



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA

® **M** Plataforma Moretti

Disciplina: Energia na Agricultura

UNIDADE 4 – Gerador elétrico

Prof. Jorge Luiz Moretti de Souza

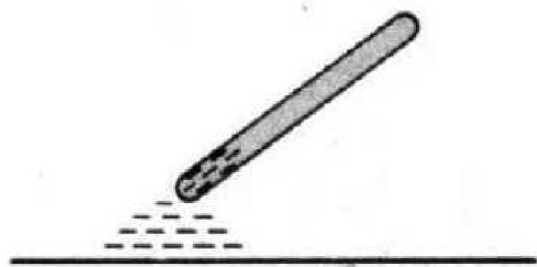
E-mail: jmoretti@ufpr.br

<http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/index.htm>

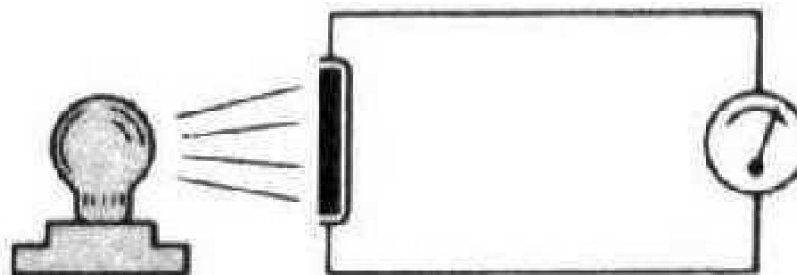
Objetivo da Unidade didática

- Identificar e estabelecer as principais fontes e formas de produção de energia (convencional e alternativa), bem como os mecanismos essenciais envolvidos para sua produção e aproveitamento

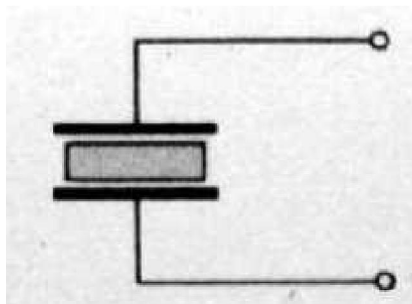
1 Produção de uma força eletromotriz



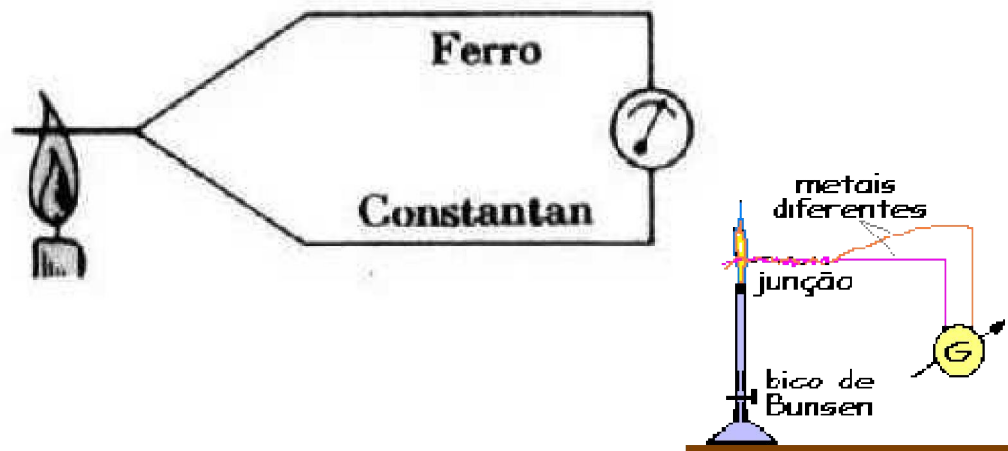
(a) Atrito



(b) Ação da luz



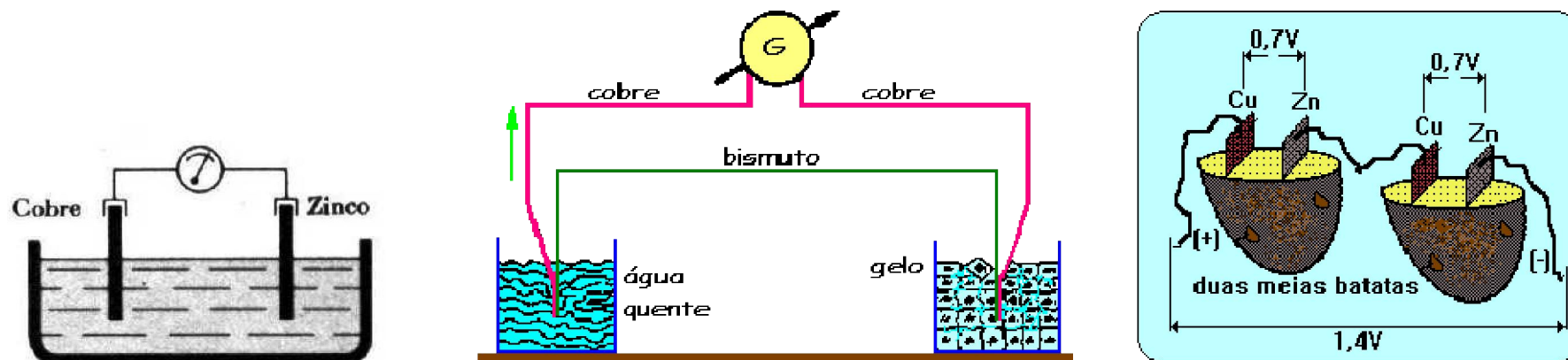
(c) Efeito piezelétricos
(compressão e tração de
cristais de quartzo)



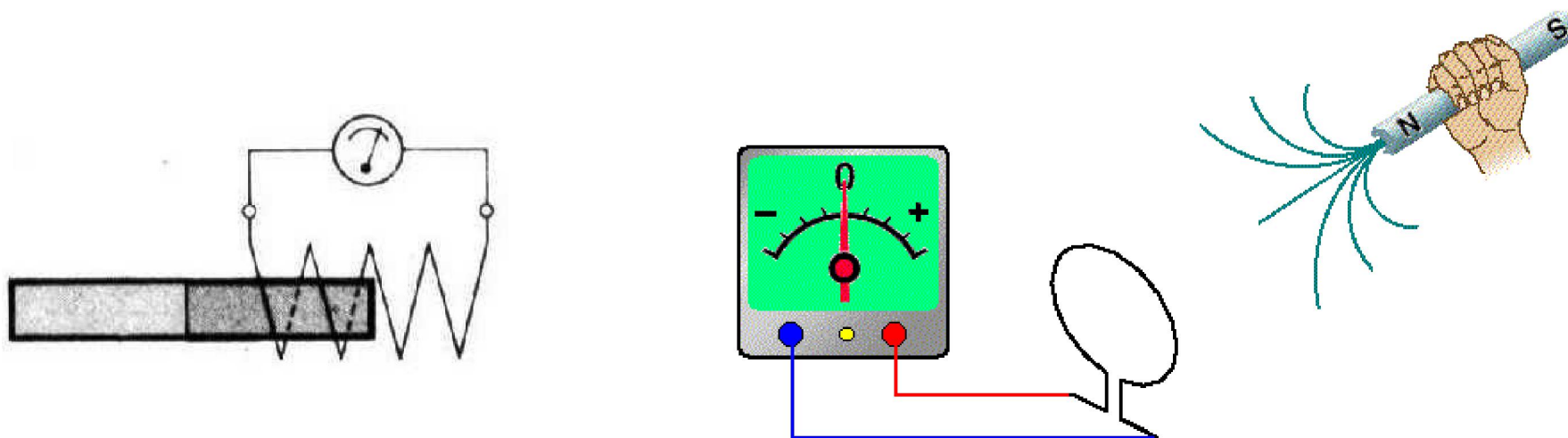
(d) Efeito termelétrico

Figura 4.1 – Formas de obtenção de uma força eletromotriz (f.e.m)

1 Produção de uma força eletromotriz



(e) Ação química de soluções



(f) Indução eletromagnética (magnetismo)

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

1 Produção de uma força eletromotriz

1.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

a) Magnetismo

- Imãs naturais



- Imãs artificiais

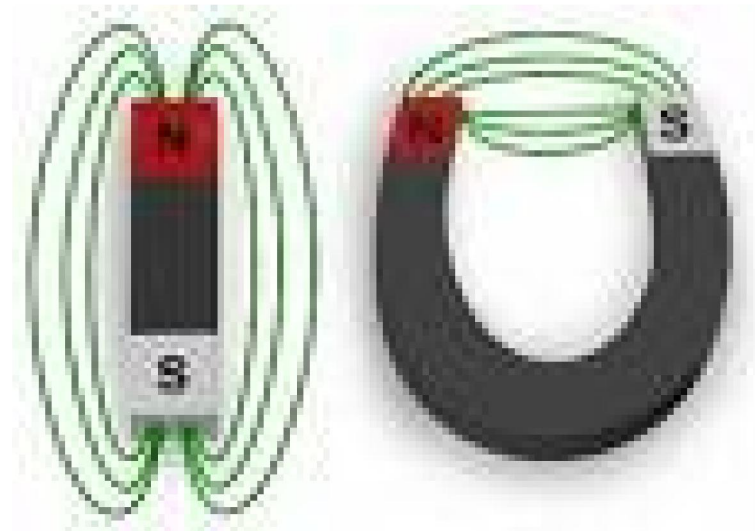


Figura – Imãs naturais e artificiais.

1.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

b) Campo magnético

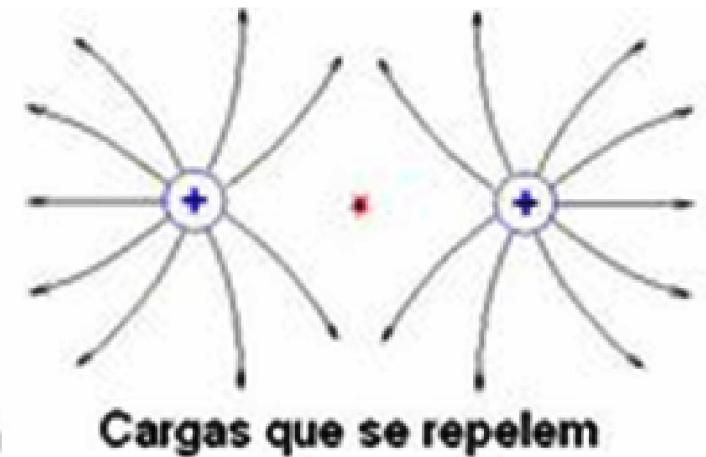
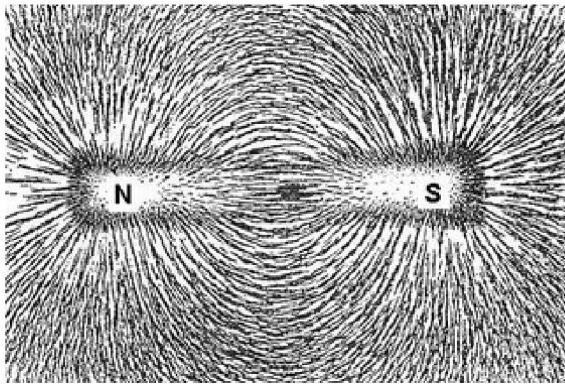


