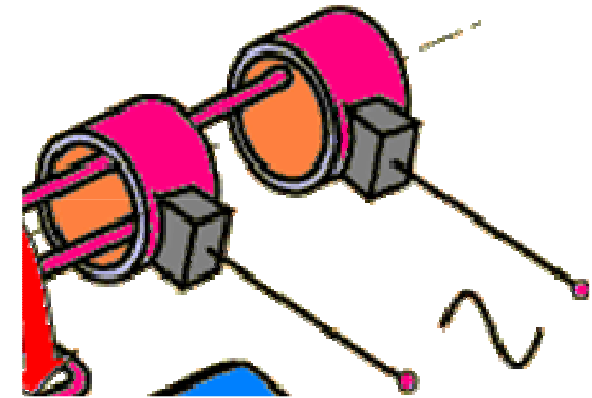
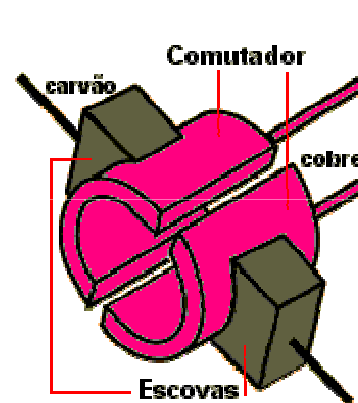


Figura – Gerador de corrente contínua (dínamo)

4 Geração de energia

Diferença na corrente produzido em um alternador e dínamo

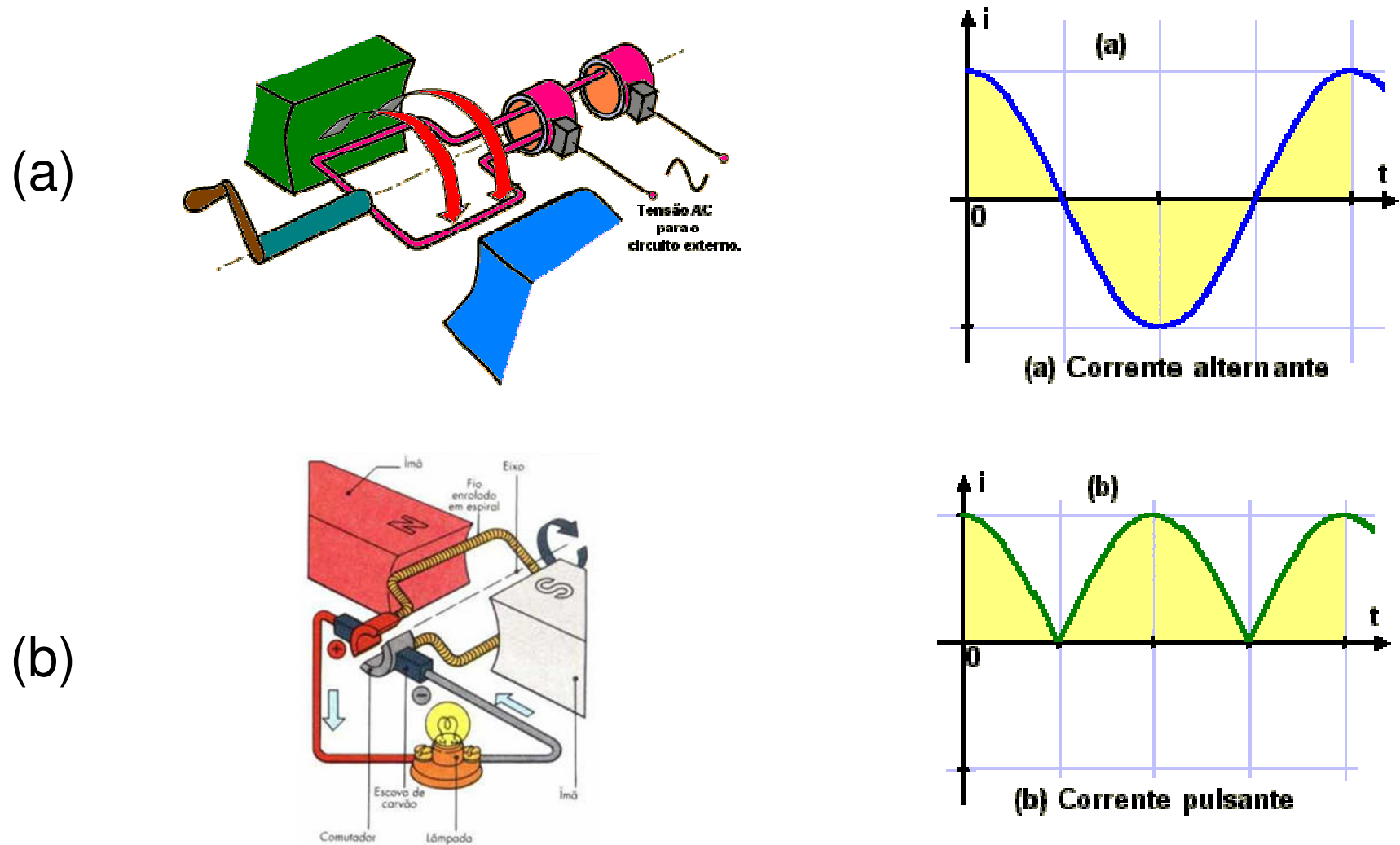


Figura – (a) Alternador e corrente alternada; (b) Dínamo e corrente contínua pulsante

4 Geração de energia

Melhoria da corrente contínua pulsante resultante em um dínamo

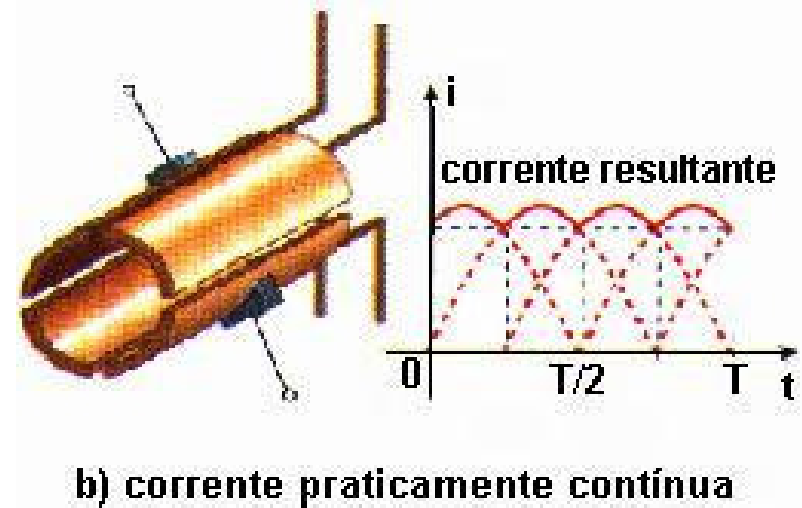
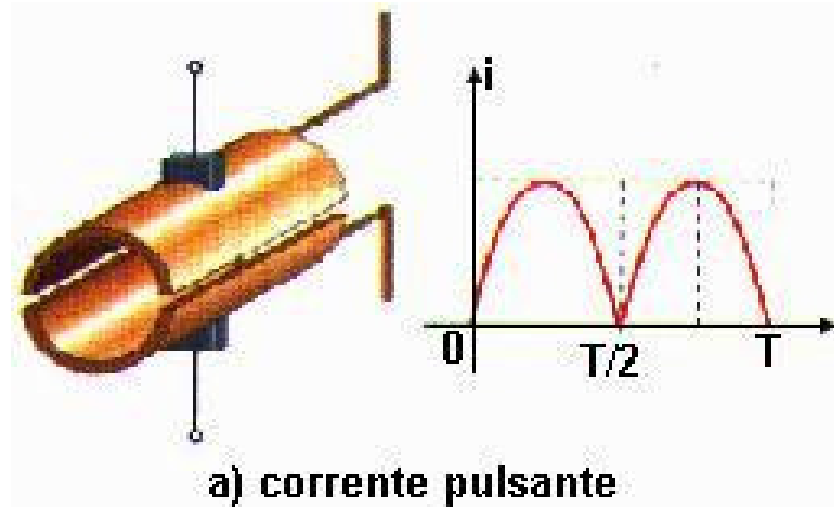
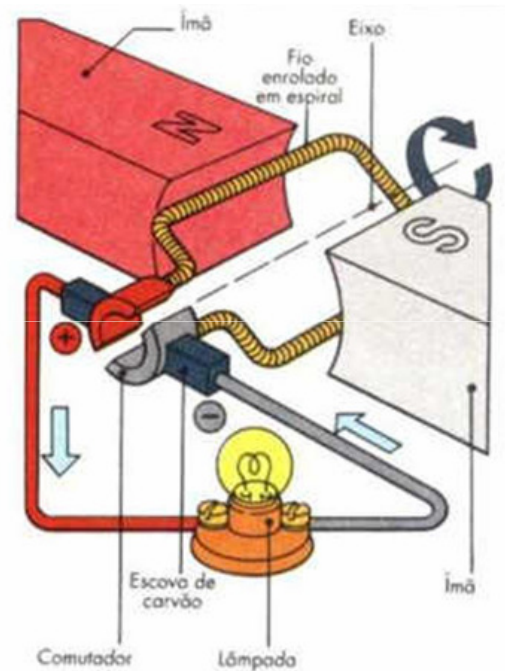


Figura – Dínamo e corrente contínua pulsante

4 Geração de energia (pg. 11)

4.2 Gerador trifásico de corrente alternada (pólos externos)

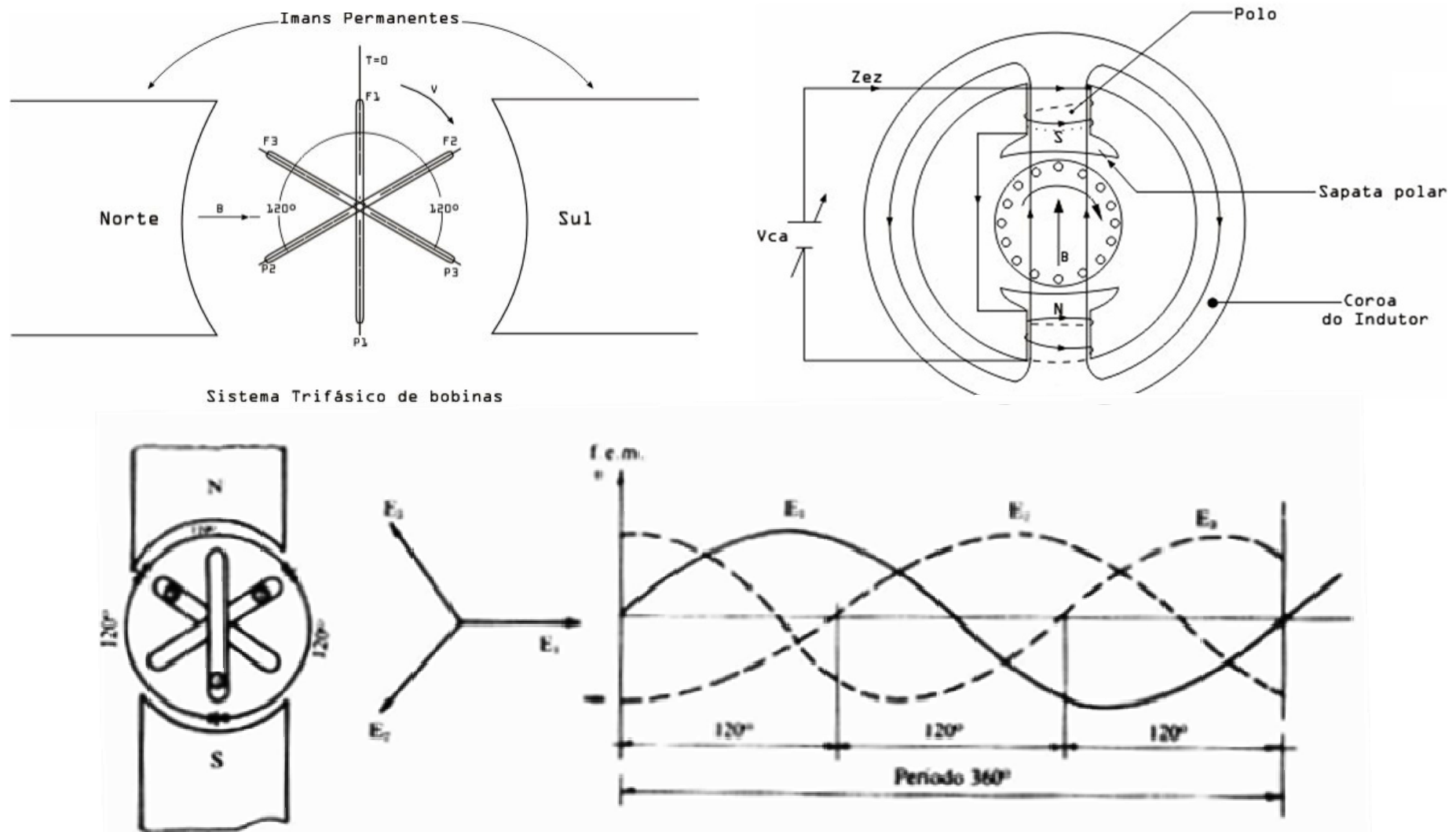


Figura – Esquema de gerador trifásico (alternador), corrente alternada, com **pólos externos**

4 Geração de energia

4.2 Gerador trifásico de corrente alternada (pólos internos)

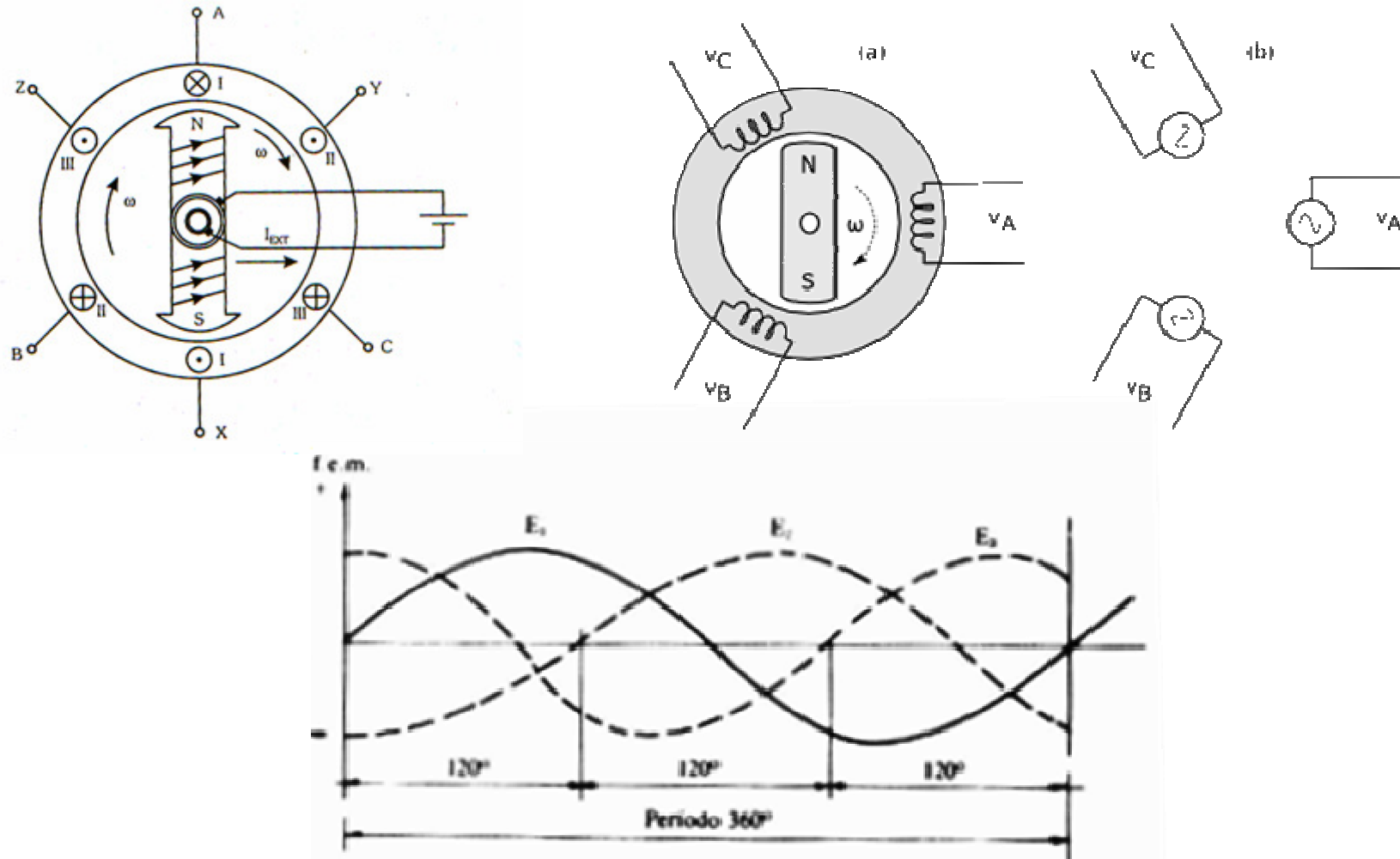


Figura – Esquema de gerador trifásico (alternador), corrente alternada, com **pólos internos**