Figura – Campo magnético

1.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

c) Campo magnético ao redor de um condutor

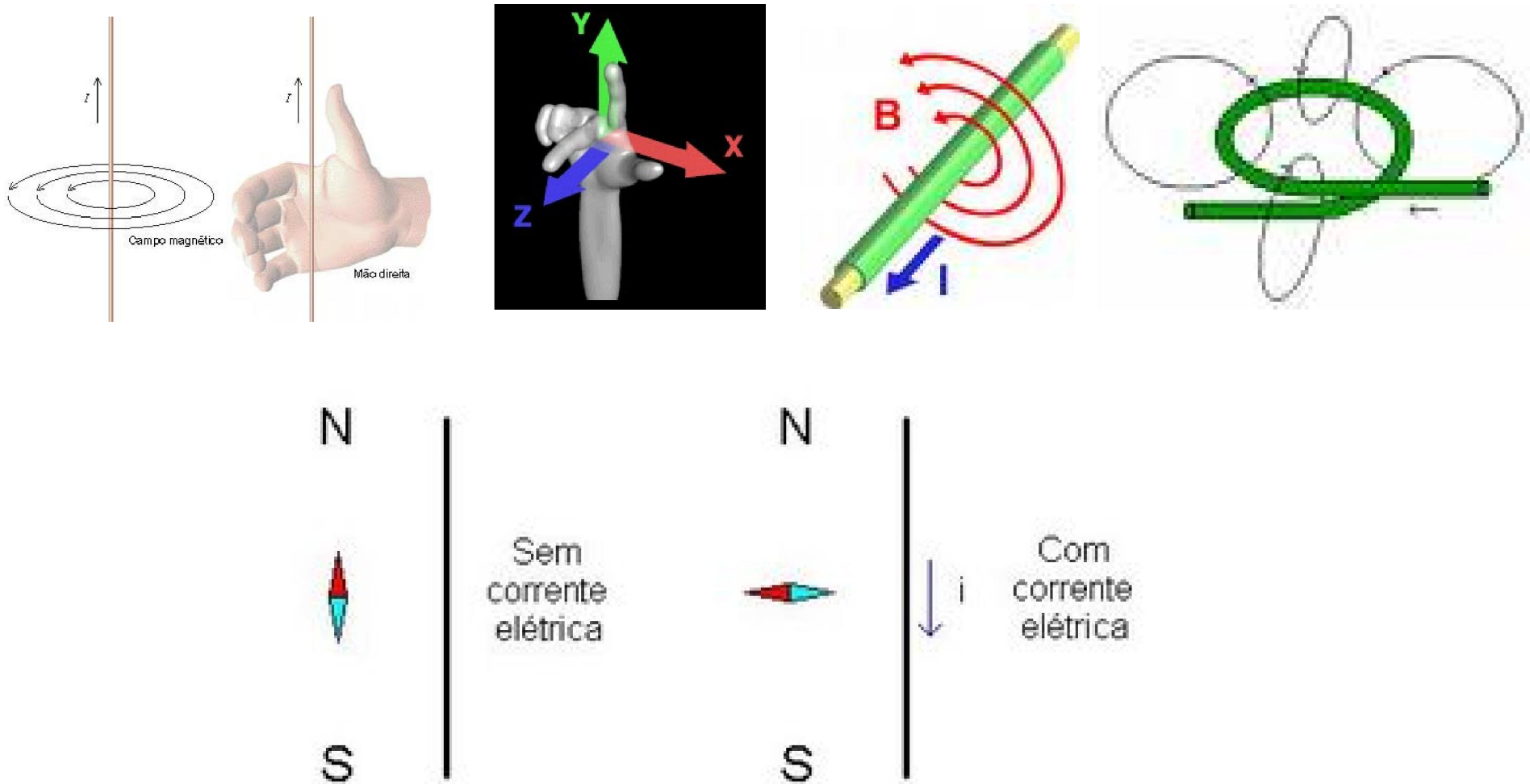


Figura – Campo magnético em um condutor

1.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

d) Campo magnético de dois condutores paralelos

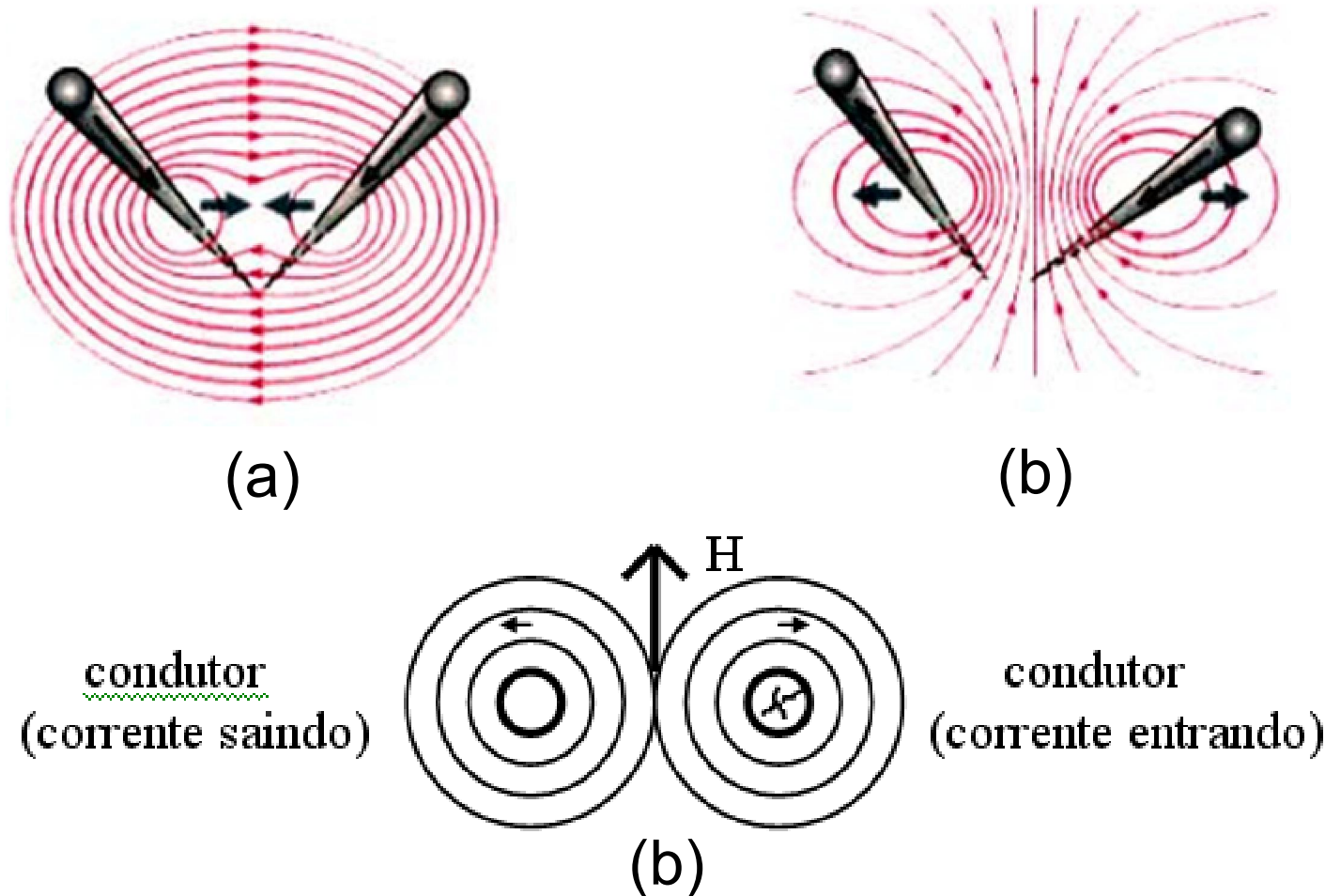


Figura – Campo magnético formado por uma corrente em dois condutores: a) mesmo sentido; e, b) sentidos contrários.