4 Geração de energia

4.2 Gerador trifásico de corrente alternada (alternador)

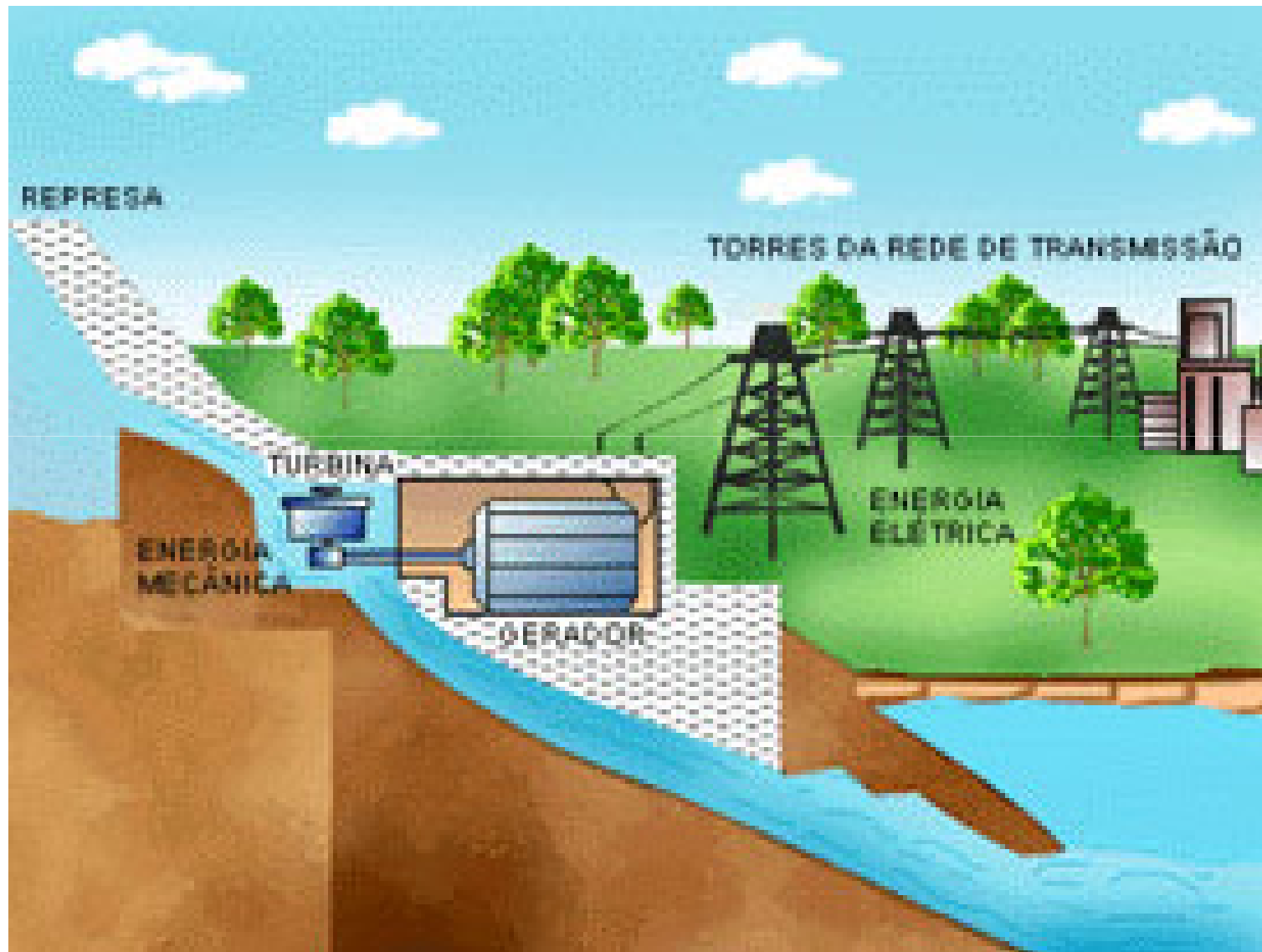


Figura – Geração de energia em uma hidrelétrica.

4 Geração de energia

4.2 Gerador trifásico de corrente alternada (alternador)

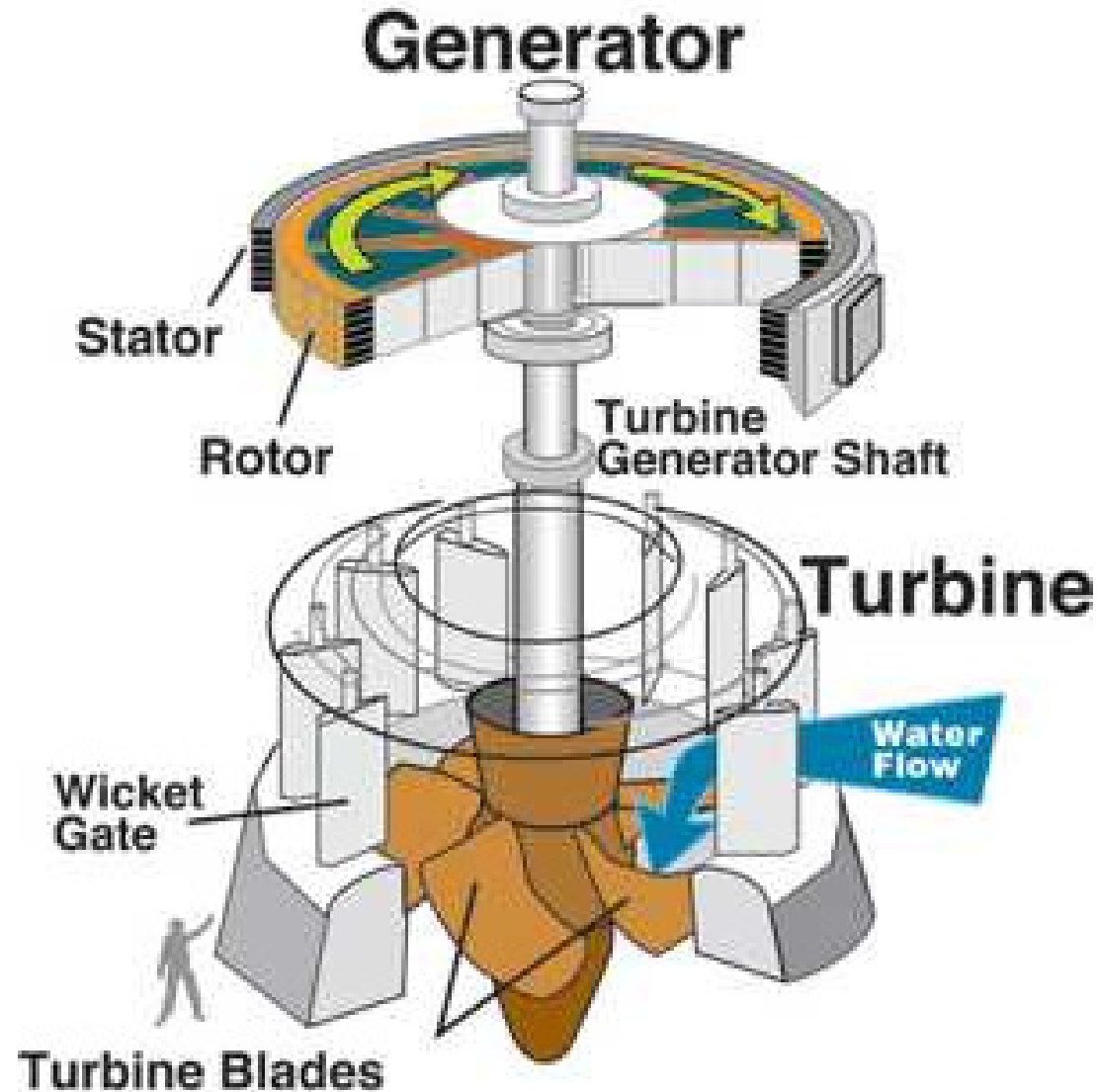


Figura – Gerador de energia e turbina em uma hidrelétrica.

4 Geração de energia

4.2 Gerador trifásico de corrente alternada (alternador)



Figura – Gerador de energia em uma hidrelétrica.

4 Geração de energia

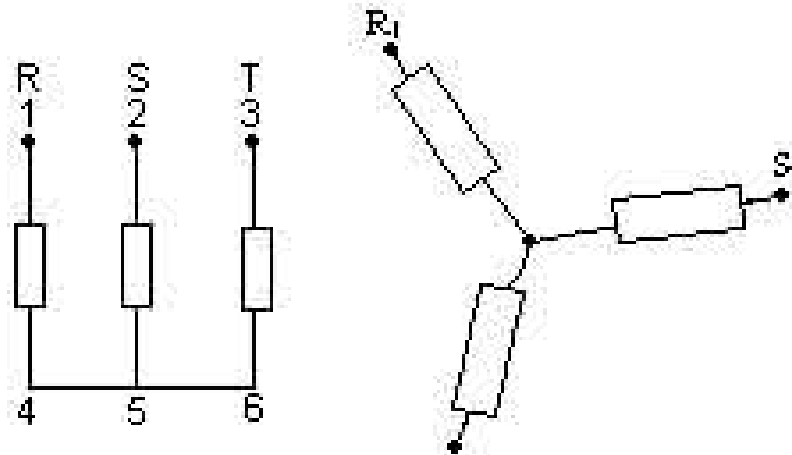
4.2 Gerador trifásico de corrente alternada (alternador)



Figura – Linha de montagem de geradores industriais.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais dos geradores, transformadores e cargas (pg. 15 e 16)

(a)



(b)

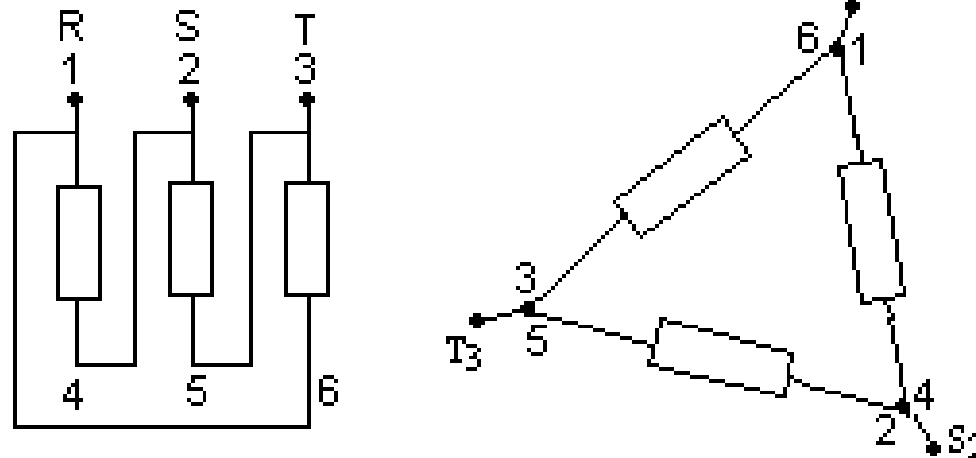


Figura – Ligação dos terminais em: (a) Estrela; e, (b) Triângulo.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 16)

4.1 Gerador trifásico de corrente alternada

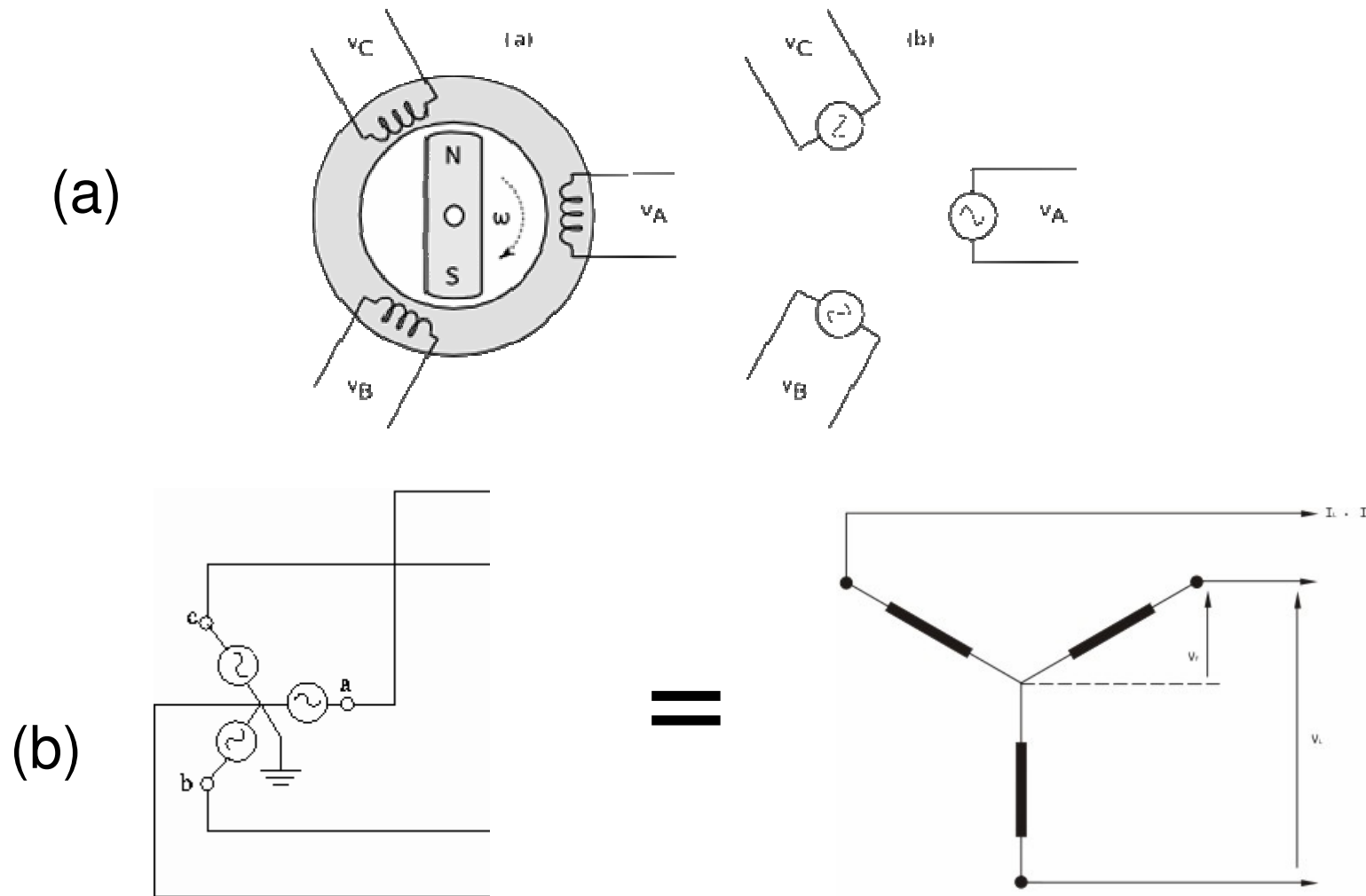
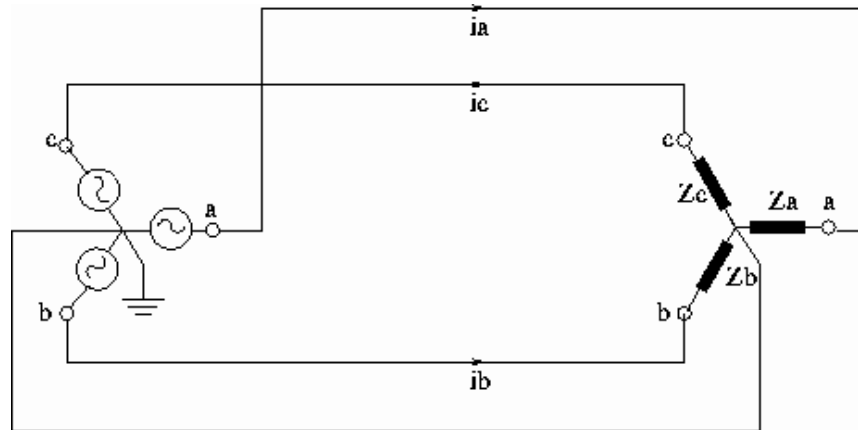


Figura – Ligação estrela do gerador trifásico de corrente alternada: (a) Esquema do gerador; e, (b) ligação dos terminais.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 17)

4.2 Gerador (estrela) e Transformador (triângulo ou estrela)

(a)



(b)

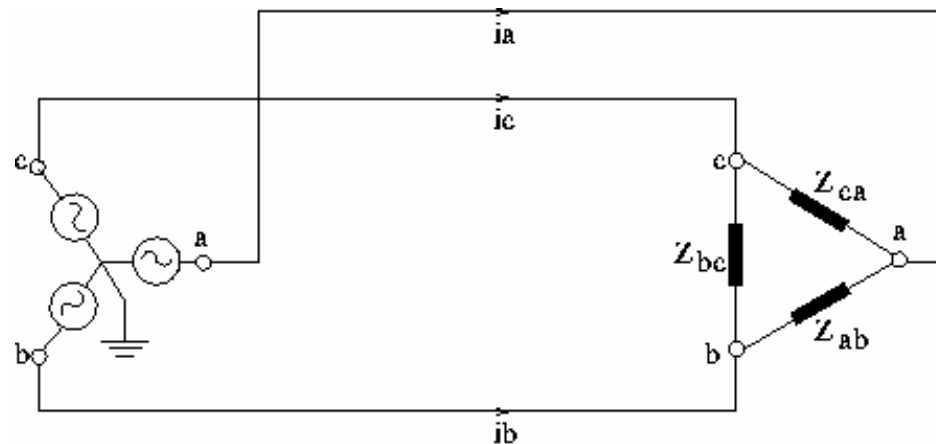
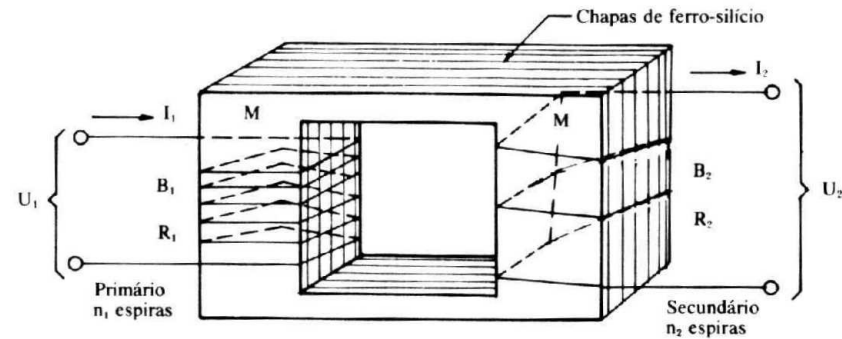


Figura – Ligação de um gerador trifásico, corrente alternada, ligado em estrela com um transformador ligado em: (a) Estrela; e, (b) Triângulo.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 17)

4.3 Transformador (enrolamento primário e secundário)

(a)



(b)

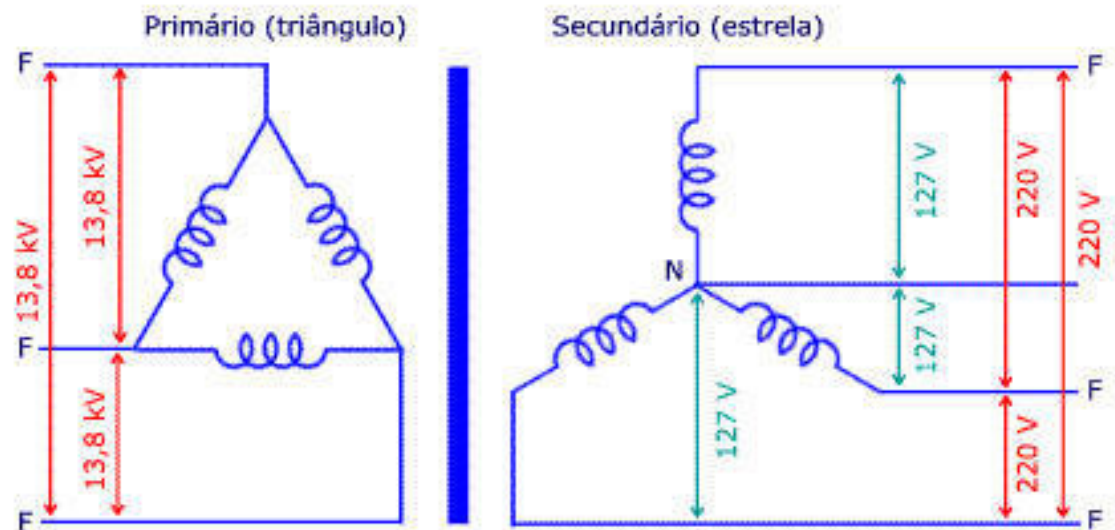


Figura – Esquema de ligação dos enrolamentos primário e secundário dos transformadores: (a) monofásico; e, (b) trifásico.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 17)

4.3 Transformador (enrolamento primário e secundário)

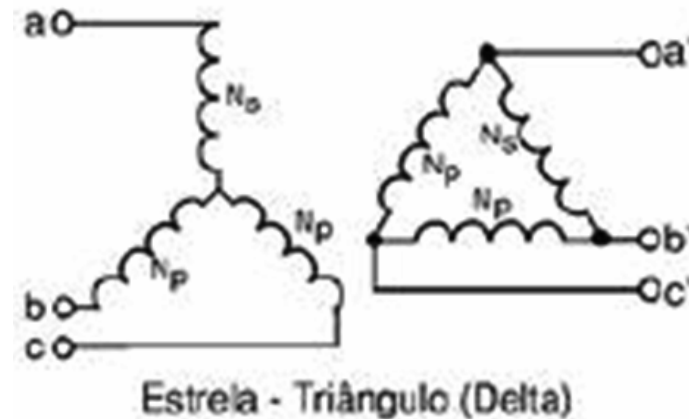
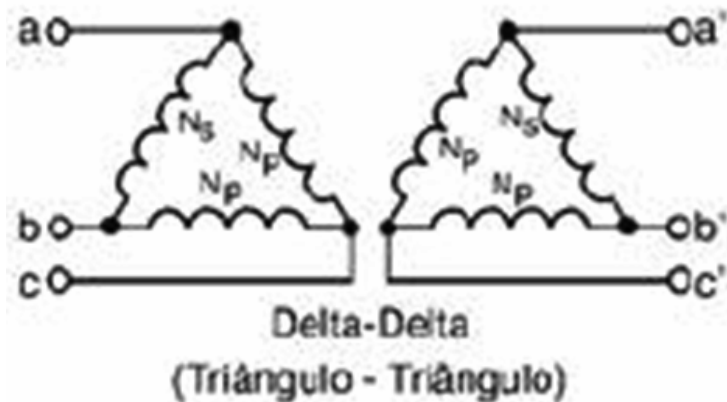


Figura – Esquema de ligação dos enrolamentos primário e secundário dos transformadores trifásicos.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 16)

4.3 Transformador (relação de transformação)

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Sendo: U_1 – tensão no enrolamento primário (V); U_2 – tensão no enrolamento secundário (V); n_1 – número de espiras (voltas) no enrolamento primário (unidades); n_2 – número de espiras (voltas) no enrolamento secundário (unidades); I_1 – intensidade de corrente elétrica no enrolamento primário (A); I_2 – intensidade de corrente elétrica no no enrolamento secundário (A).

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 13)

4.3 Transformador trifásico (ligado em estrela)

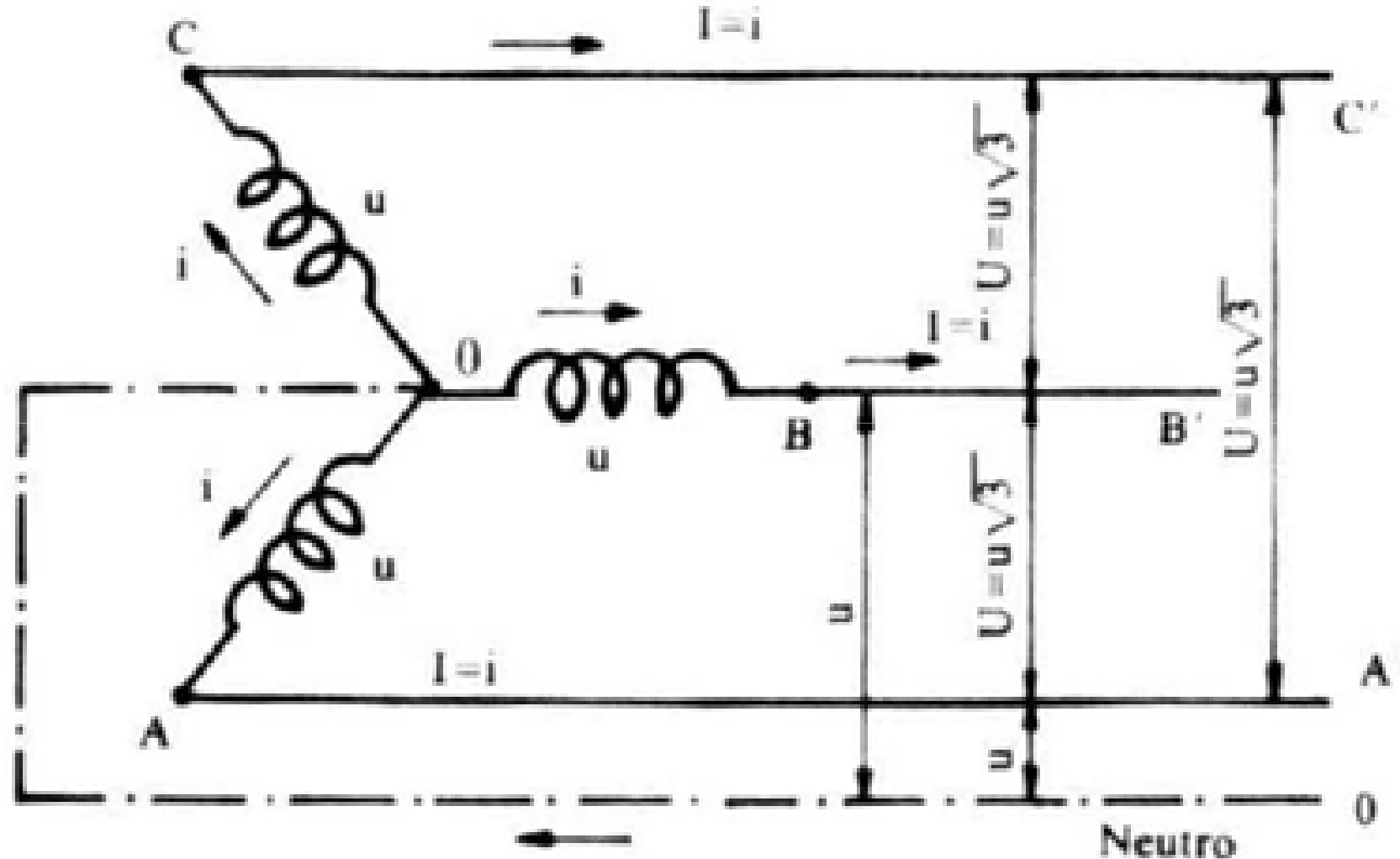


Figura – Tensão e corrente resultante das ligações dos terminais (fase e linha) de um transformador ligado em estrela.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais

4.3 Transformador (ligado em estrela)

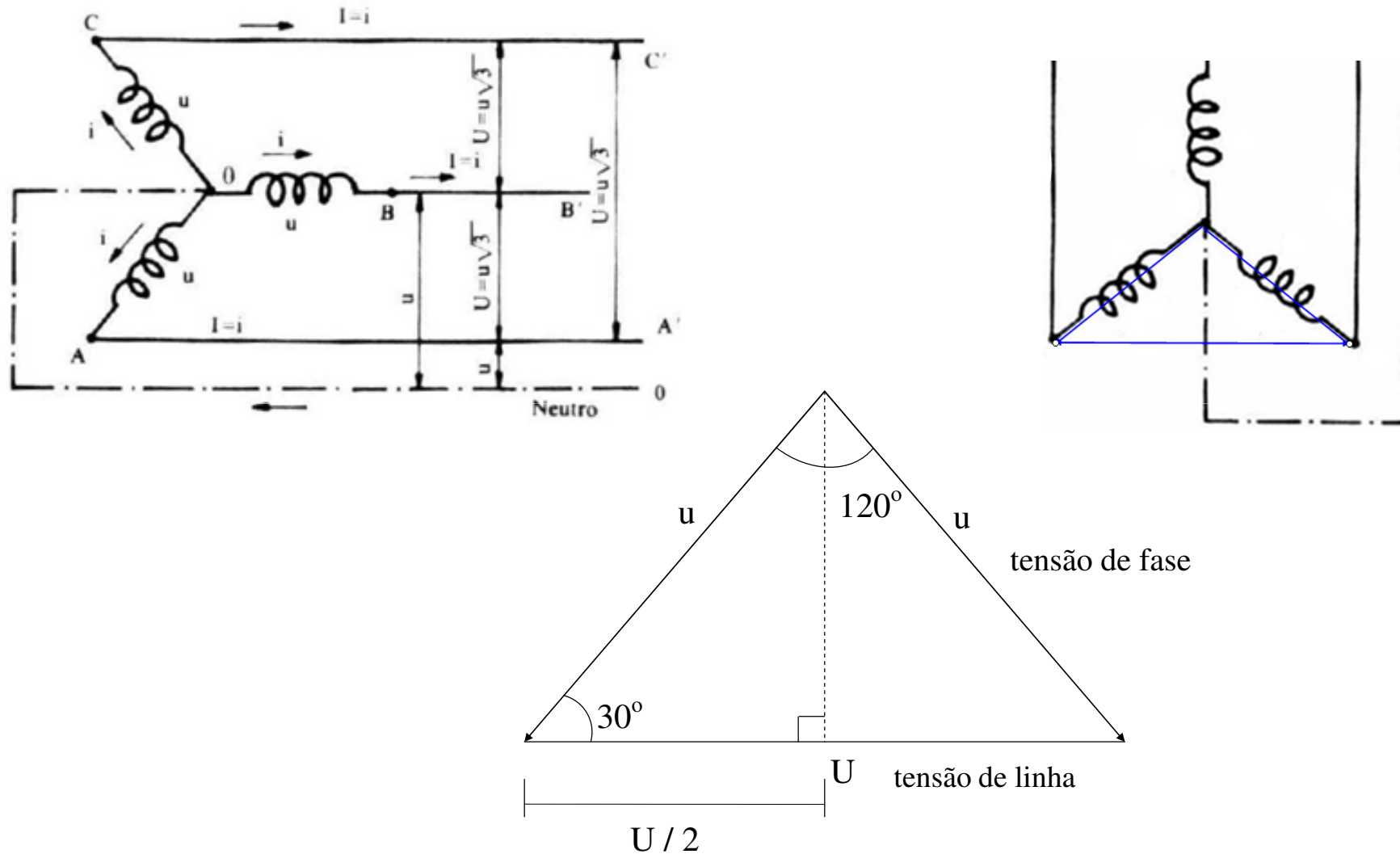
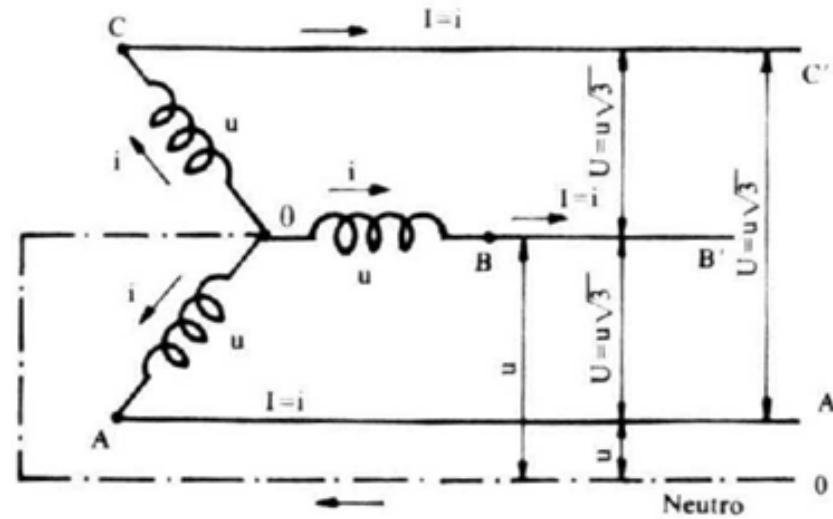
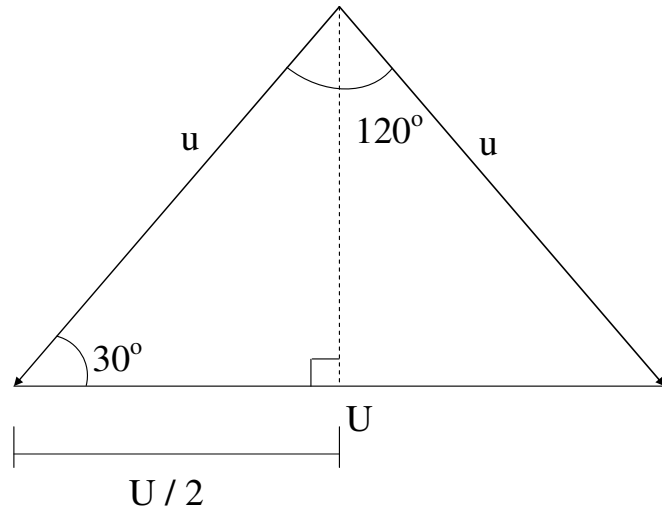


Figura – Tensão e corrente resultante das ligações dos terminais (fase e linha) de um transformador ligado em triângulo.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais

4.3 Transformador (ligado em estrela)



$$\cos 30^\circ = \frac{\frac{U}{2}}{u} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{U}{2u} \Rightarrow U = \sqrt{3} \cdot u$$

$$I = i$$

Sendo: U – tensão de linha (V); u – tensão de fase (v); I – corrente de linha (A); i – corrente de fase (A).

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 13)

4.3 Transformador trifásico (ligado em triângulo)

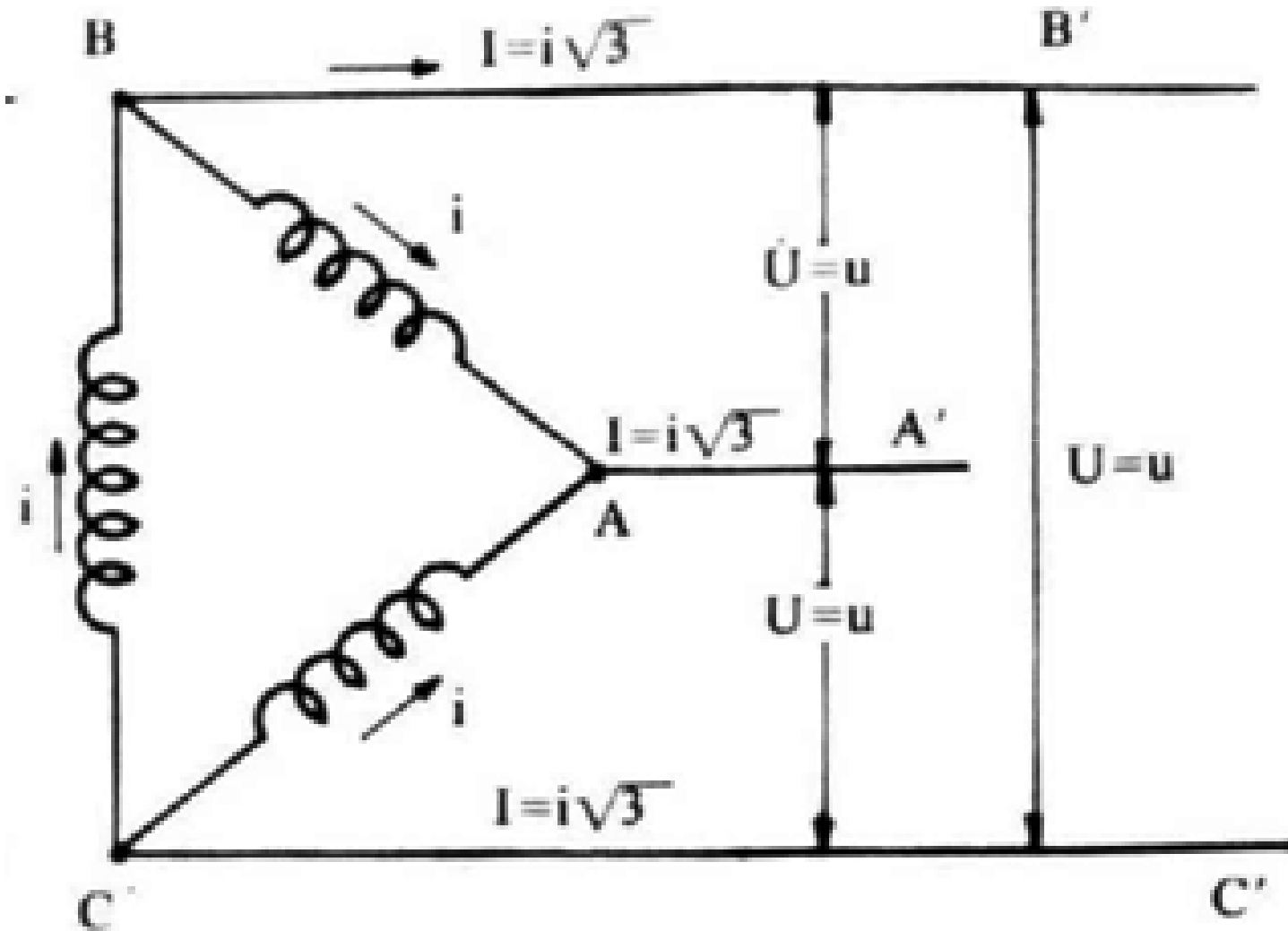


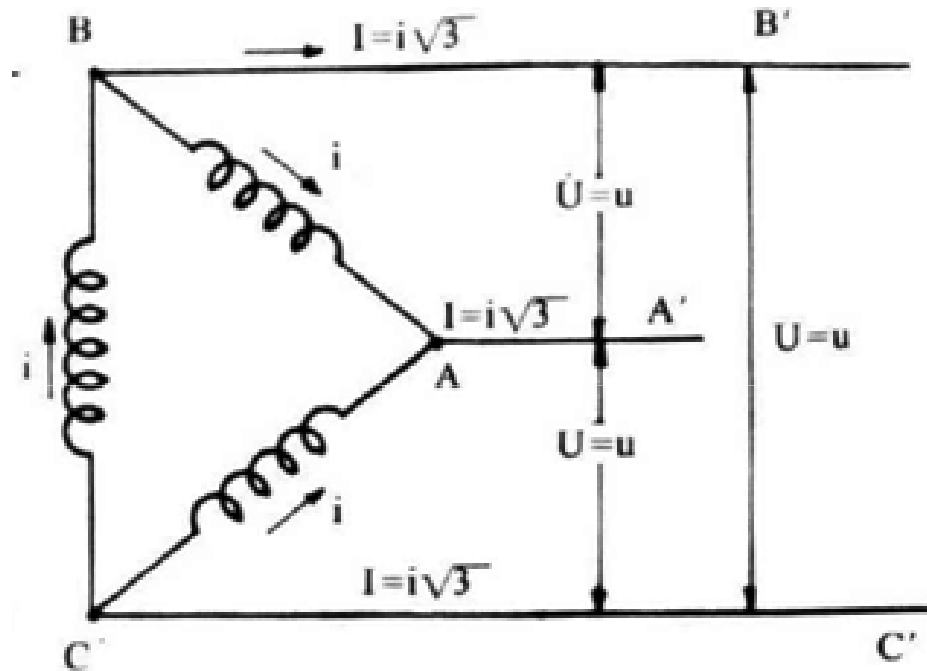
Figura – Tensão e corrente resultante das ligações dos terminais (fase e linha) de um transformador ligado em triângulo.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais

4.3 Transformador (ligado em triângulo)

$$U = u$$

$$I = \sqrt{3} \cdot i$$



Sendo: U – tensão de linha (V); u – tensão de fase (V); I – corrente de linha (A); i – corrente de fase (A).

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 17)

4.3 Transformador (primário ligado em triângulo e secundário ligado em estrela)

Qual é a vantagem de ligar o transformador assim?!?!

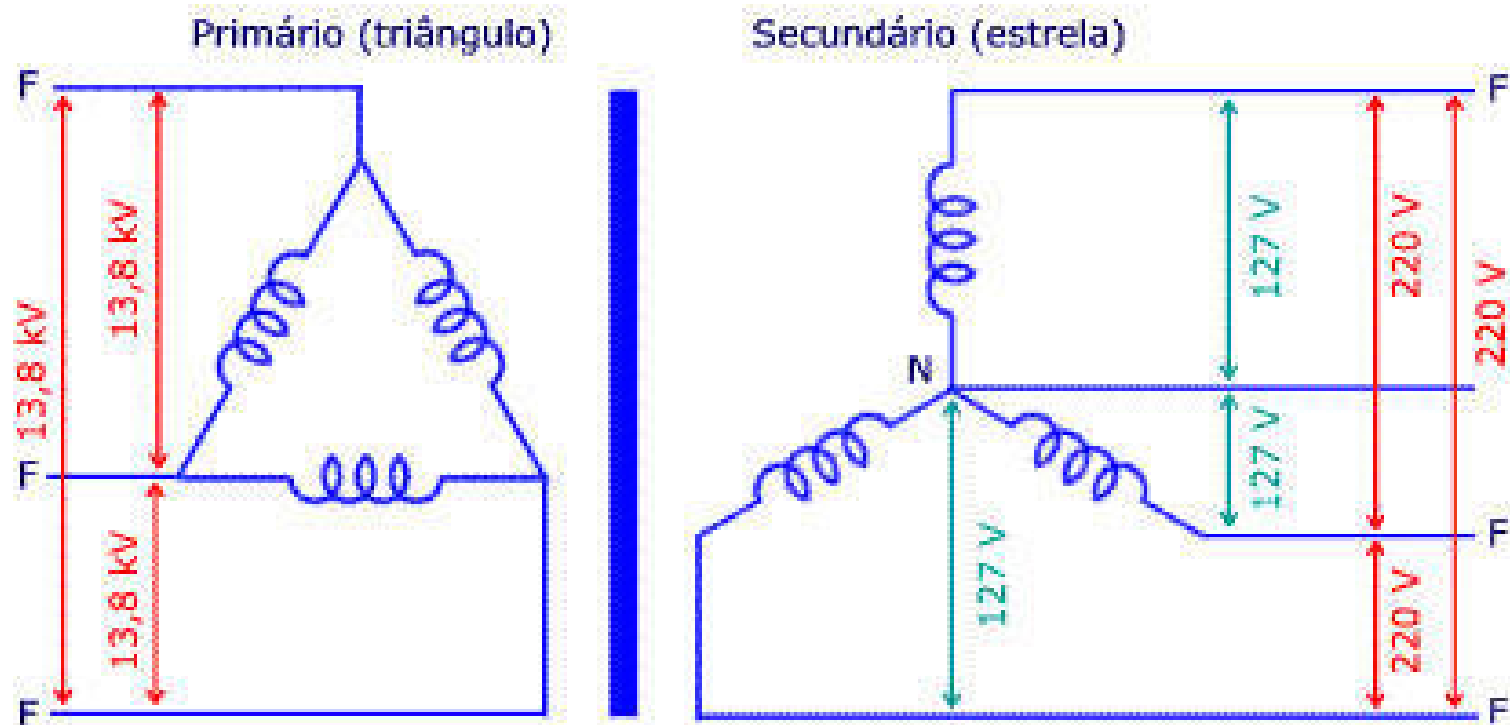


Figura – Transformador trifásico tendo a enrolamento primário ligado em triângulo e o secundário em estrela.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 18)