1.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

e) Campo magnético de um solenóide

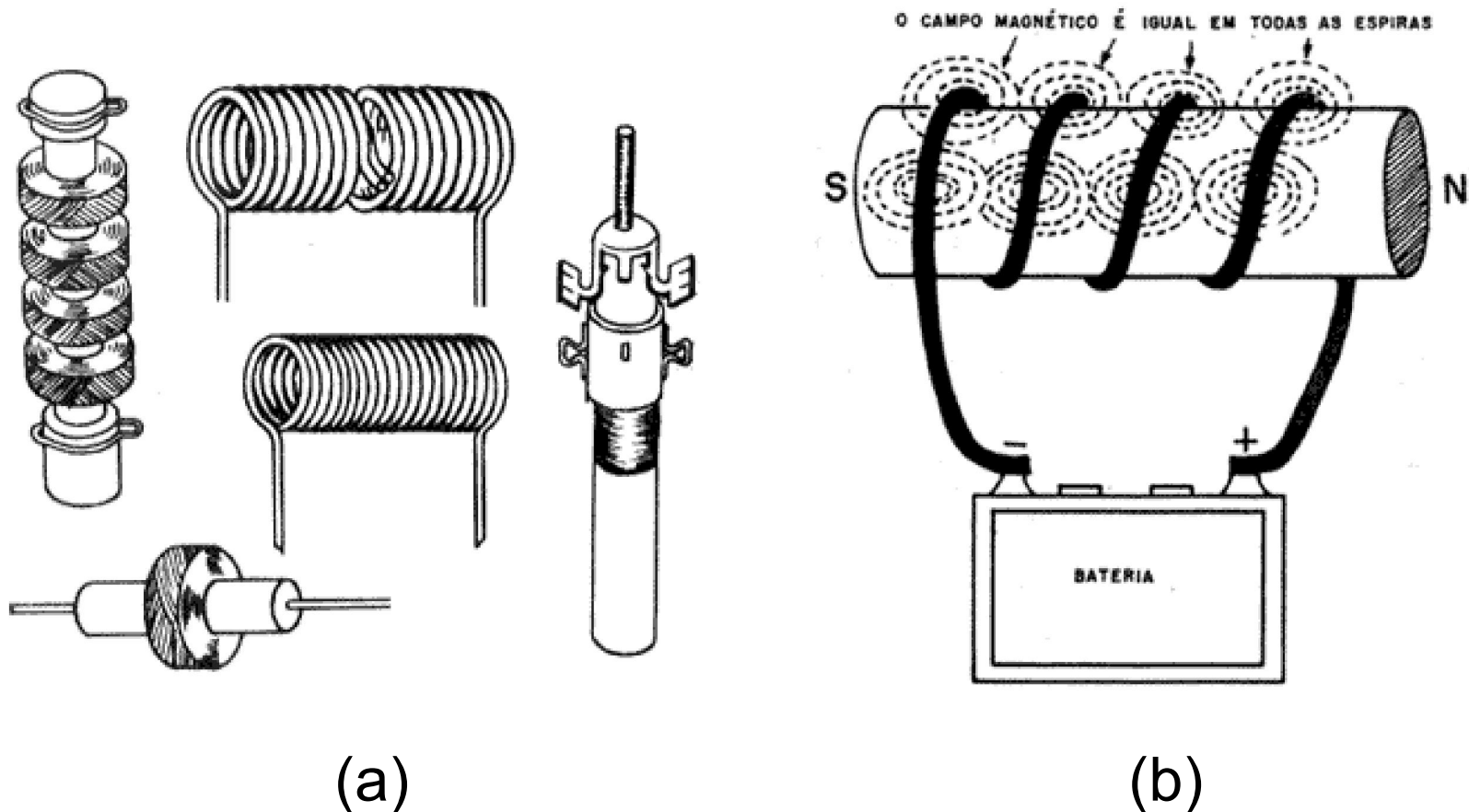


Figura – a) Bobinas; e, b) Solenóide

1.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

e) Campo magnético de um solenóide

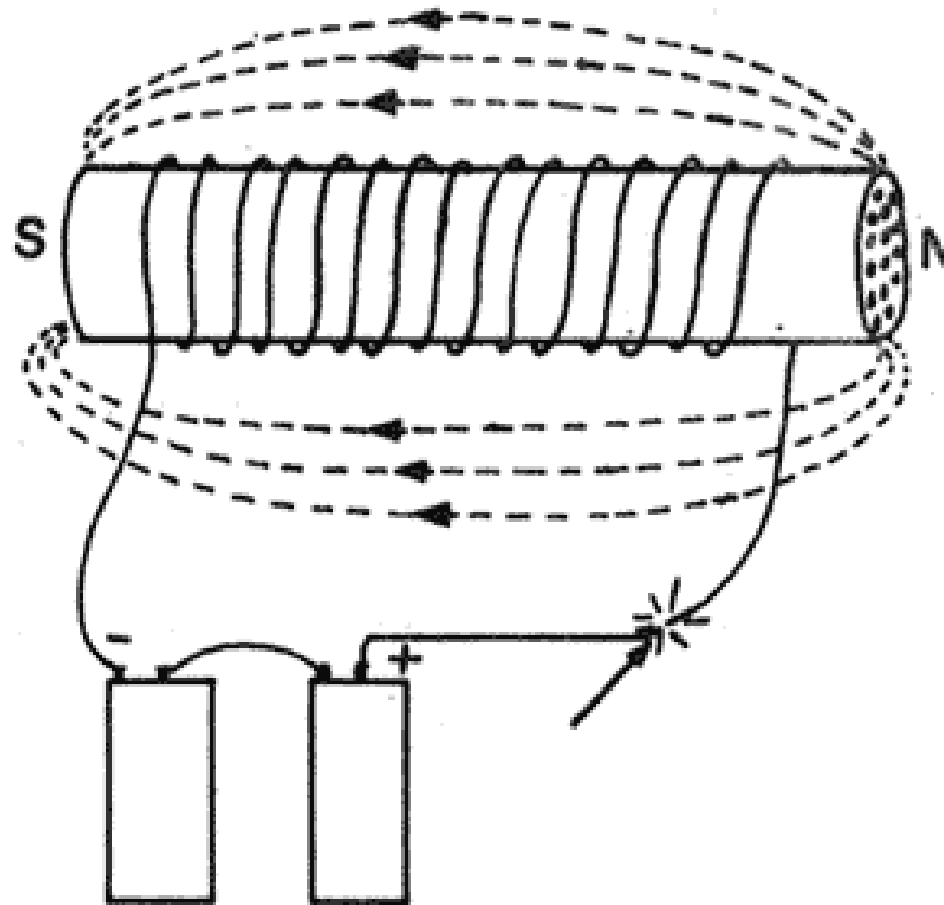


Figura – Campo magnético produzido por um solenóide

1.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

f) Força do campo magnético

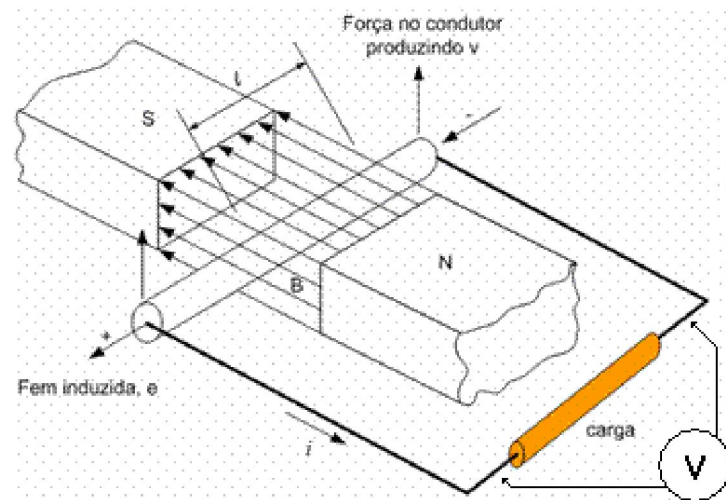
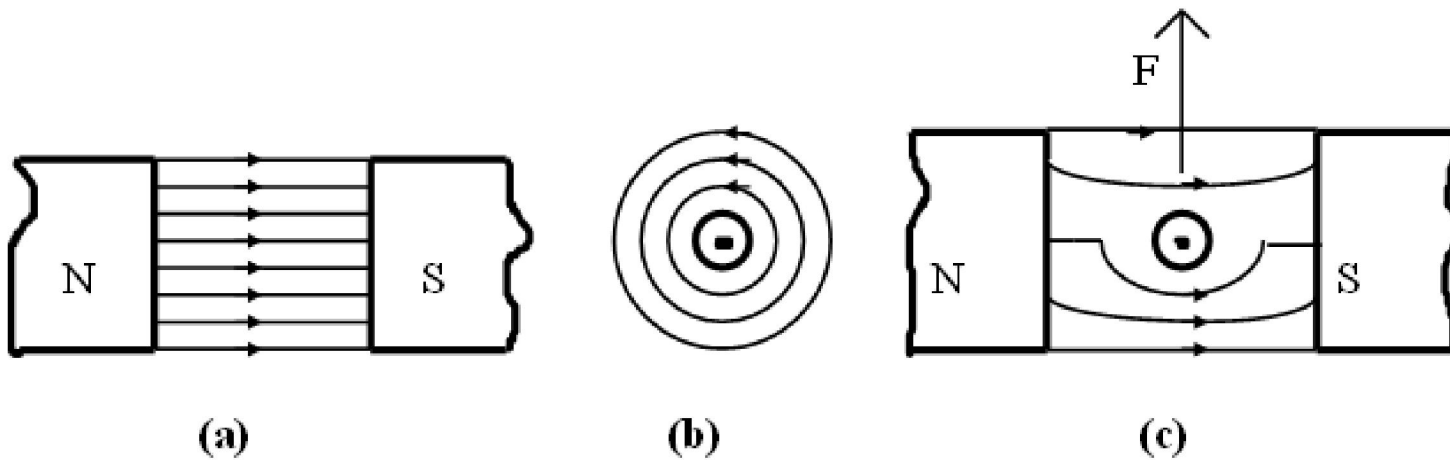
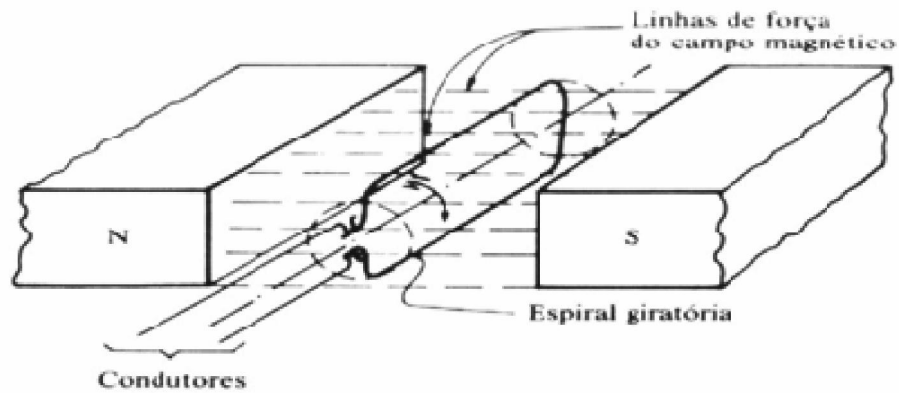


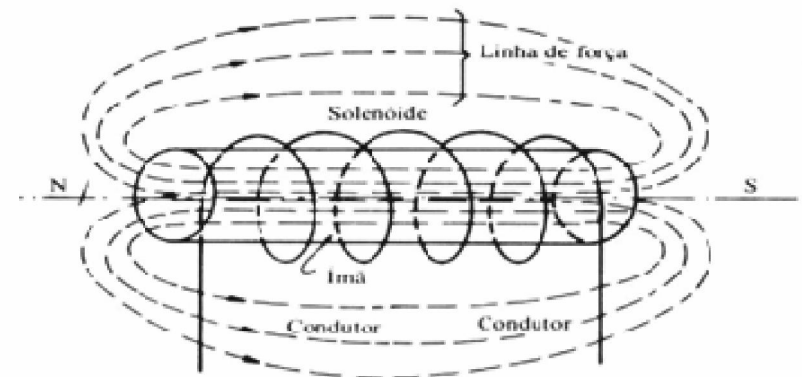
Figura – Força de um campo magnético

1.1 Força eletromotriz por indução eletromagnética

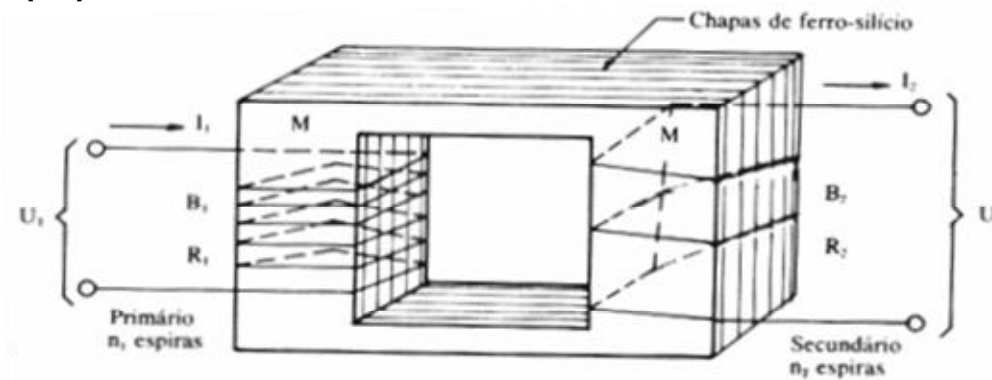
g) Indução eletromagnética



(a)



(b)



(c)