4.3 Cargas (terminal de motores e outros equipamentos)

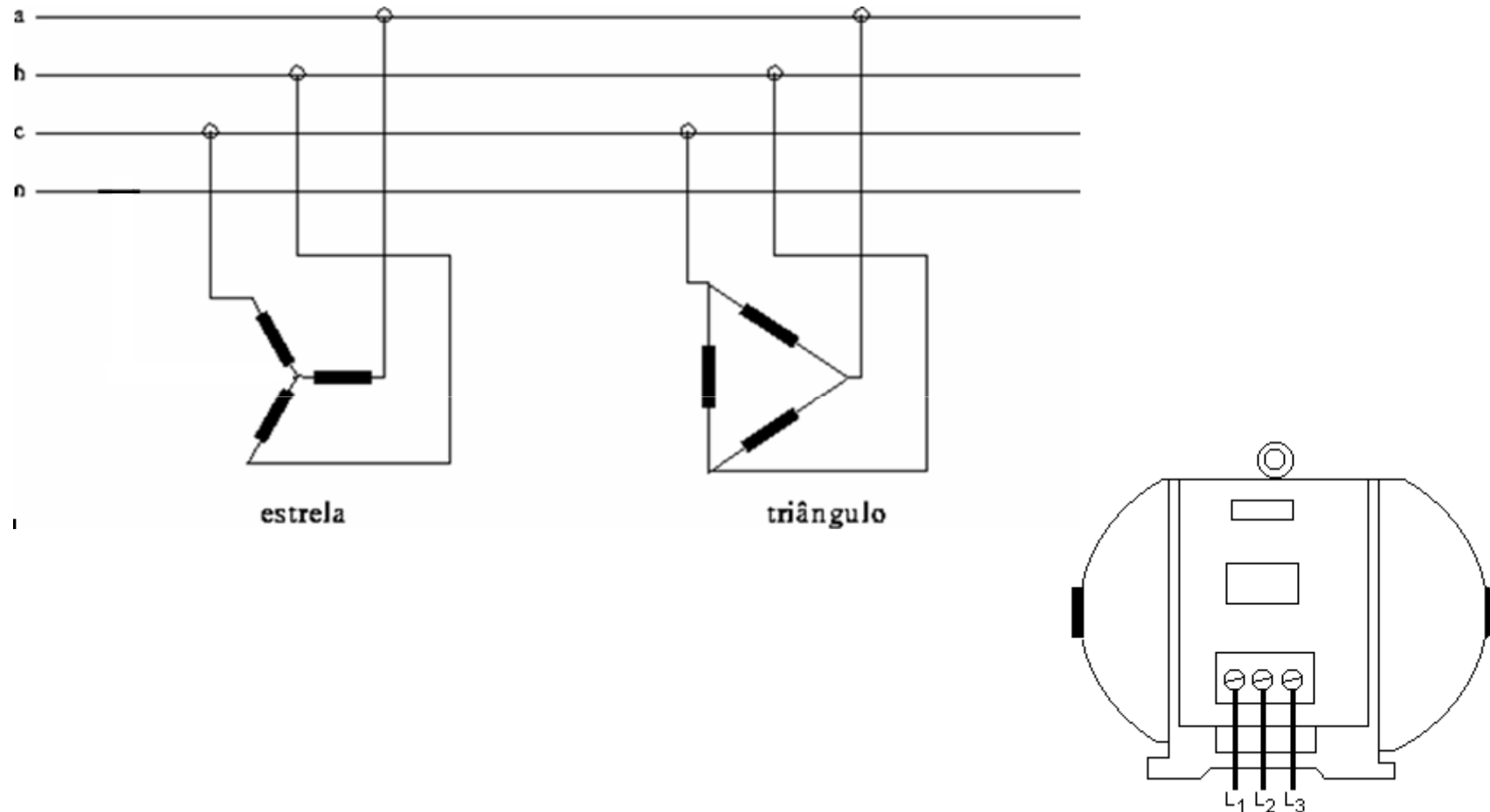


Figura – Esquema de ligação das cargas em estrela ou triângulo.

4 Ligação estrela e triângulo dos terminais (pg. 18)

4.4 Sistema utilizando as ligação estrela-triângulo

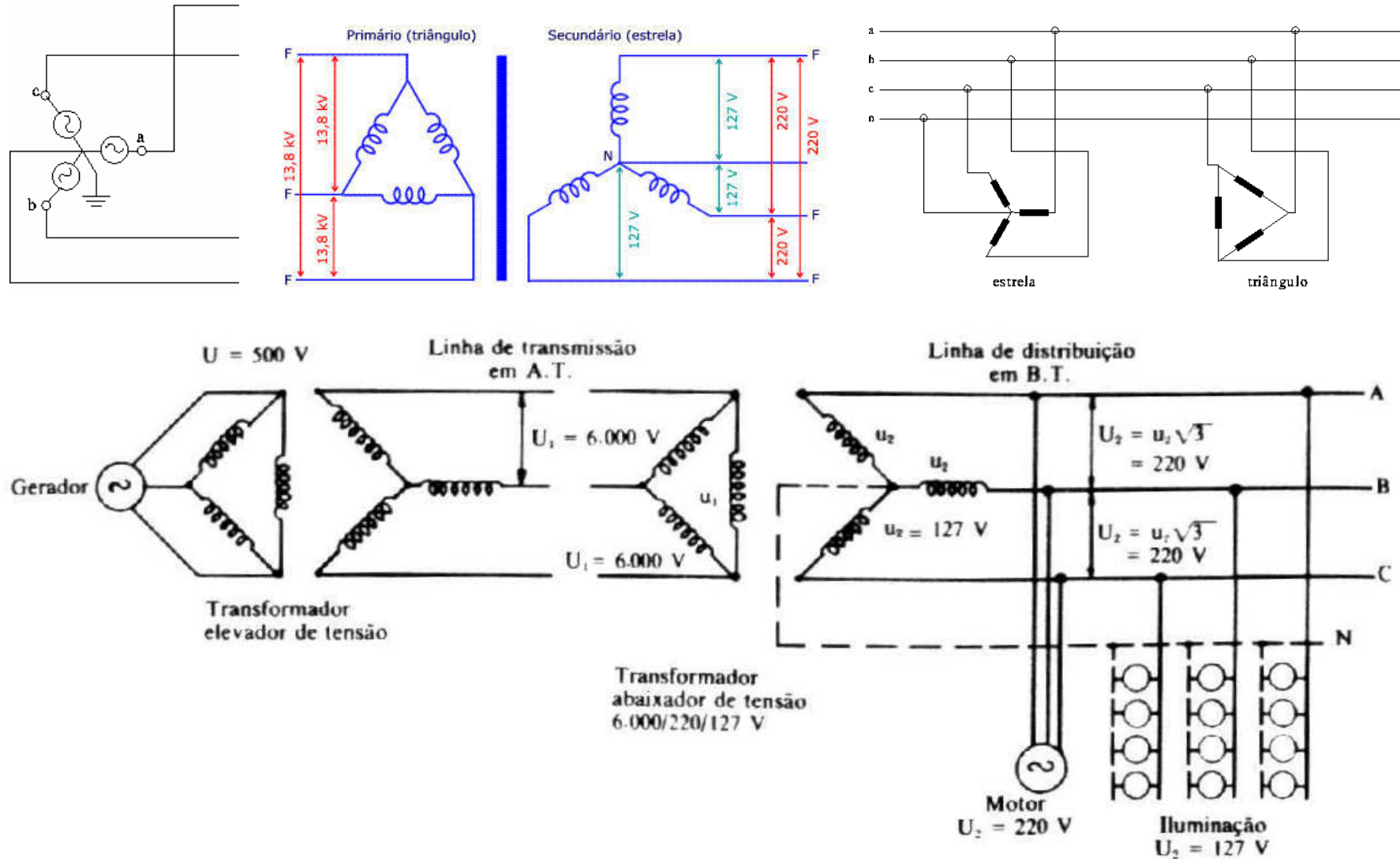


Figura – Rede de distribuição típica.

5 Características elétricas dos circuitos (pg. 11)

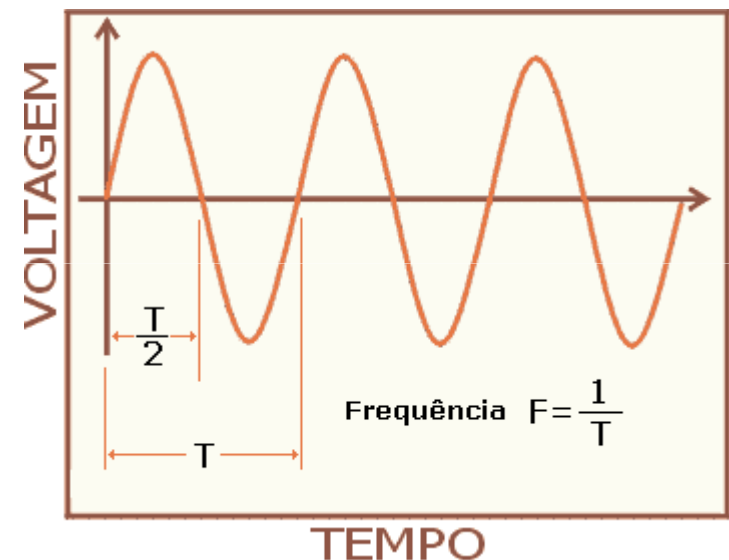
5.1 Valor eficaz da intensidade de corrente e tensão elétrica (CA)

(a) Intensidade de corrente elétrica eficaz (I_{eficaz})

$$I_{\text{eficaz}} = \frac{I_{\text{máxima}}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_{\text{máximo}}$$

(b) Tensão eficaz (U_{eficaz})

$$U_{\text{eficaz}} = \frac{U_{\text{máxima}}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_{\text{máximo}}$$



Sendo: U_{eficaz} – corrente eficaz (A); $I_{\text{máxima}}$ – corrente máxima (V); U_{eficaz} – tensão eficaz (V); $U_{\text{máxima}}$ – tensão máxima (V).

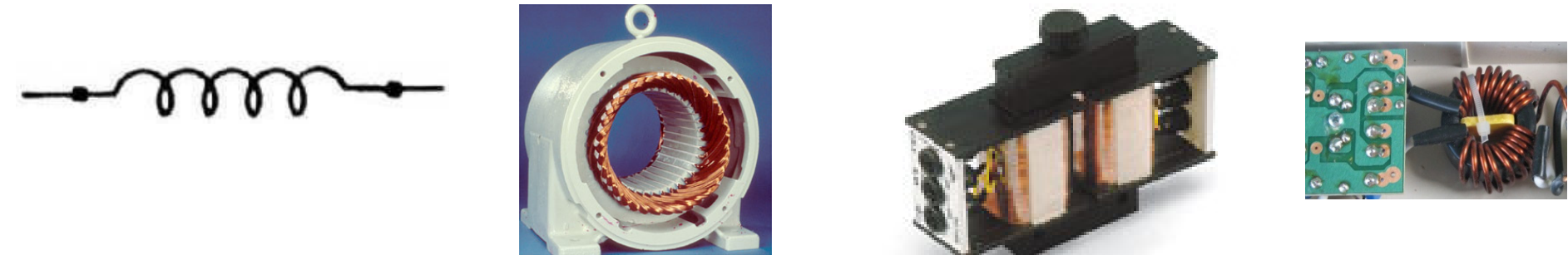
5 Características elétricas dos circuitos

5.2 Tipos de cargas que podem ser ligadas em um circuito

(a) Resistências - R



(b) Bobinas, Indutores - L



(c) Capacitores - C

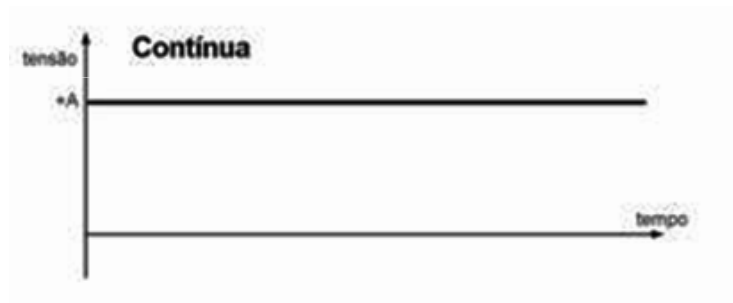


Figura – Tipos de cargas que podem ser ligadas em um circuito: (a) resistências; (b) bobinas; e, (c) capacitores.

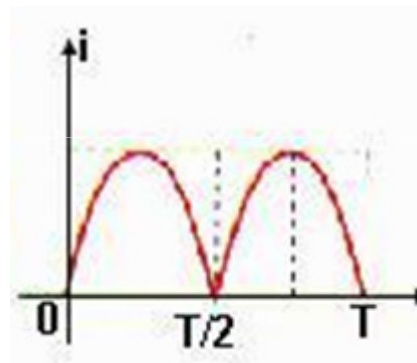
5 Características elétricas dos circuitos

5.2 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente contínua (CC)

O cálculo da resistência equivalente (R_e) segue os procedimentos tratados anteriormente para circuitos série, paralelo e misto



(a)



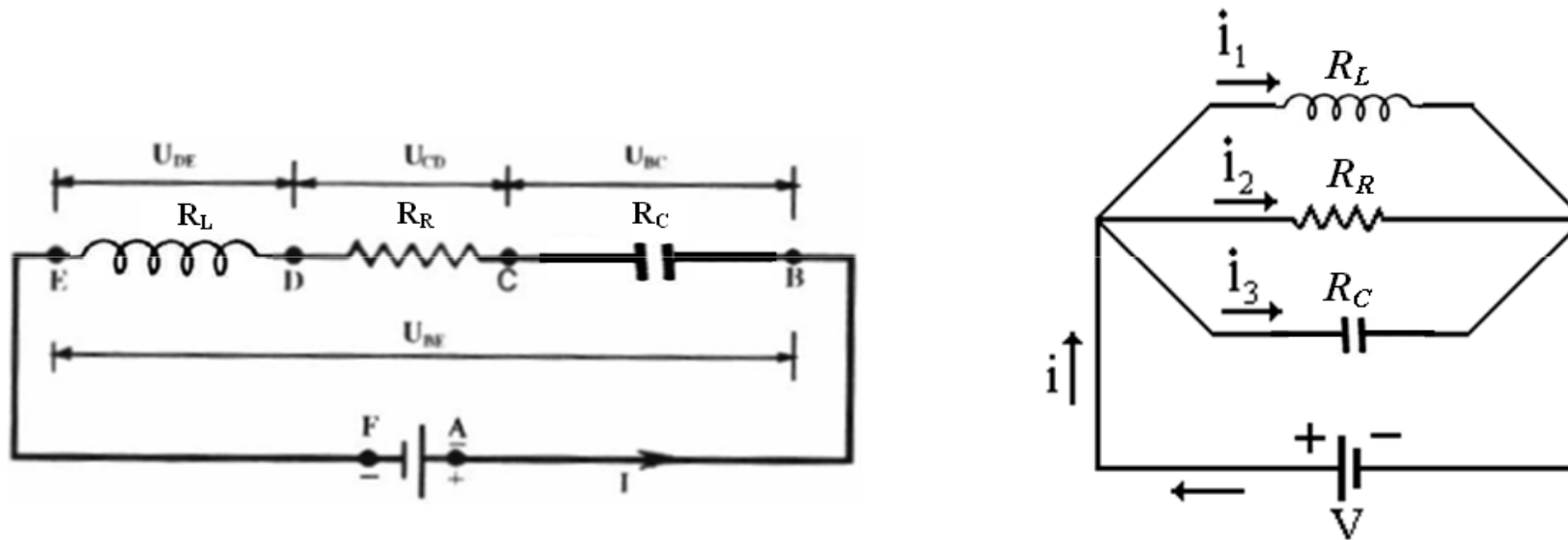
(b)

Figura – Corrente contínua: (a) bateria; e, (b) dínamo.

5 Características elétricas dos circuitos

5.2 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente contínua (CC)

O cálculo da resistência equivalente segue os procedimentos tratados anteriormente para circuitos série, paralelo e misto



$$R_e = R_L + R_R + R_C$$

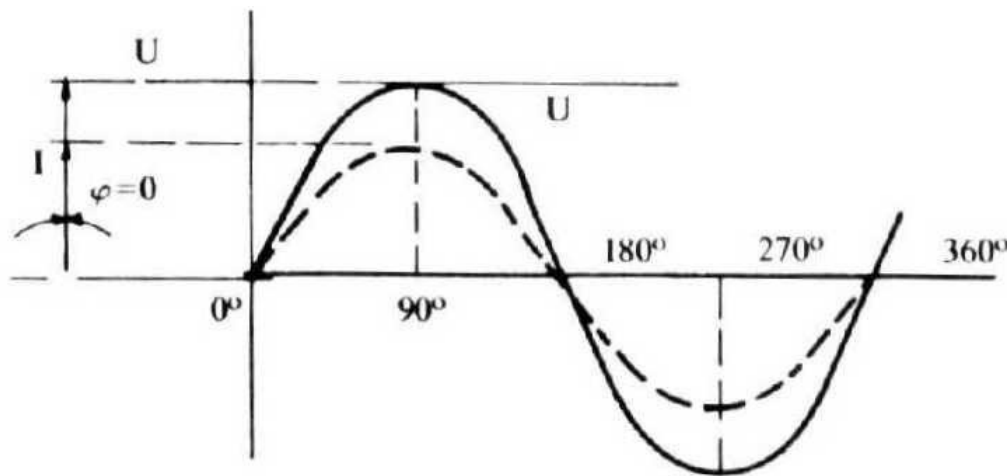
$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_R} + \frac{1}{R_C}$$

Figura – Cálculo da resistência equivalente quando existe resistência, indutor e capacitor em circuito CC.

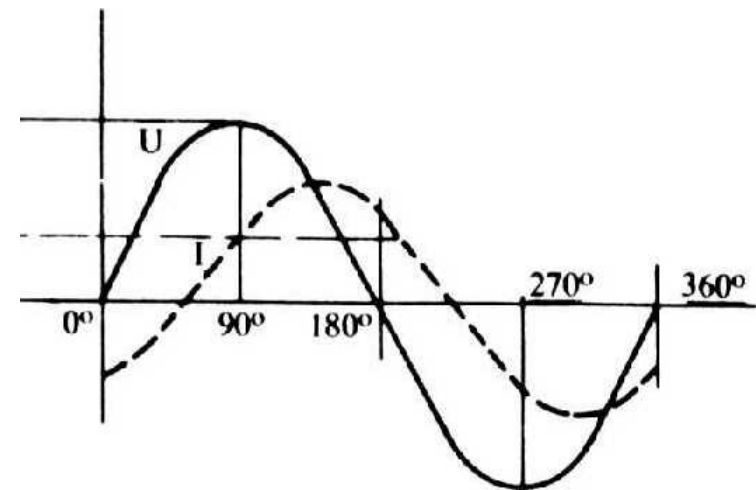
5 Características elétricas dos circuitos (pg. 11)

5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

O cálculo da resistência equivalente (R_e) **difere** dos procedimentos tratados anteriormente para circuitos série, paralelo e misto, pois ocorre um defasamento entre tensão e corrente.



(a)



(b)

Figura – Diagrama fasorial de circuitos contendo: (a) apenas resistência; e, (b) resistência, indutores ou capacitores.

5 Características elétricas dos circuitos (pg. 11)

5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(a) Circuito contendo apenas resistência (resistivo puro)

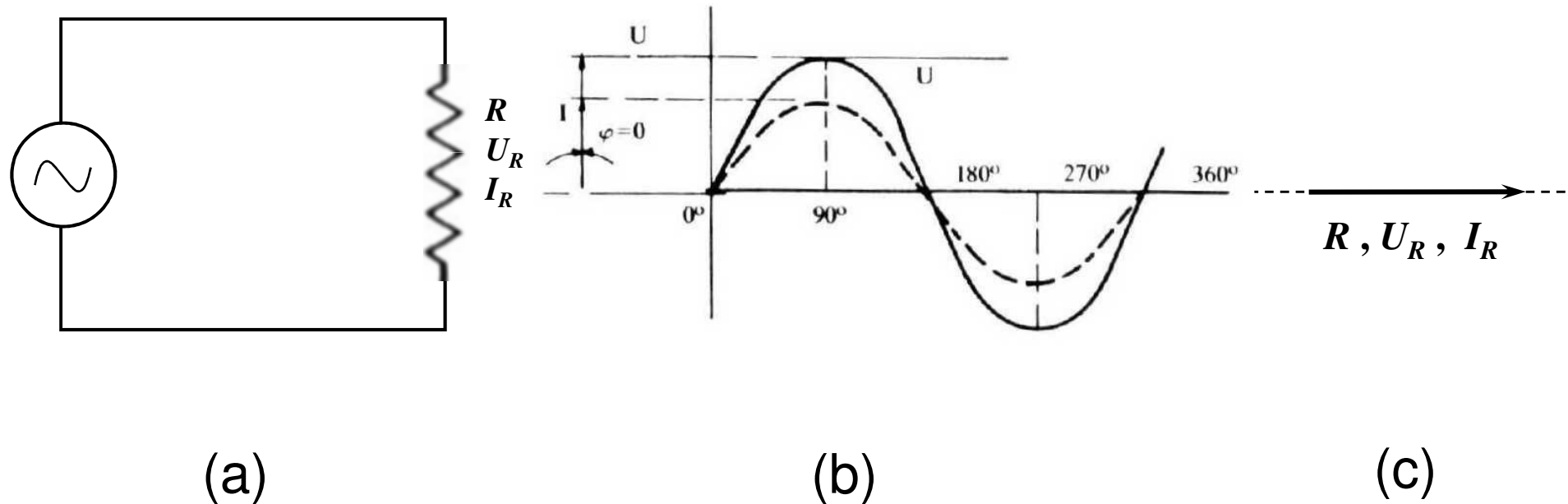


Figura – Circuito CA contendo apenas resistência: (a) circuito; (b) diagrama fasorial; e, (c) representação vetorial.

5 Características elétricas dos circuitos (pg. 11)

5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(b) Circuito contendo apenas indutor (indutivo puro)

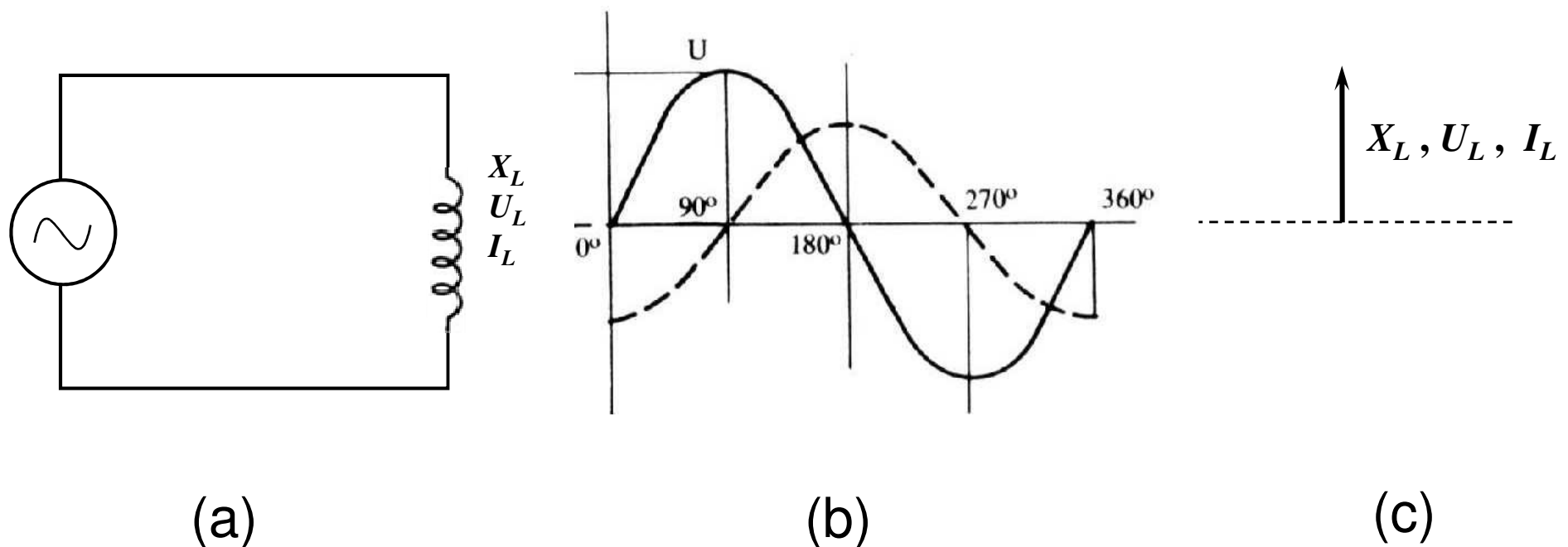
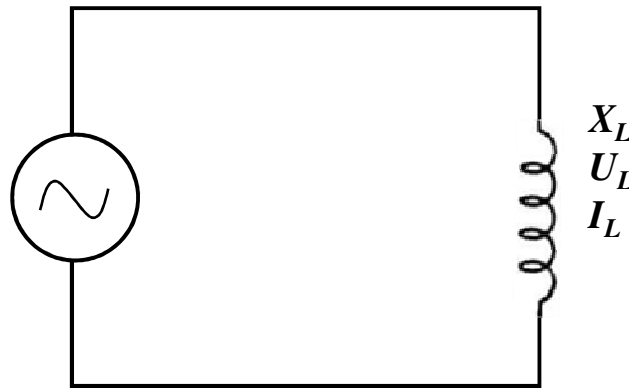


Figura – Circuito CA contendo apenas indutor: (a) circuito; (b) diagrama fasorial; e, (c) representação vetorial.

5 Características elétricas dos circuitos (pg. 11)

5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(b) Circuito contendo apenas indutor (indutivo puro)



$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Sendo: X_L – reatância indutiva (Ω); f – frequência elétrica (Hz);
 L – indutância (H).

5 Características elétricas dos circuitos (pg. 12)

5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(c) Circuito contendo apenas capacitor (capacitivo puro)

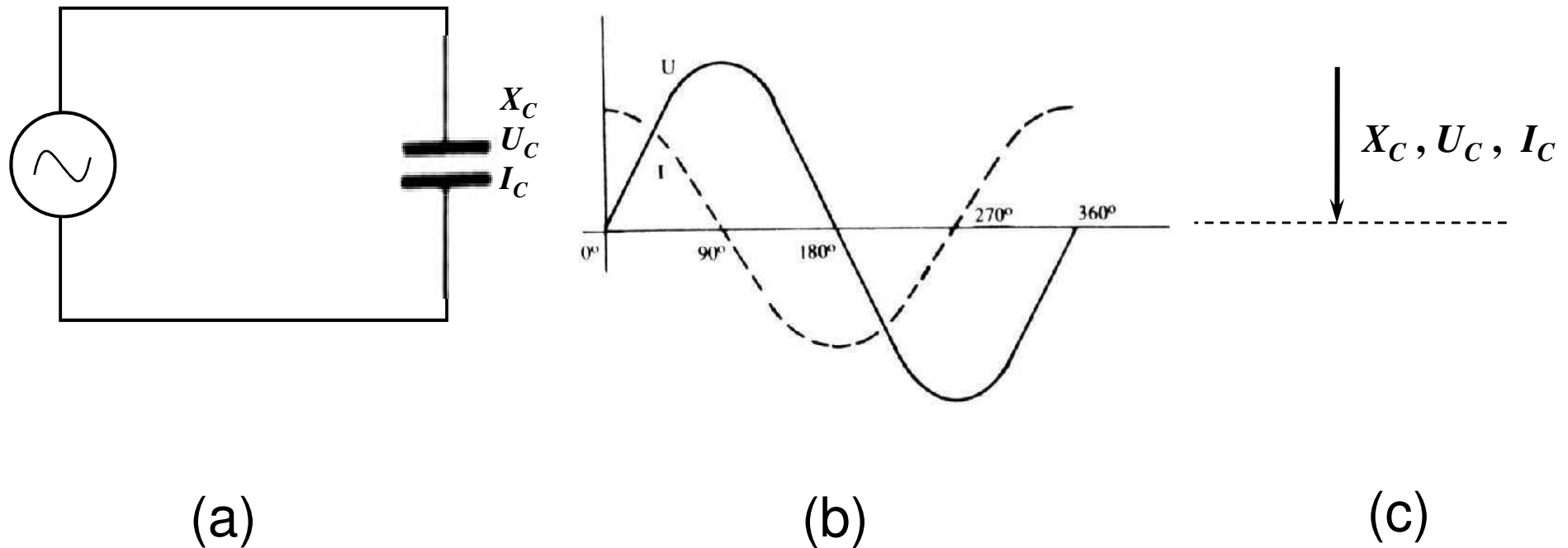
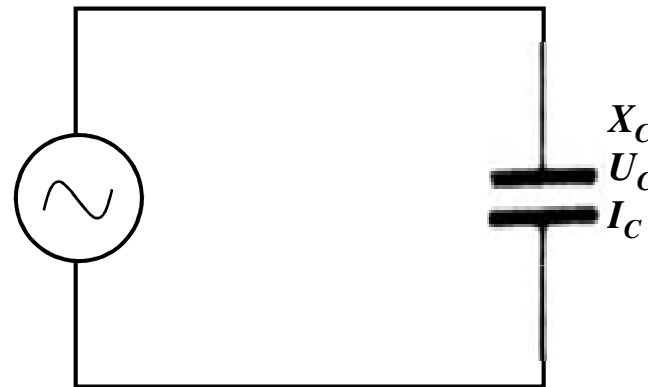


Figura – Circuito CA contendo apenas capacitor: (a) circuito; (b) diagrama fasorial; e, (c) representação vetorial.

5 Características elétricas dos circuitos (pg. 12)

5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(c) Circuito contendo apenas capacitor (capacitivo puro)



$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

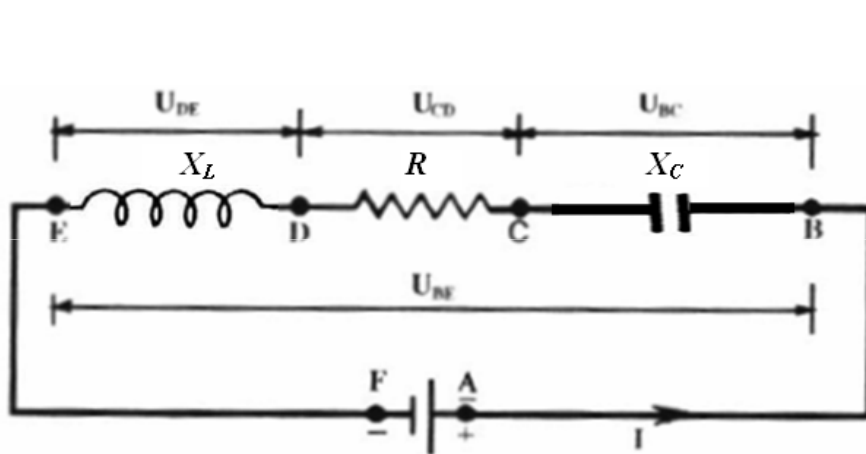
Sendo: X_C – reatância capacitiva (Ω); f – frequência elétrica (Hz); C – capacitância (F).