Figura 4.2 – 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

2 Geradores e dínamos

2.1 Gerador monofásico de corrente alternada (alternador)

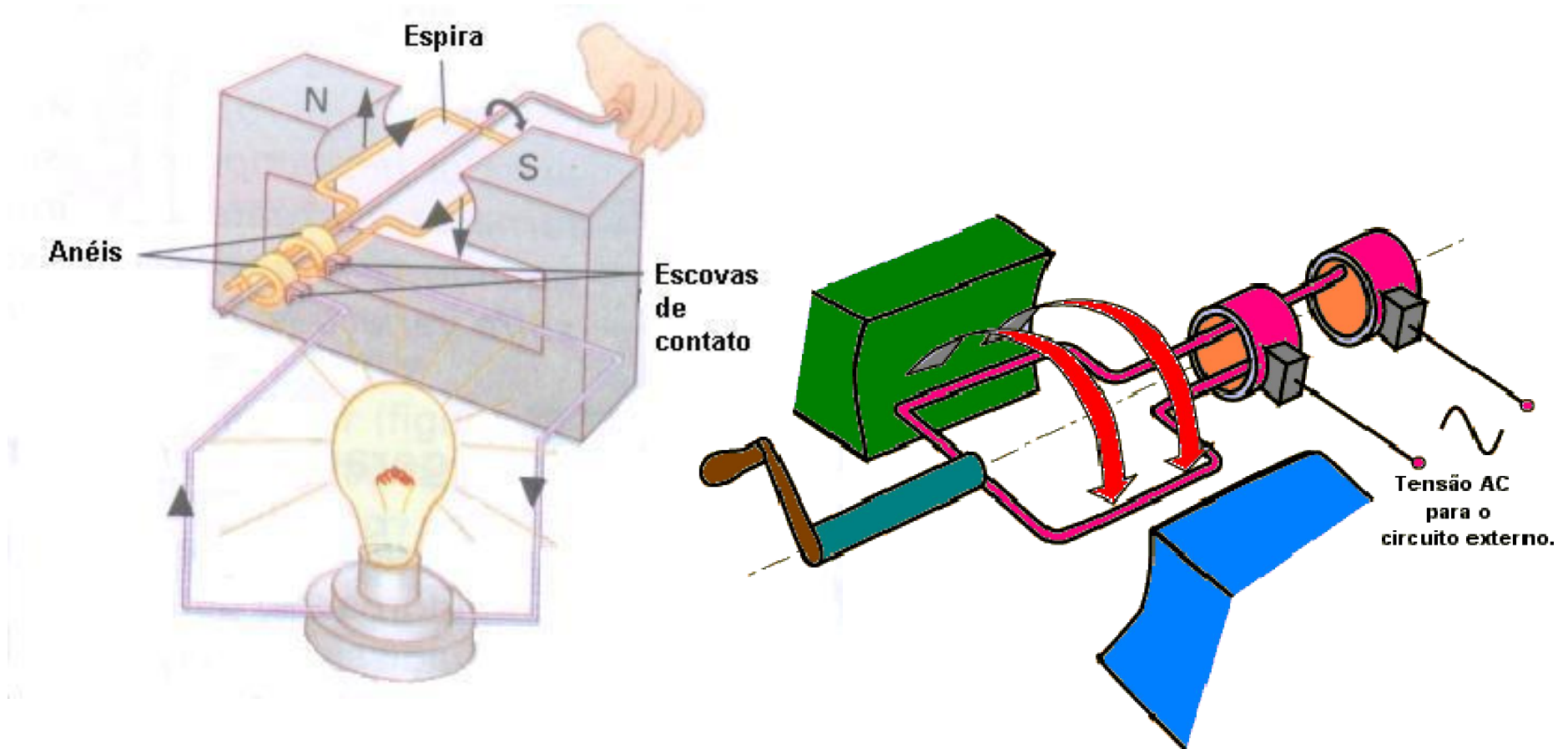


Figura – Geração de corrente alternada em um alternador monofásico

2.1 Gerador monofásico de corrente alternada (alternador)

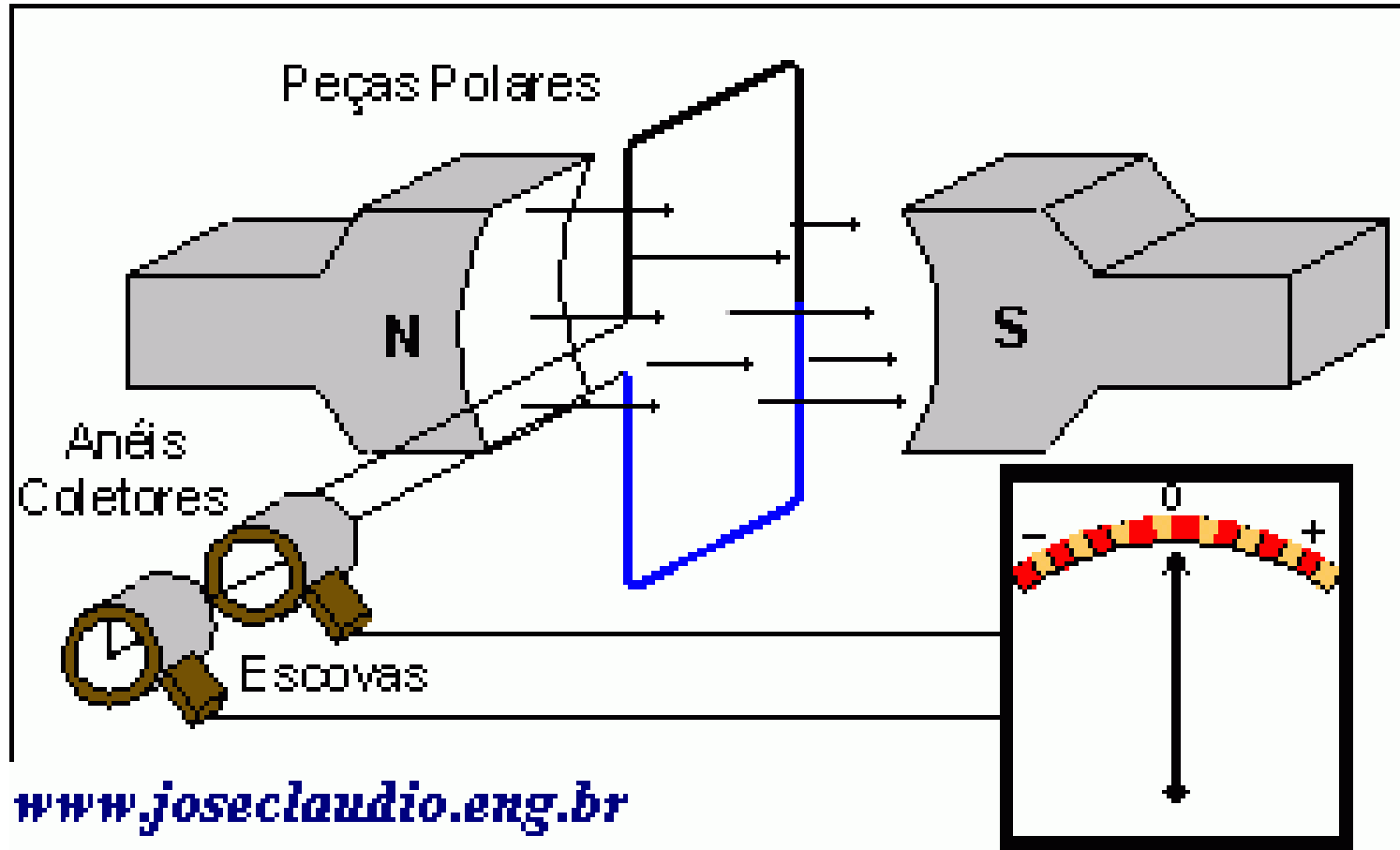


Figura – Geração de corrente alternada em um alternador monofásico

4.1 Gerador monofásico de corrente alternada (alternador)

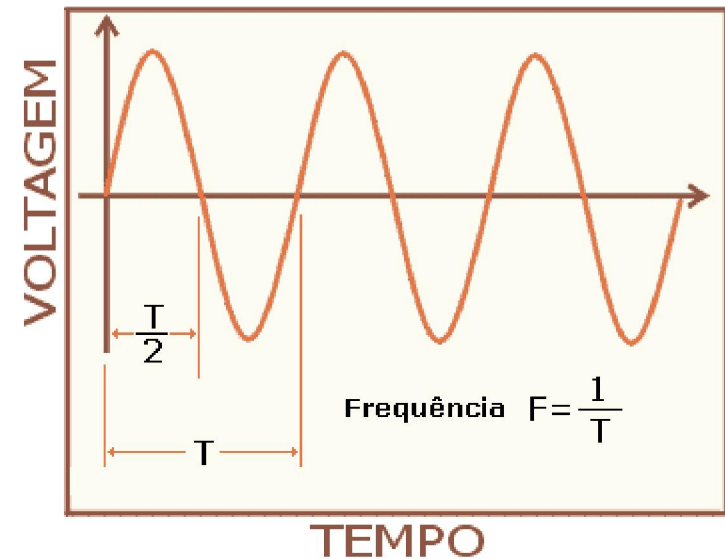
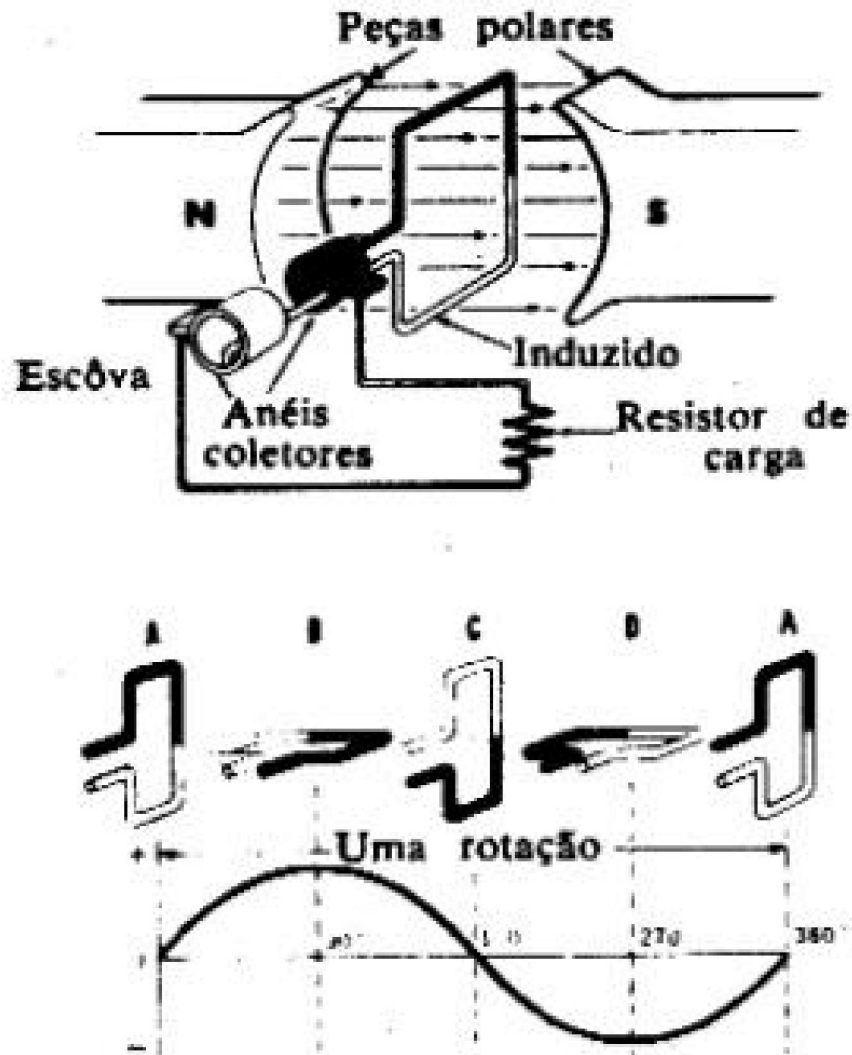
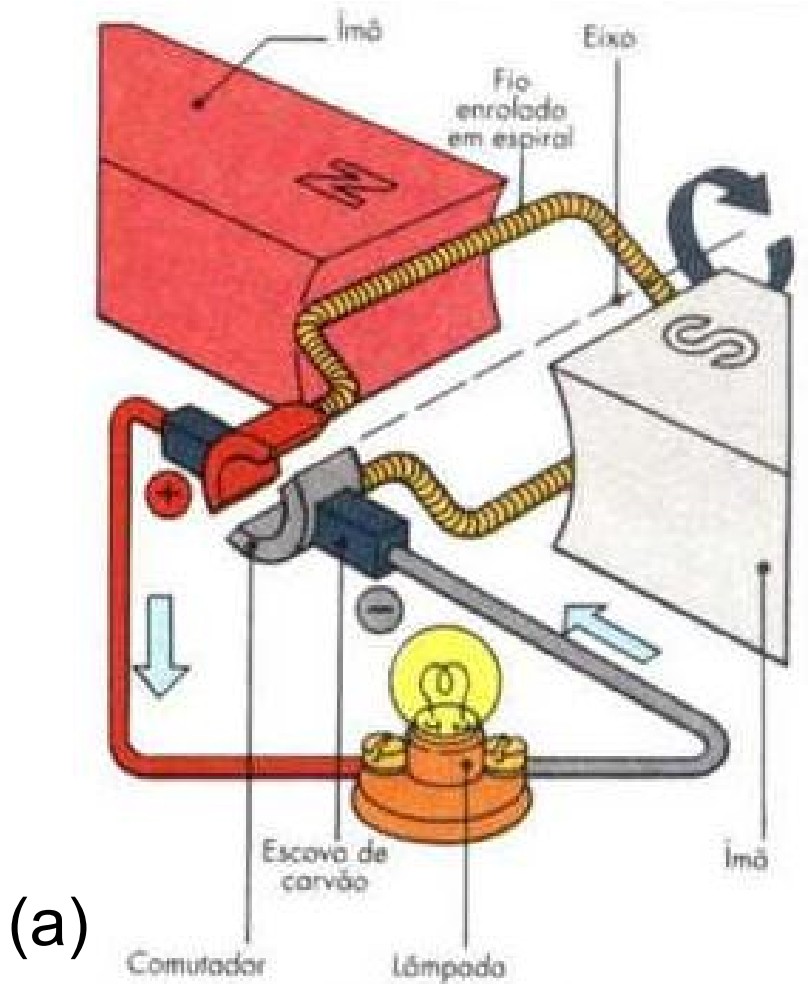


Figura – Geração de corrente alternada em um alternador monofásico e definição de frequência.

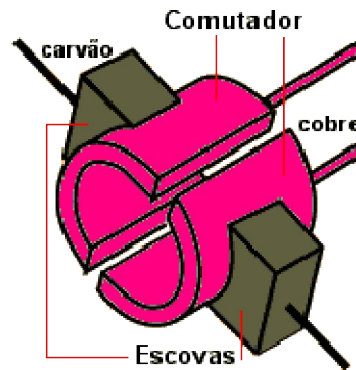
4.2 Gerador de corrente contínua (dínamo)



(a)

Qual é a diferença entre os dois esquemas?!

Contínua



(b)

Alternada

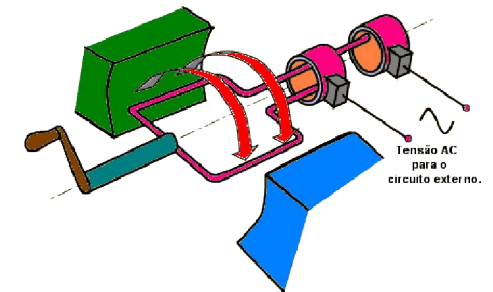
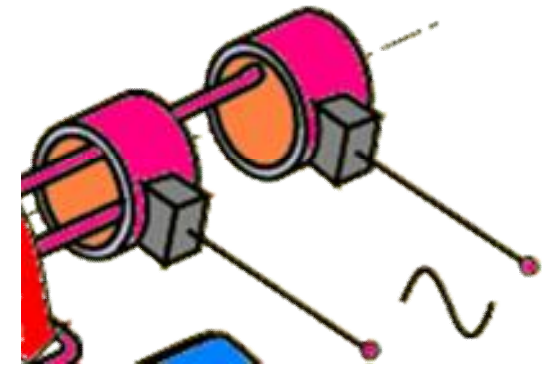


Figura 4.6 – a) Geração de corrente contínua em um dínamo; e, b) Detalhe do comutador e escovas

4.2 Gerador de corrente contínua (dínamo)

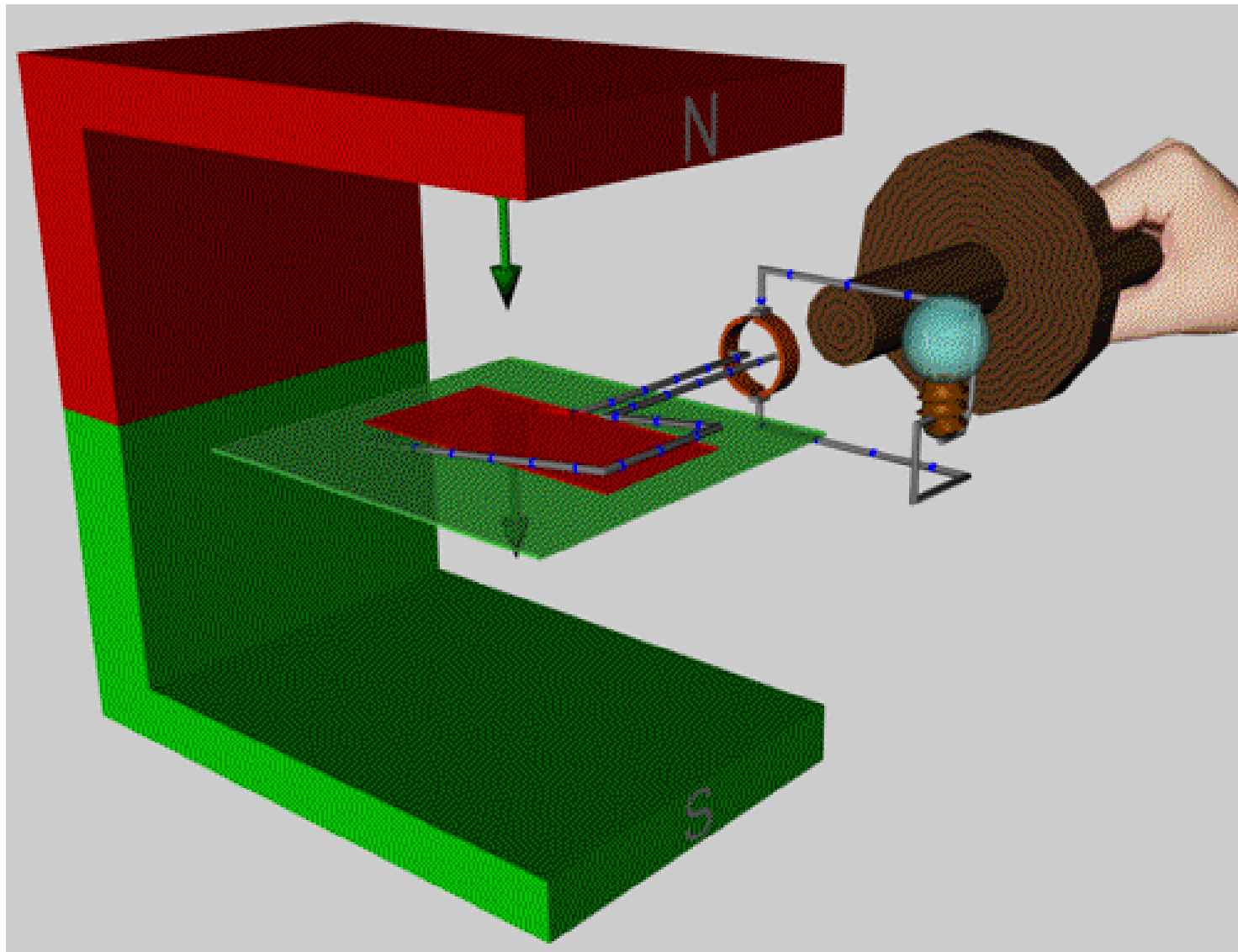


Figura – a) Geração de corrente contínua em um dínamo.

4.2 Gerador de corrente contínua (dínamo)

Melhoria da corrente contínua pulsante resultante em um dínamo

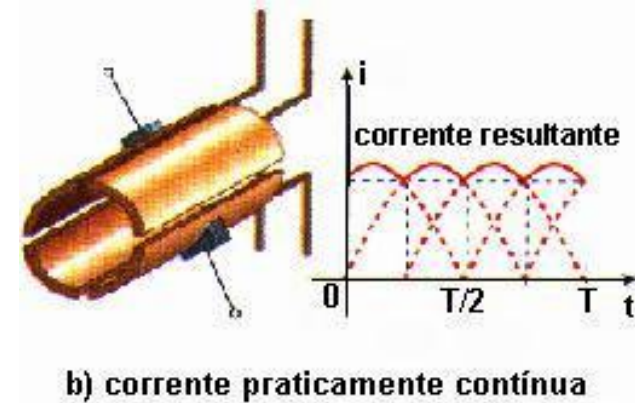
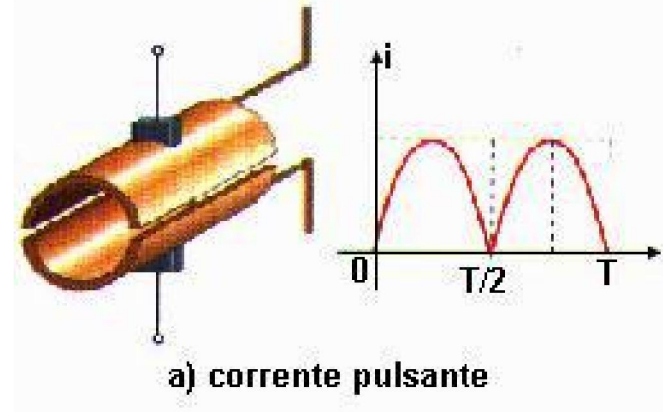
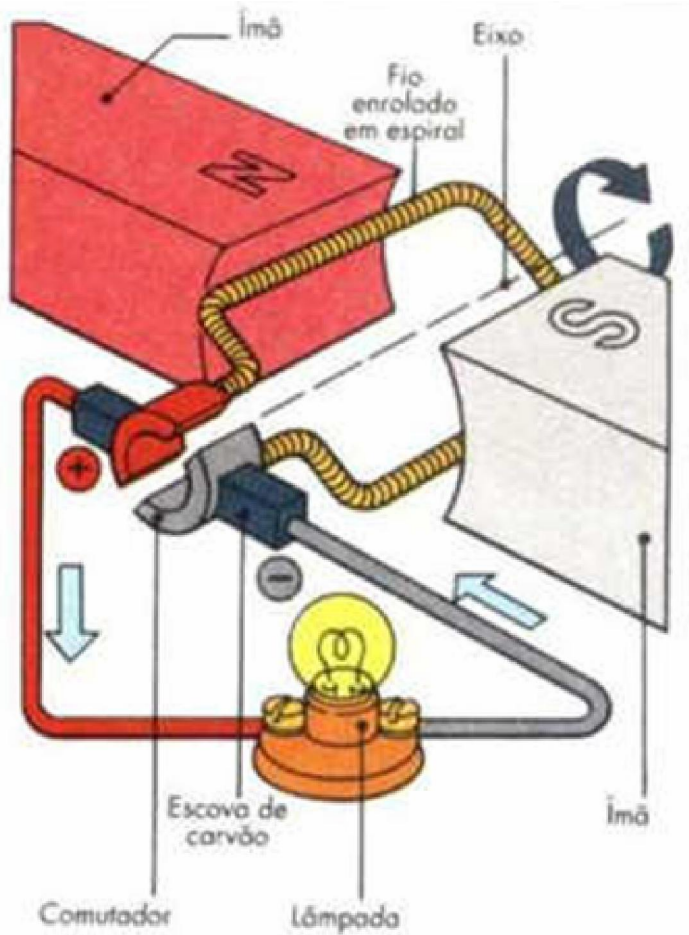


Figura 4.7 – Corrente elétrica obtida com dínamo, tendo: a) uma espira, dois setores do comutador produzindo corrente pulsante; b) Duas espiras, quatro setores do comutador produzindo corrente praticamente contínua (retificada).

Diferença na corrente produzido em um alternador e dínamo

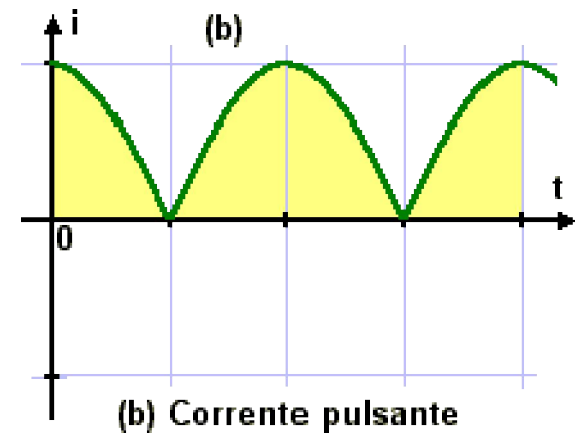
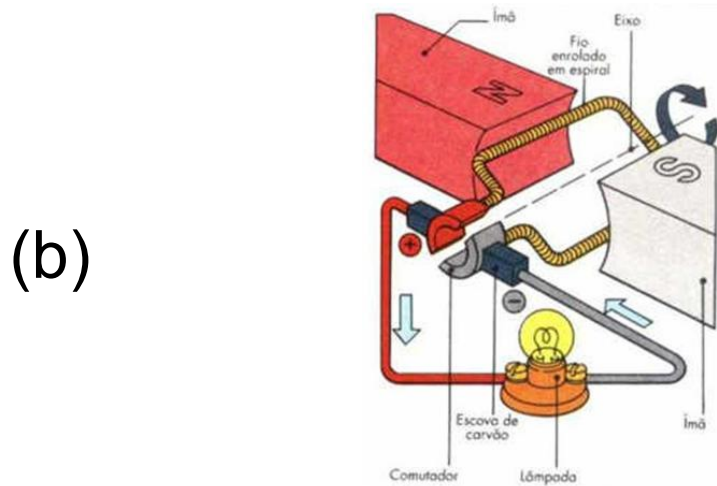
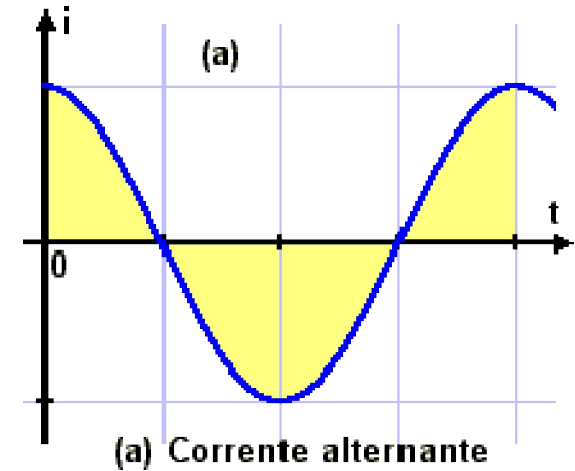
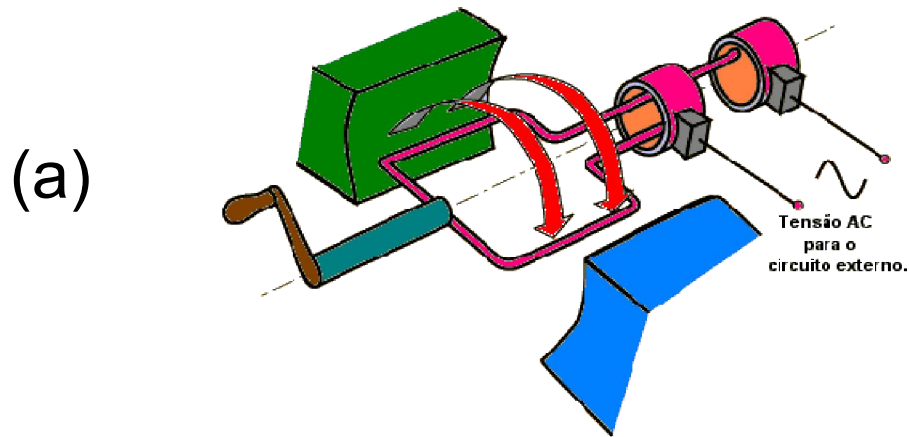