5 Características elétricas dos circuitos

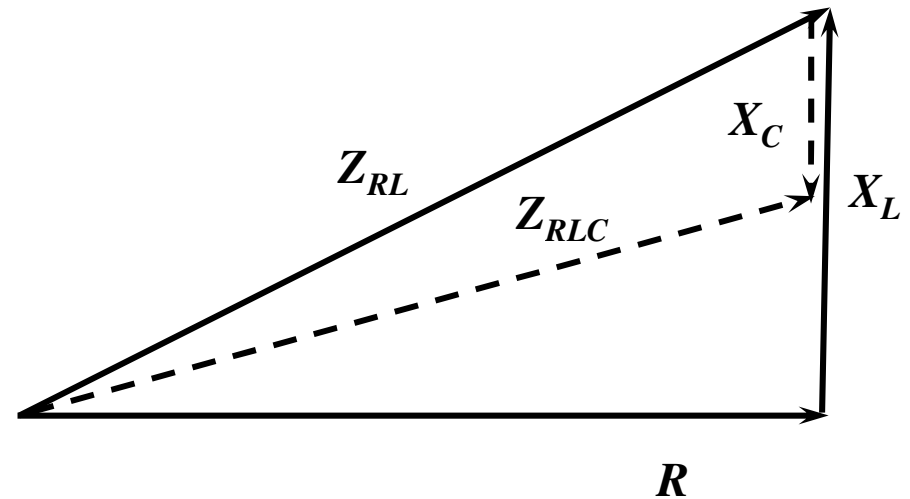
5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(d) Circuito RLC (possui resistência, indutor e capacitor)

- Triângulo da impedância



(a)



(b)

Figura – Circuito CA RCL: (a) circuito; (b) representação vetorial.

5 Características elétricas dos circuitos

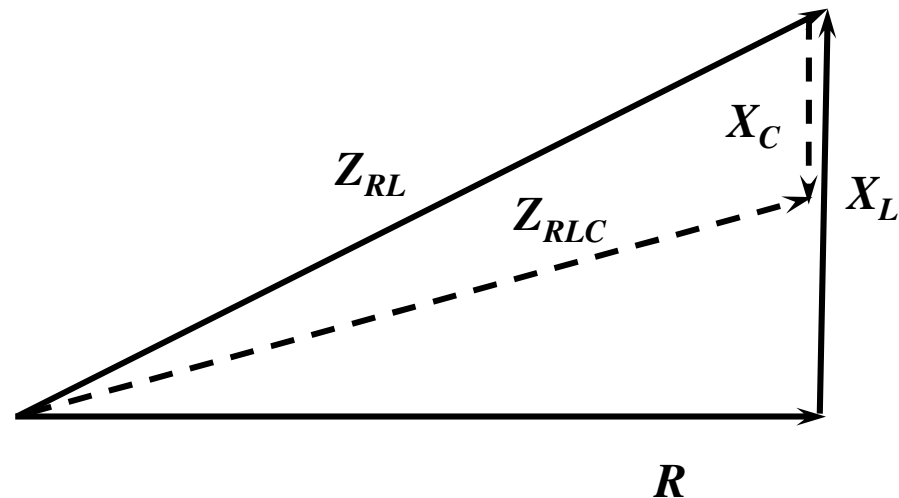
5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(d) Circuito RLC (possui resistência, indutor e capacitor)

- Triângulo da impedância (“resistência equivalente”)

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$



Sendo: Z – impedância do circuito (Ω); R – resistência do resistor (Ω); X_L – reatância indutiva (Ω); X_C – reatância capacitiva (Ω).

5 Características elétricas dos circuitos

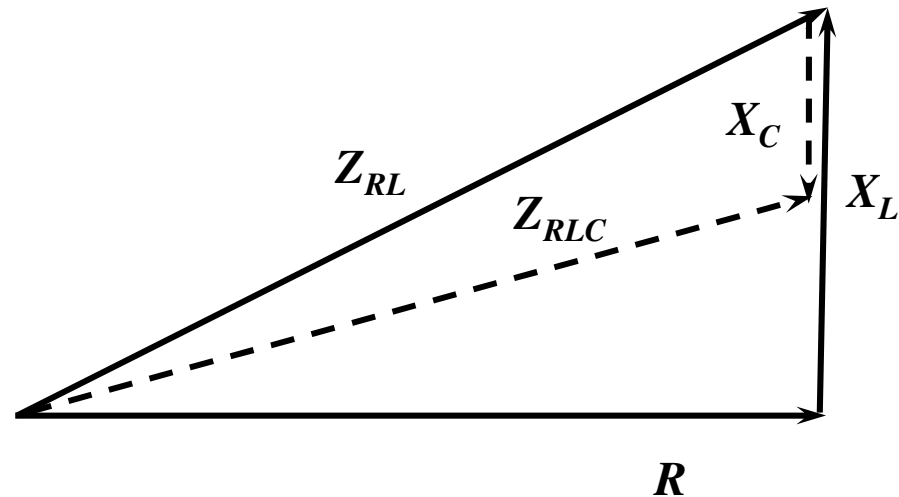
5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(d) Circuito RLC (possui resistência, indutor e capacitor)

- Triângulo das tensões

$$U_Z^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$$

$$U_Z = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$



Sendo: U_Z – tensão resultante (V); U_R – tensão no resistor (V);
 U_L – tensão no indutor (V); U_C – tensão no capacitor (V).

5 Características elétricas dos circuitos

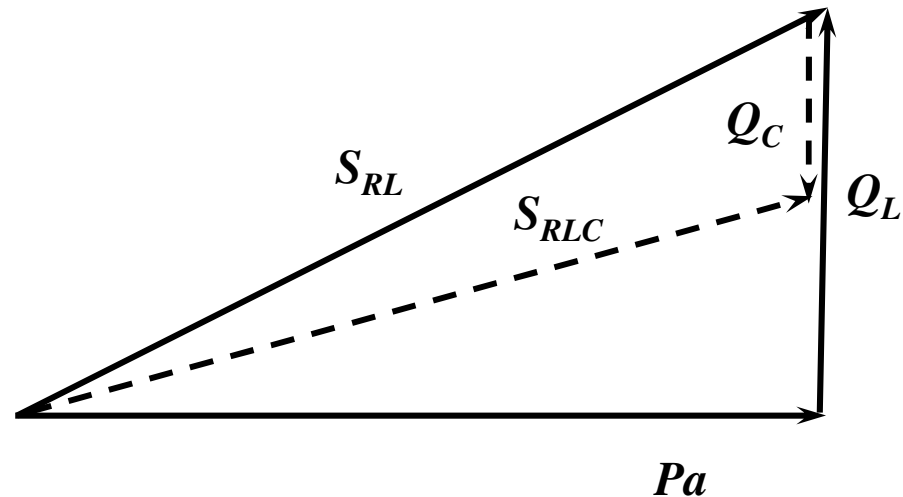
5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(d) Circuito RLC (possui resistência, indutor e capacitor)

- Triângulo das potências

$$S^2 = P_a^2 + (Q_L - Q_C)^2$$

$$S = \sqrt{P_a^2 + (Q_L - Q_C)^2}$$



Sendo: S – potência aparente (kVA); P_a – potência ativa (kW); Q_L – potência reativa indutiva (kVAr); Q_C – potência reativa capacitiva (kVAr).

• Triângulo das potências

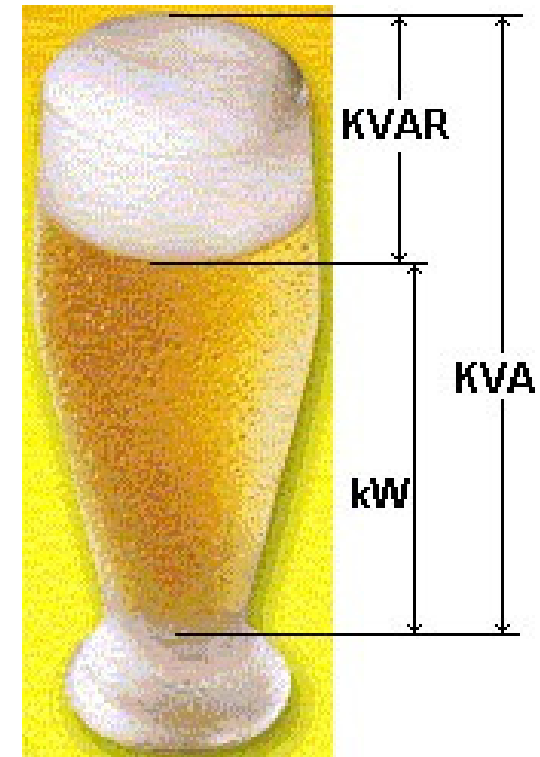
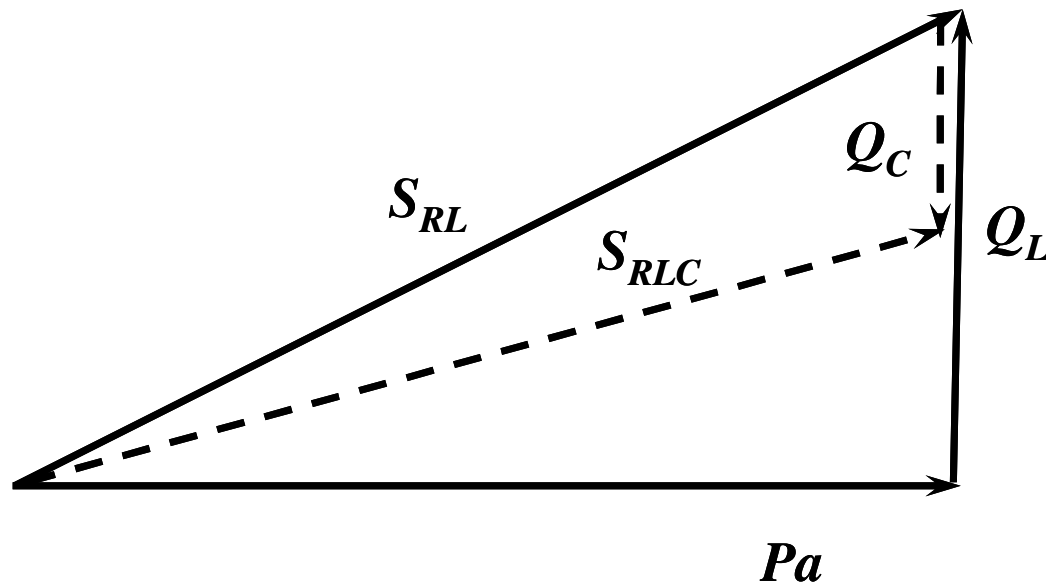
Significado e causas das potências apresentadas no triângulo das potências

S – potência aparente (kVA)

P_a – potência ativa (kW)

Q_L – potência reativa indutiva (kVAr)

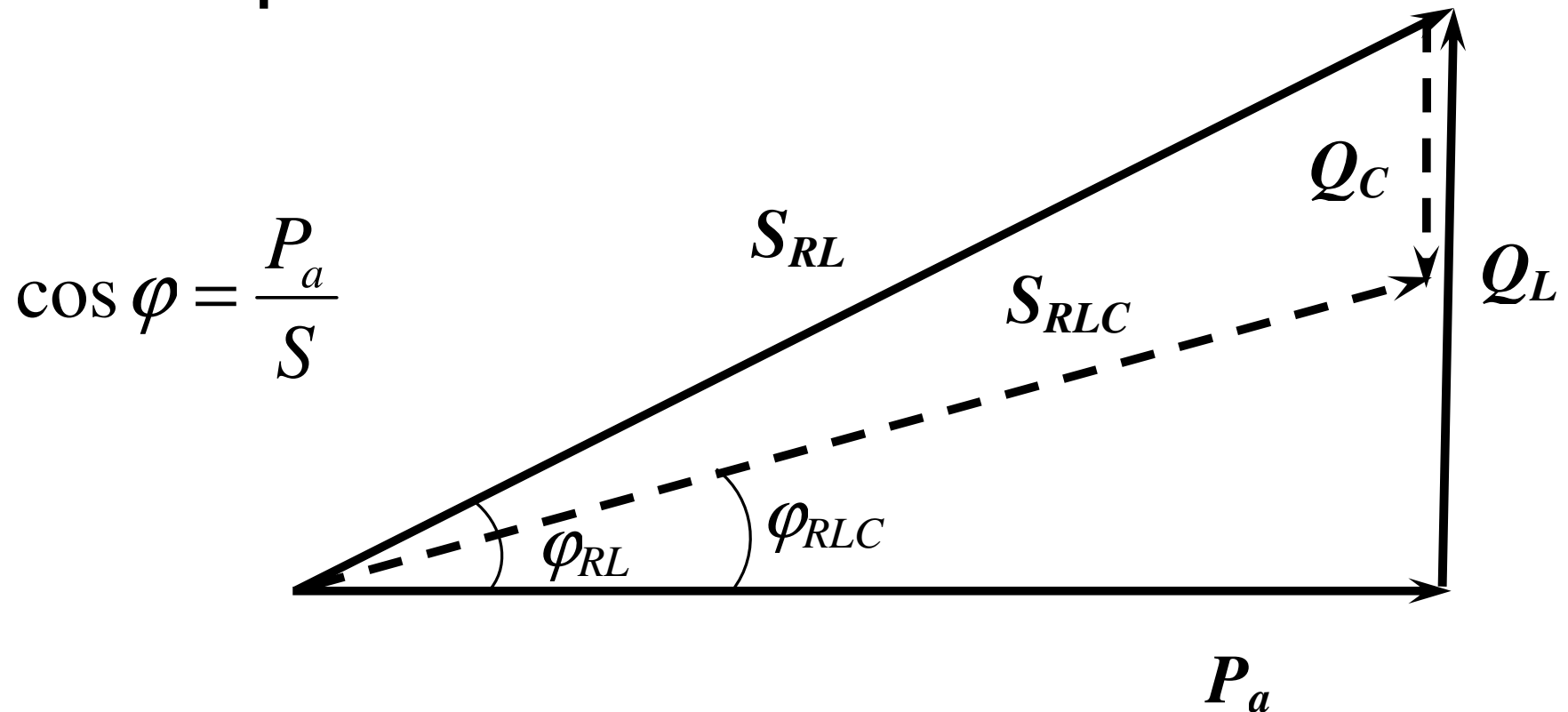
Q_C – potência reativa capacitiva (kVAr).



5 Características elétricas dos circuitos (pg. 14)

5.3 Ligação de cargas resistivas, indutivas e capacitivas em circuito de corrente alternada (CA)

(e) Fator de potência em circuito RLC



Sendo: $\cos \varphi$ – fator de potência (adimensional); P_a – potência ativa (kW); S – potência aparente (kVA).