Figura 4.8 – a) Alternador e corrente alternada; b) Dínamo e corrente contínua pulsante

4.2 Gerador trifásico de corrente alternada

a) Polos externos

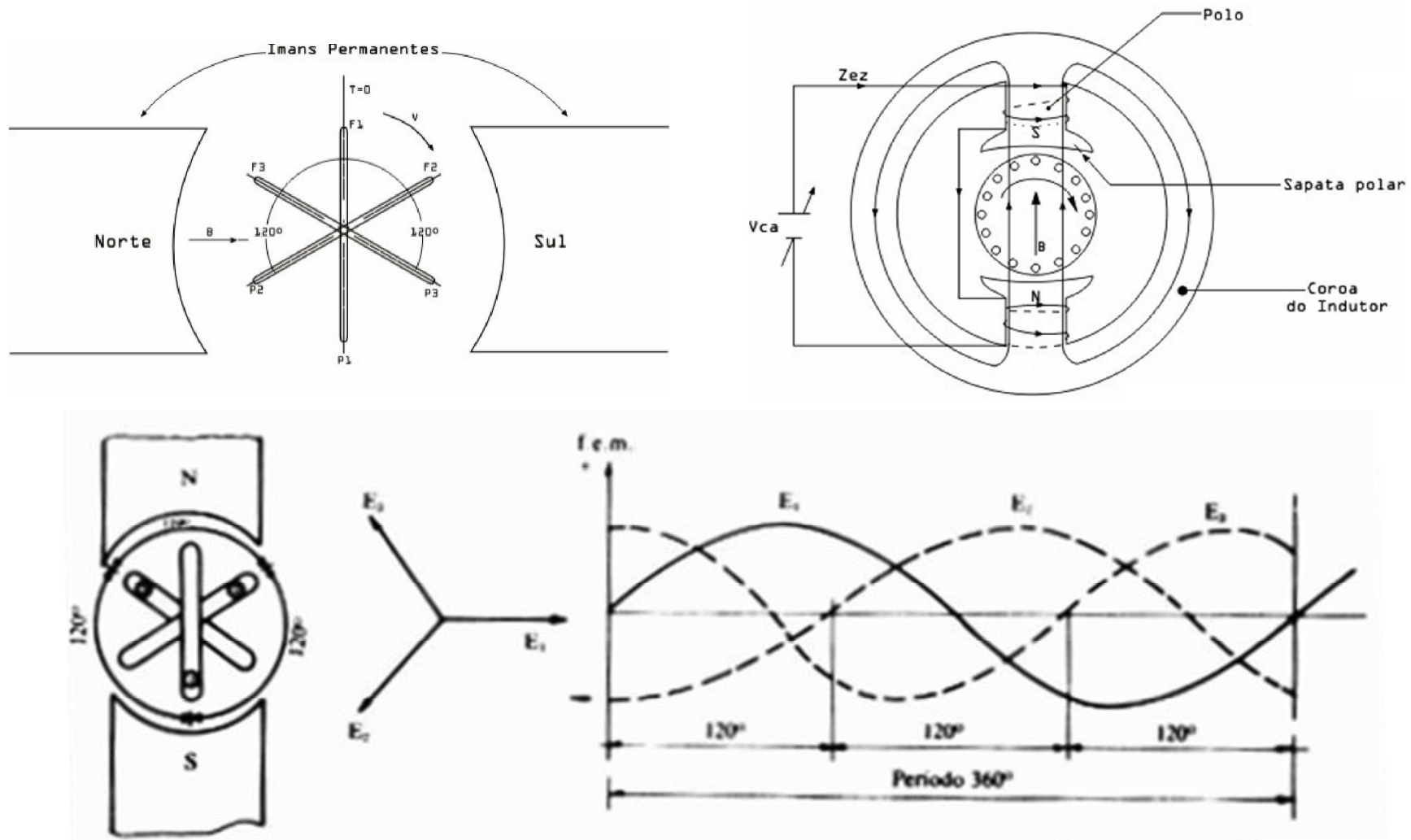


Figura – Gerador trifásico (alternador), corrente alternada, com polos externos

4.2 Gerador trifásico de corrente alternada

b) Polos internos

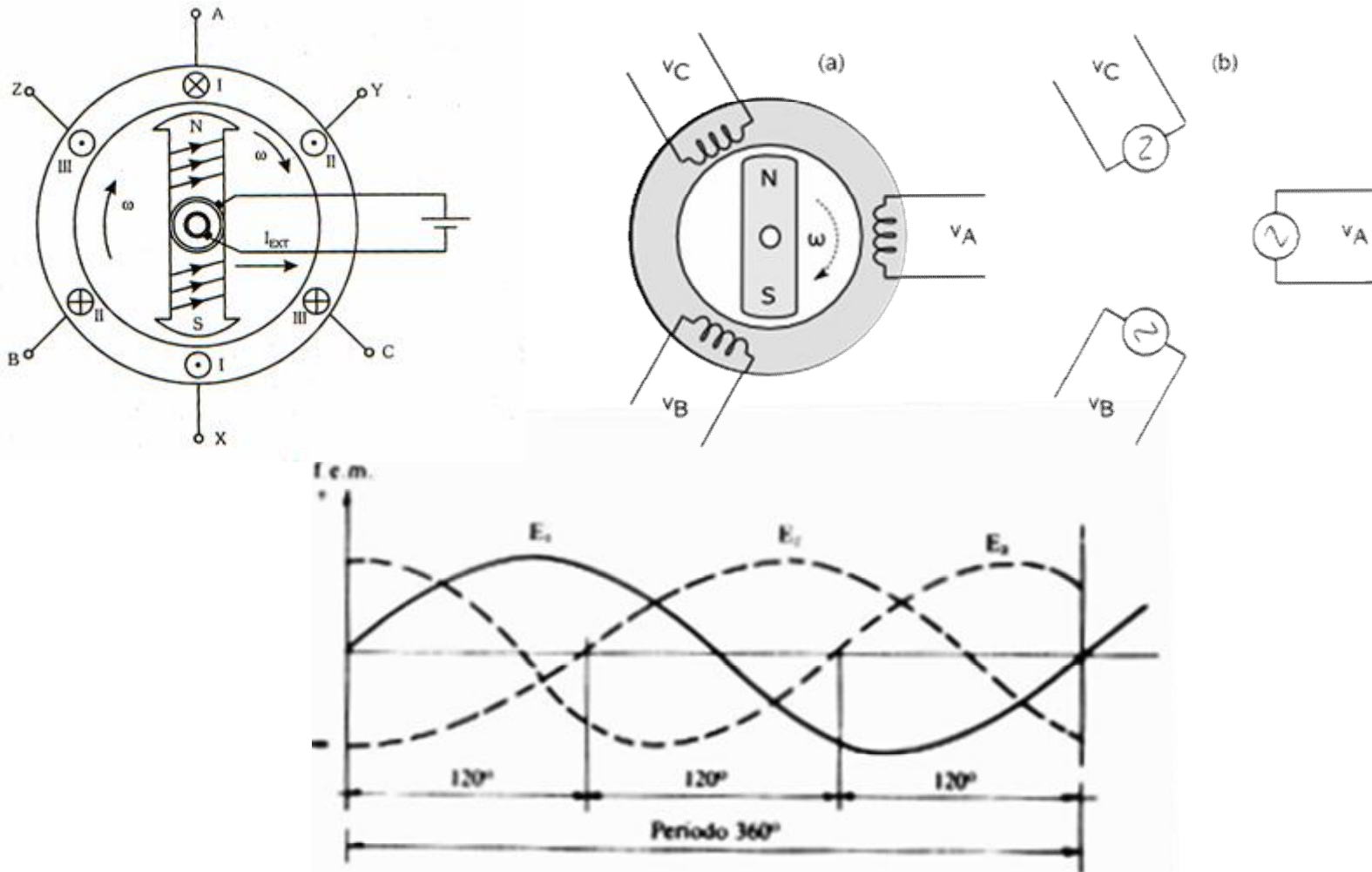


Figura – Gerador trifásico (alternador), corrente alternada, com polos internos

3 Ligação dos terminais

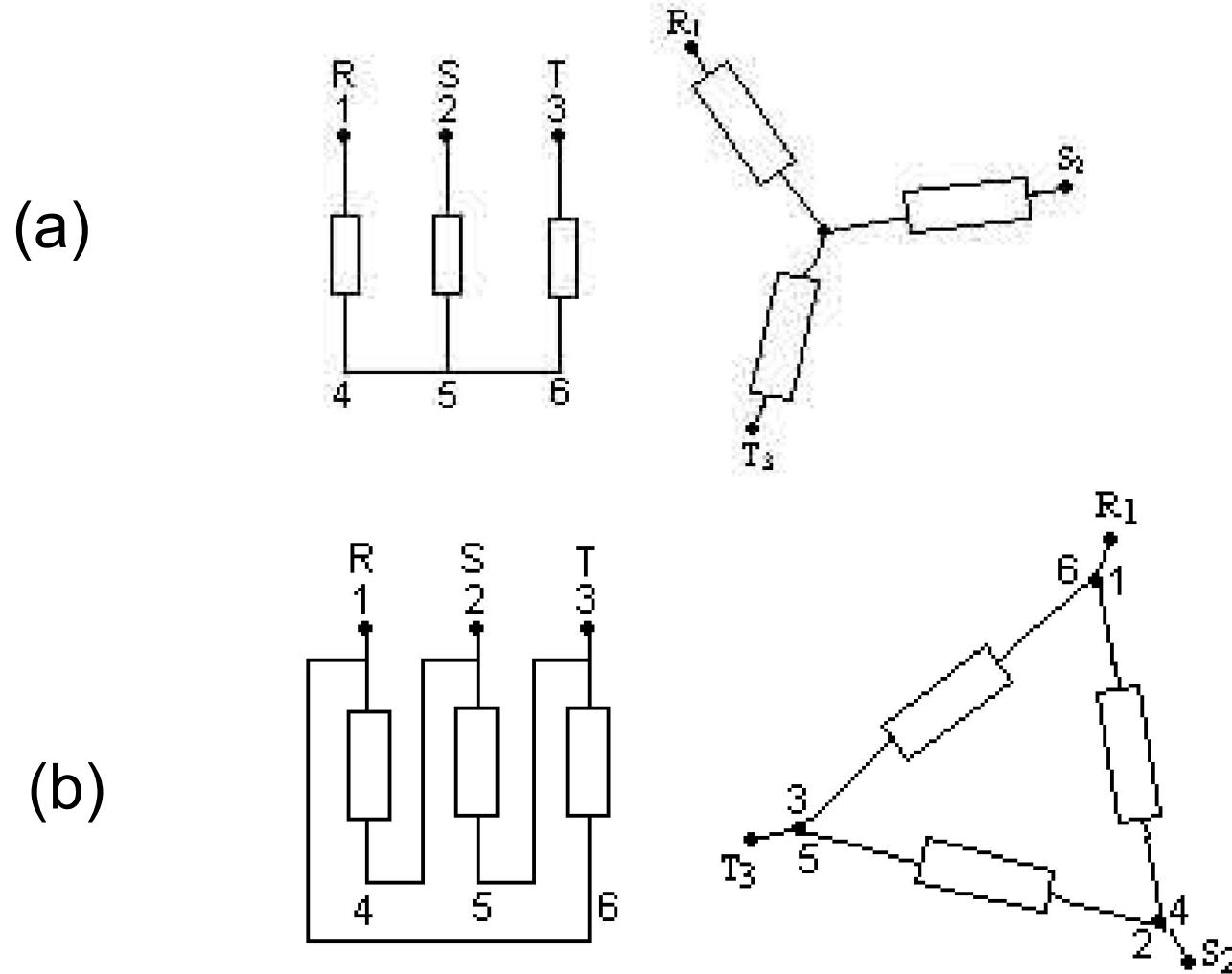


Figura 4.10 – Tipos de ligação dos terminais trifásicos: a) Estrela; e, b) Triângulo.

a) Relação de transformação das ligações em **estrela**

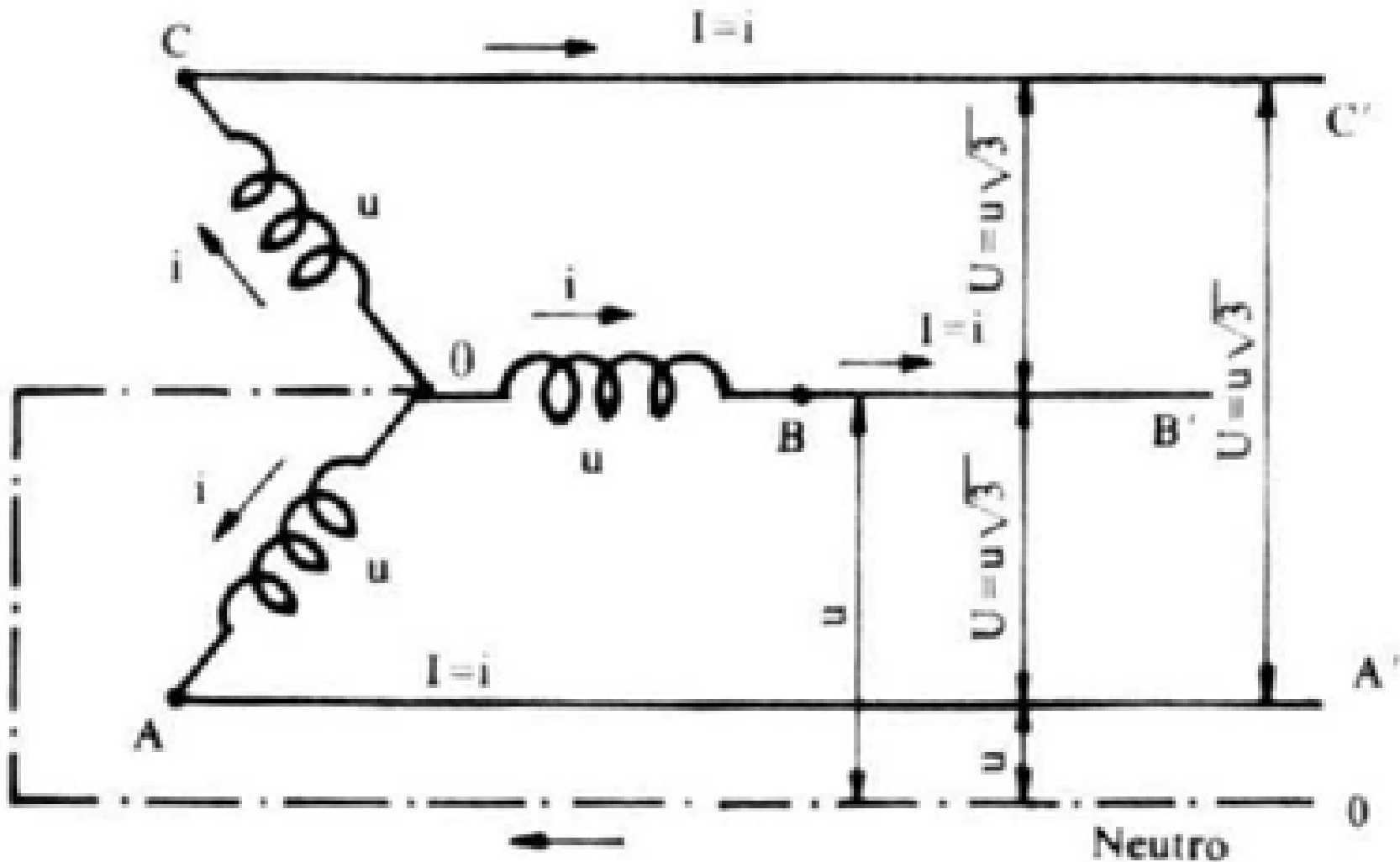


Figura – Tensão e corrente resultante das ligações dos terminais (fase e linha) de um transformador ligado em estrela.

a) Relação de transformação das ligações em **estrela**

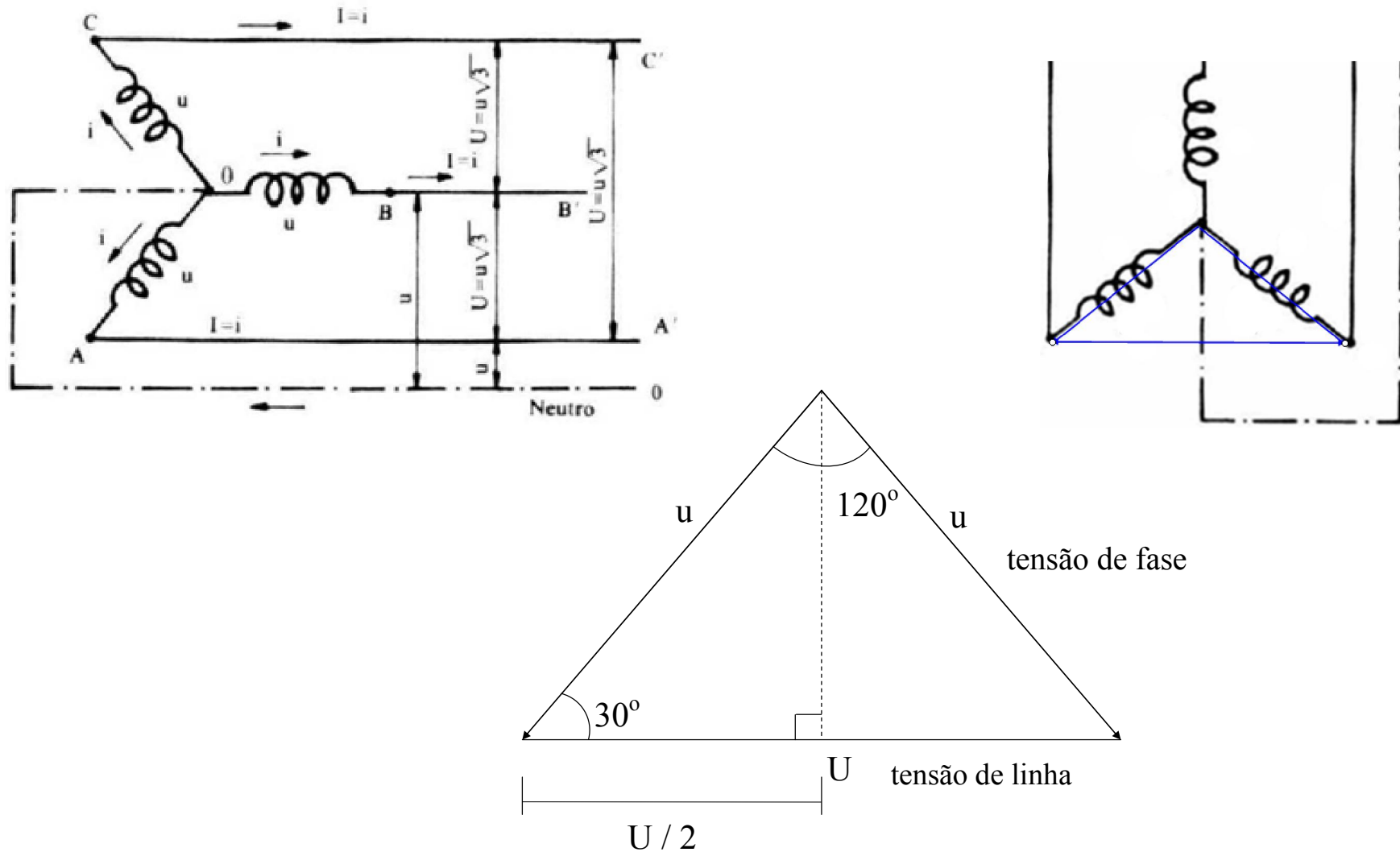
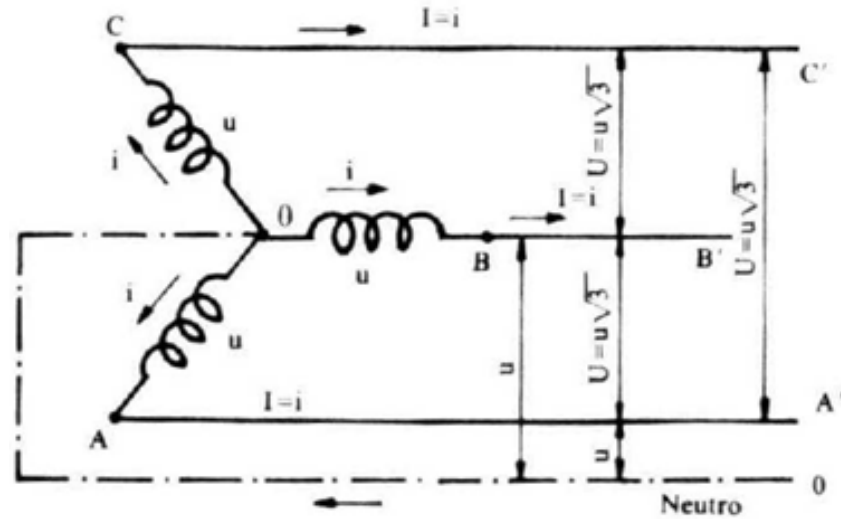
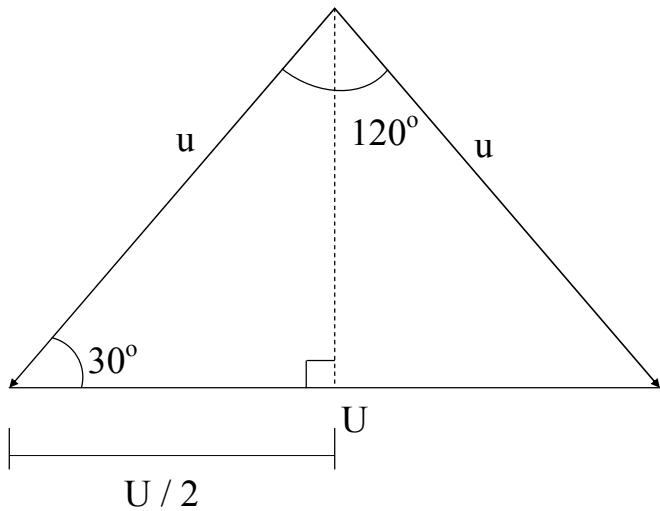


Figura – Tensão e corrente resultante das ligações dos terminais (fase e linha) de um transformador ligado em estrela.