(e) Fator de potência em circuito RLC (pg. 14)

- Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE)

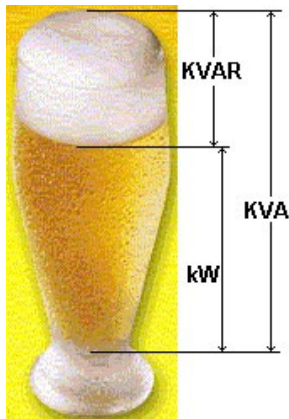
Portaria N° 1569 de 1993: **$\cos \varphi \geq 0,92$**

- Se $\cos \varphi < 0,92$ o consumidor estará sujeito ao pagamento de um ajuste por baixo fator de potência

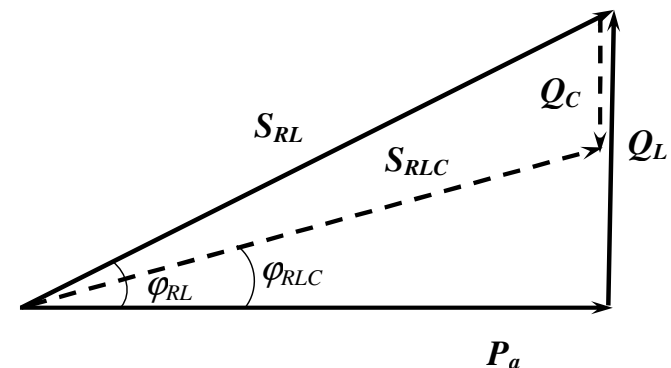
- Considerações

$\cos \varphi = 1 \Rightarrow$ circuito puramente resistivo

$\cos \varphi < 1 \Rightarrow$ circuito contendo indutância



$$\cos \varphi = \frac{P_a}{S}$$



5 Características elétricas dos circuitos

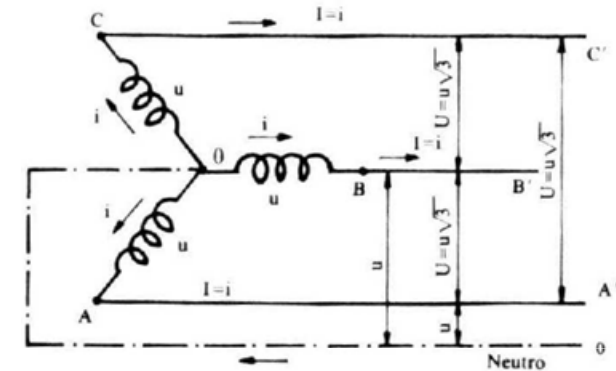
5.4 Potência elétrica em circuitos trifásicos (CA)

(a) Ligação monofásica **Fase-Neutro** (equipamento contendo reatância indutiva ou capacitiva)

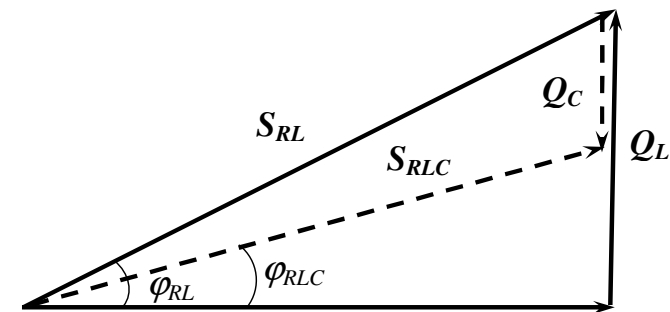
$$S_{\text{monofásico}} = u \cdot i \quad \rightarrow \quad I = i$$

$$\frac{P_{a \text{ monofásico}}}{\cos \varphi} = u \cdot i$$

$$P_{a \text{ monofásico}} = u \cdot i \cdot \cos \varphi$$



$$I = i \quad U = \sqrt{3} \cdot u$$



$$\cos \varphi = \frac{P_a}{S}$$

5 Características elétricas dos circuitos

5.4 Potência elétrica em circuitos trifásicos (CA)

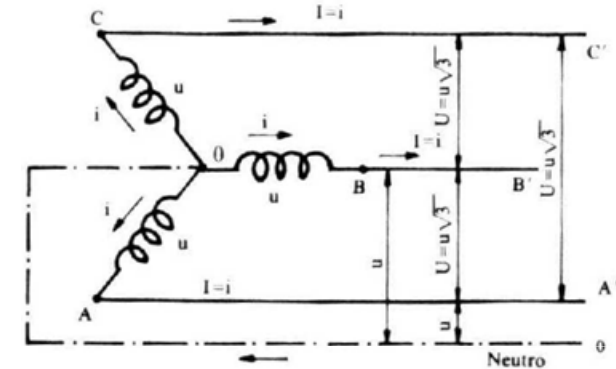
(b) Ligação bifásica **Fase-Fase** (equipamento contendo reatância indutiva ou capacitiva)

$$S_{\text{monofásico}} = U \cdot i$$

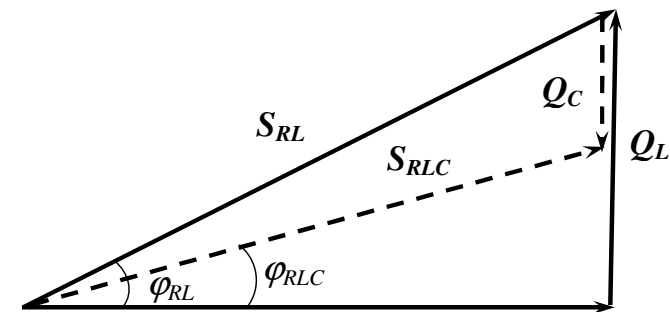
$\xrightarrow{I = i}$
 $\xrightarrow{U = \sqrt{3} \cdot u}$

$$\frac{P_{a \text{ monofásico}}}{\cos \varphi} = U \cdot I$$

$$P_{a \text{ monofásico}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$



$$I = i \quad U = \sqrt{3} \cdot u$$



$$\cos \varphi = \frac{P_a}{S}$$

5 Características elétricas dos circuitos

5.4 Potência elétrica em circuitos trifásicos (CA)

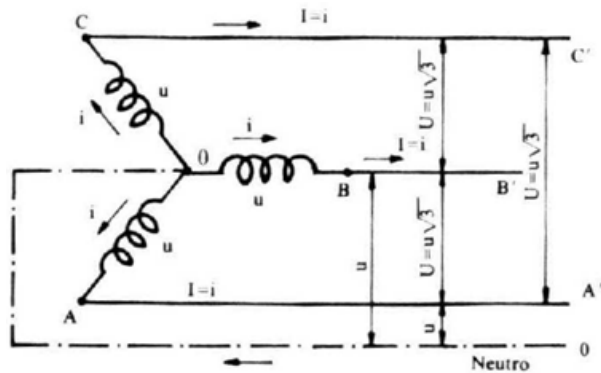
(c) Ligação trifásica **Fase-Fase-Fase** (equipamento contendo reatância indutiva ou capacitiva)

$$S_{\text{trifásico}} = 3 \cdot S_{\text{monofásico}} \quad \Rightarrow \quad S_{\text{trifásico}} = 3 \cdot u \cdot i$$

$$\frac{P_{a \text{ trifásico}}}{\cos \varphi} = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I \quad \Rightarrow \quad \frac{P_{a \text{ trifásico}}}{\cos \varphi} = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}}$$

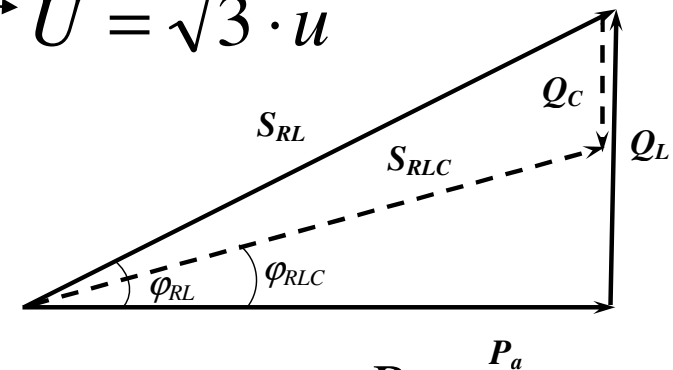
$$P_{a \text{ trifásico}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$U = \sqrt{3} \cdot u$$



$$I = i$$

$$U = \sqrt{3} \cdot u$$



$$\cos \varphi = \frac{P_a}{S}$$

Exercícios

Ex. 1) Um secador elétrico de 5.400 W será ligado num circuito contendo condutor alimentador de cobre 4 mm², a 17 m de distância do quadro de distribuição da instalação (Q.D). A resistência do secador é de níquel-cromo e possui comprimento de 2,5 m. Supondo que este equipamento possa ser adquirido nas tensões 127 V ou 220 V, mencione para o dono da instalação as diferenças que existem nos dois aparelhos quanto: **(a)** corrente; **(b)** resistência elétrica do secador; **(c)** resistência elétrica dos fios de alimentação; **(d)** Queda de tensão proporcionada nos fios quando o secador é ligado; **(e)** diâmetro da resistência do secador; **(f)** o valor gasto com a energia. Obs.: Supor o equipamento trabalhando duas horas por dia, em um mês de 30 dias, e o preço do kWh igual a R\$ 0,3879.

Exercícios

Ex. 2) Se ligássemos um freezer $P_a = 280 \text{ W}$ (110 V) e uma lâmpada $P_a = 100 \text{ W}$ (220 V) em paralelo, num circuito de tensão 380 volts, o sistema funcionaria adequadamente? Explique.

Ex. 3) Um condutor de níquel-cromo, com bitola B & S no 20 (0,813 mm) e 8,3 m de comprimento, é usado como resistência para aquecimento de água. A tensão é de 127 V. O reservatório contém 150 litros de água a 20°C . Assim: **(a)** Qual a energia consumida e a potência correspondente? **(b)** Qual será a temperatura da água após 3 horas de aquecimento? Dados: $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$ e $Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$

Exercícios

Ex. 4) Um transformador contendo 500 espiras no enrolamento primário apresenta intensidade de corrente elétrica de 4 A no primário e de 10 A no enrolamento secundário. Qual é o número de espiras que este transformador possui no enrolamento secundário?

Ex. 5) Um motor trifásico de um sistema de irrigação, possui potência nominal (P_n) de 60 CV, 1.800 rpm e trabalha a 100% de carga ($\eta = 90\%$ e $\cos \varphi = 0,88$). Desta forma, pergunta-se: **(a)** Haverá problema de baixo fator de potência ($\cos \varphi$), sabendo que existe somente este motor na instalação? Explique; **(b)** Qual é o valor da potência ativa do motor (P_a)? **(c)** Qual é o valor da potência reativa indutiva (Q_L)? **(d)** Qual seria o tamanho mínimo do transformador a ser adquirido? **Obs.: Considere que ainda não houve a correção do fator de potência ($\cos \varphi$) da instalação.**

Tabela – Características típicas de motores assíncronos de indução trifásicos da WEG, 1.800 rpm. (pg. 169)

POTÊNCIA		CARCAÇA ABNT	rpm	COR- RENTE NOMI- NAL EM 220 V A	COR- RENTE COM ROTOR BLO- QUEADO Ip/In	CONJU- GADO NOMI- NAL Cn kgfm	CONJU- GADO COM ROTOR BLO- QUEA- DO Cp/Cn	CONJU- GADO MAXI- MO Cmax/ Cn	RENDIMENTO η %			FATOR DE POT. $\cos \varphi$			FATOR DE SER- VIÇO FS	MOMEN- TO DE INÉRCIA J kgm ²	TEMPO MAX. COM ROTOR BLO- QUEA- DO s	PESO APRO- XIMA- DO kg
CV	kW								% DA POT. NOMINAL			% DA POT. NOMINAL						
									50	75	100	50	75	100				
— 1800 RPM — 60 Hz.																		
0,16	0,12	63	1710	1,0	4,6	0,06	3,2	3,4	42	51	57	0,45	0,56	0,67	1,35	0,0004	10	6,0
0,25	0,18	63	1710	1,4	4,8	0,10	3,1	2,9	48	55	60	0,53	0,58	0,67	1,35	0,0005	7,7	6,5
0,33	0,25	63	1710	1,5	4,8	0,14	2,8	3,0	52	56	61	0,55	0,65	0,72	1,35	0,0006	11	7,0
0,50	0,37	71	1720	2,4	4,6	0,20	3,2	3,5	49	59	64	0,49	0,56	0,64	1,25	0,0008	12	9,5
0,75	0,55	71	1685	3,4	5,0	0,30	3,6	3,8	52	60	63	0,47	0,55	0,65	1,25	0,0013	7,4	11
1,0	0,75	80	1730	3,8	5,2	0,40	2,5	2,8	60	66	70	0,51	0,63	0,75	1,15	0,0015	6,0	13
1,5	1,1	80	1700	5,0	5,0	0,60	2,3	2,4	70	72	73	0,58	0,72	0,81	1,15	0,0016	6,0	14
2,0	1,5	90S	1725	6,5	6,3	0,84	3,0	3,0	71	74	76	0,56	0,70	0,78	1,15	0,0063	6,0	20
3,0	2,2	90L	1700	9,2	6,2	1,2	3,3	2,9	73	75	76	0,61	0,73	0,84	1,15	0,0080	6,0	24
4,0	3,0	100L	1730	12	6,2	1,7	2,9	3,0	72	76	78	0,71	0,78	0,83	1,15	0,0084	6,4	32
5,0	3,7	100L	1715	15	7,1	2,0	2,8	2,6	72	74	76	0,76	0,82	0,87	1,15	0,0091	6,0	35
6,0	4,4	112M	1740	17	7,5	2,5	3,7	3,2	77	79	80	0,71	0,80	0,85	1,15	0,0177	6,0	46
7,5	5,5	112M	1720	21	7,7	3,0	2,8	2,9	77	78	81	0,70	0,78	0,88	1,15	0,0177	6,0	46
10	7,5	132S	1730	28	7,0	4,1	2,6	3,0	75	77	81	0,80	0,84	0,86	1,15	0,0328	8,3	63
12,5	9,2	132M	1735	34	7,4	5,1	2,6	3,0	81	82	84	0,76	0,83	0,86	1,15	0,0365	8,1	74
15	11	132M	1750	41	8,0	6,0	3,0	3,0	83	84	85	0,67	0,78	0,83	1,15	0,0433	7,0	82
20	15	160M	1755	50	8,7	8,0	2,5	3,3	81	84	86	0,76	0,84	0,88	1,15	0,0900	6,0	125
25	18,5	160L	1776	65	8,7	10	3,6	3,4	82	86	88	0,79	0,82	0,88	1,15	0,101	6,0	130
30	22	180M	1770	75	7,0	12	3,0	2,4	80	86	88	0,82	0,87	0,89	1,15	0,263	9,0	175
40	30	200M	1770	96	7,6	16	2,5	2,6	80	87	90	0,80	0,86	0,88	1,15	0,405	10	240
50	37	200L	1770	125	7,0	20	3,0	2,8	84	87	89	0,80	0,87	0,88	1,15	0,444	12	260
60	45	225S/M	1780	145	6,2	24	2,8	3,0	87	88	90	0,80	0,87	0,88	1,00	0,790	12	330
75	55	225S/M	1775	180	5,6	30	2,4	2,8	87	88	90	0,85	0,88	0,89	1,00	0,900	15	370
100	75	250S/M	1780	240	7,4	40	3,4	3,4	88	89	90	0,83	0,88	0,90	1,00	1,06	8,3	430
125	90	280S/M	1780	300	6,4	50	2,0	2,5	88	90	90	0,85	0,89	0,90	1,00	2,10	14	640
150	110	280S/M	1785	360	7,0	60	2,3	2,7	89	90	90	0,86	0,90	0,90	1,00	2,51	13	720
175	130	315S/M	1785	420	8,0	70	2,4	3,9	88	90	91	0,77	0,85	0,89	1,00	2,93	11	840
200	150	315S/M	1780	470	6,8	80	2,3	2,6	90	92	92	0,84	0,88	0,90	1,00	2,93	17	850
250	185	315S/M	1780	600	7,8	100	2,8	2,9	89	90	91	0,81	0,87	0,89	1,00	3,69	15	990
300	220	355M/L	1790	700	7,1	120	2,0	2,9	91	91	92	0,84	0,90	0,90	1,00	6,66	24	1390
350	260	355M/L	1790	800	7,3	140	2,3	2,8	92	93	93	0,84	0,88	0,91	1,00	7,36	27	1490
425	315	355M/L	1790	1000	7,0	170	2,3	2,7	92	93	93	0,82	0,87	0,90	1,00	8,80	27	1680

FIM