a) Relação de transformação das ligações em **estrela**



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

$$I = i$$

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

b) Relação de transformação das ligações em **triângulo**

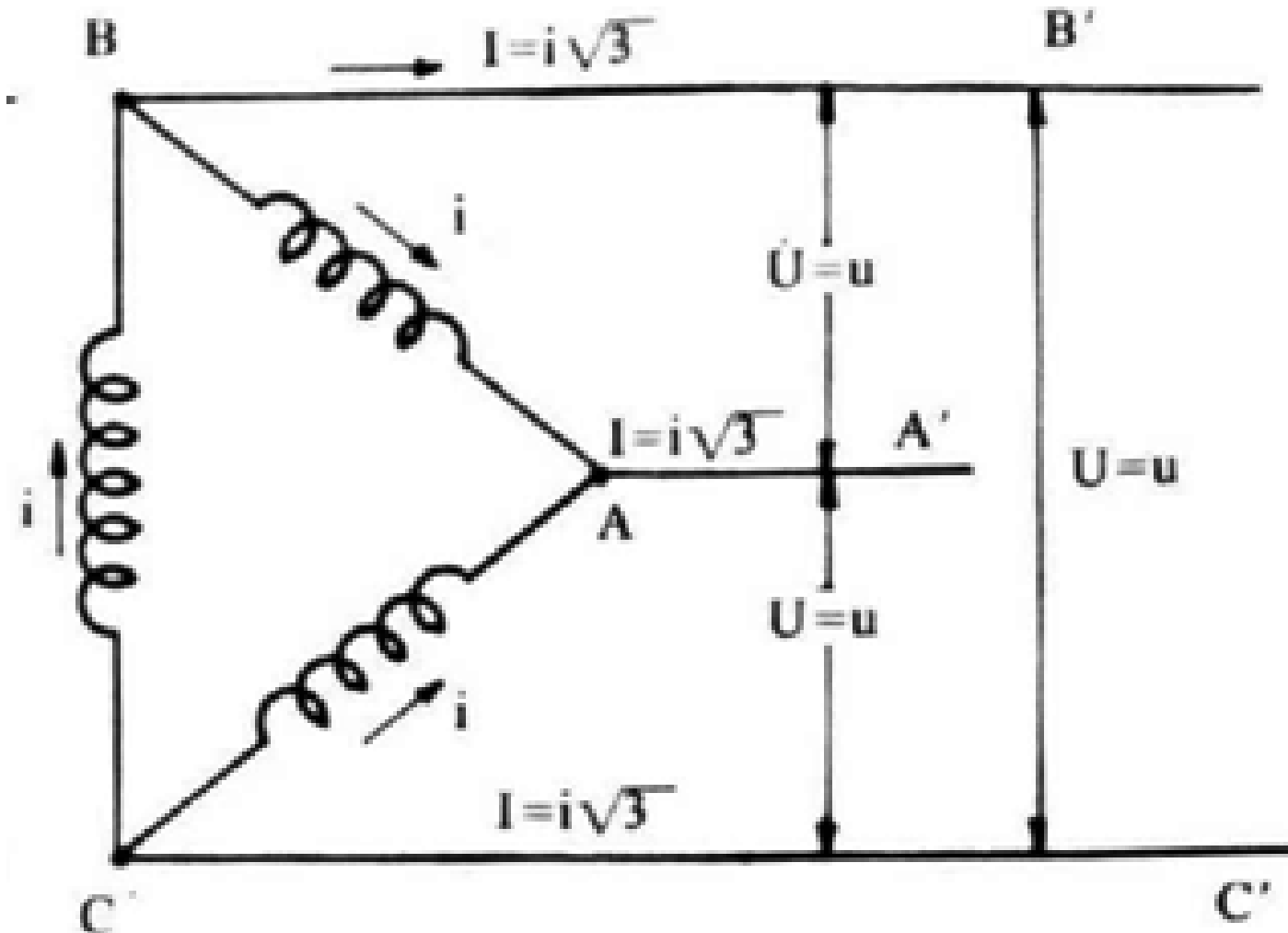
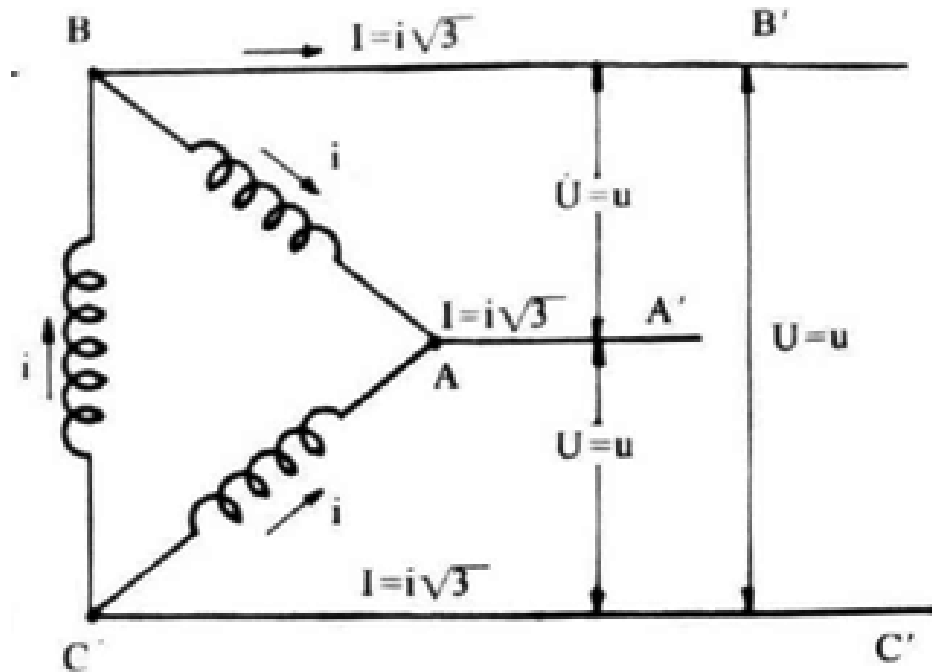


Figura 4.12 – Tensão e corrente resultante das ligações dos terminais (fase e linha) de um transformador ligado em triângulo.

b) Relação de transformação das ligações 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).

3.1 Ligação dos geradores trifásicos

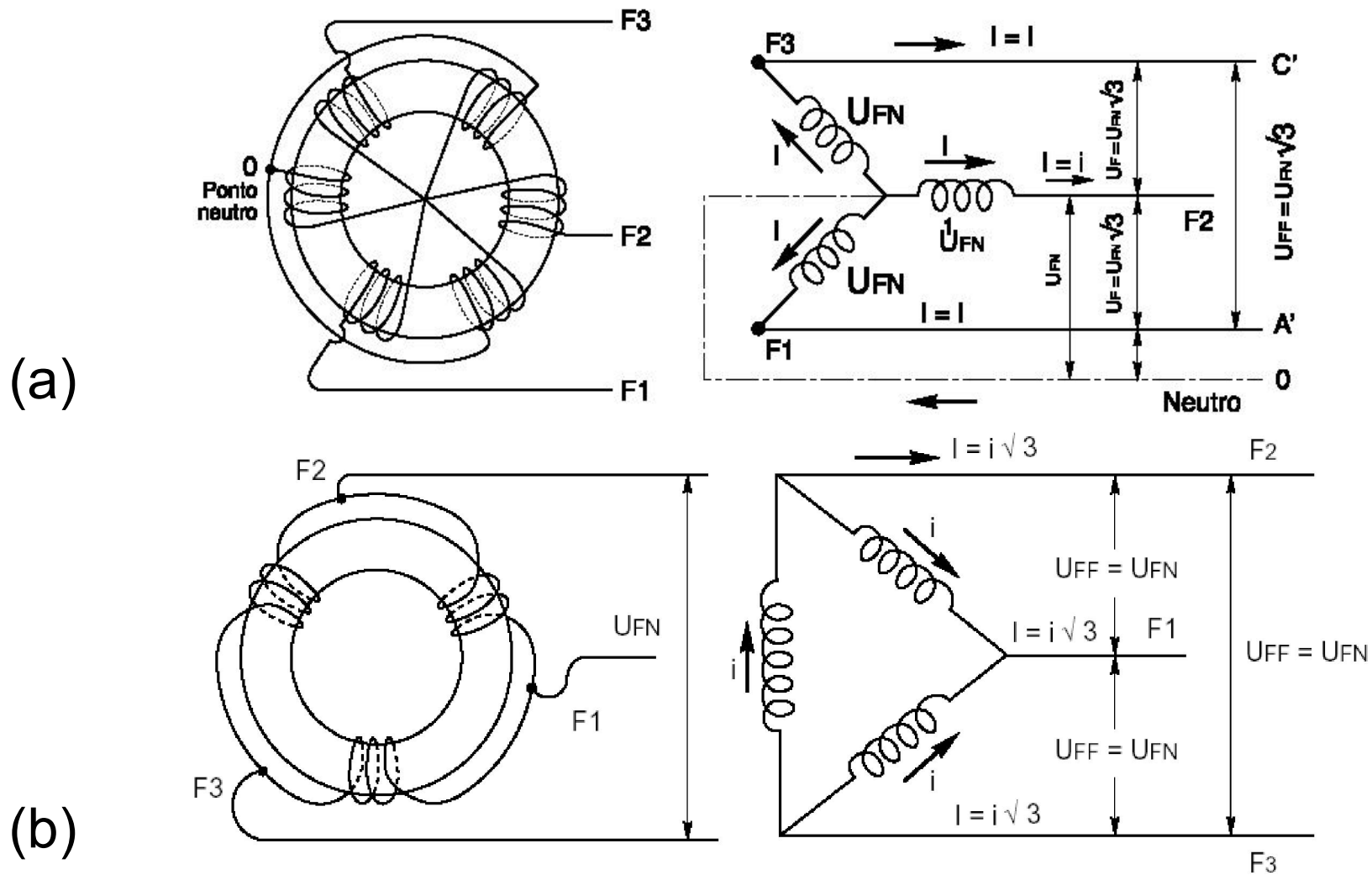


Figura 4.13 – Gerador trifásico, corrente alternada, ligado em: a) Estrela; e, b) Triângulo.

3.1 Ligação dos transformadores

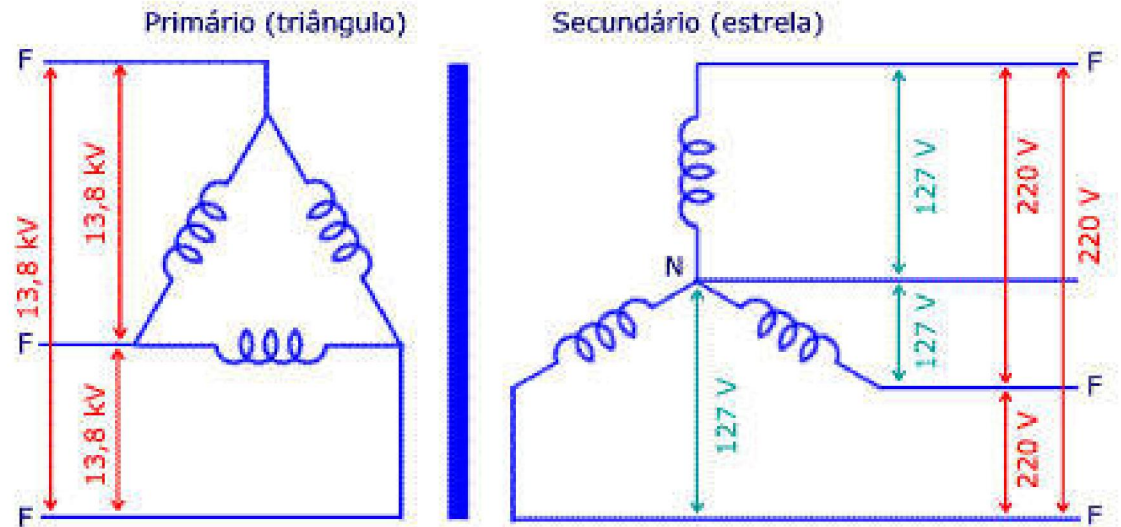
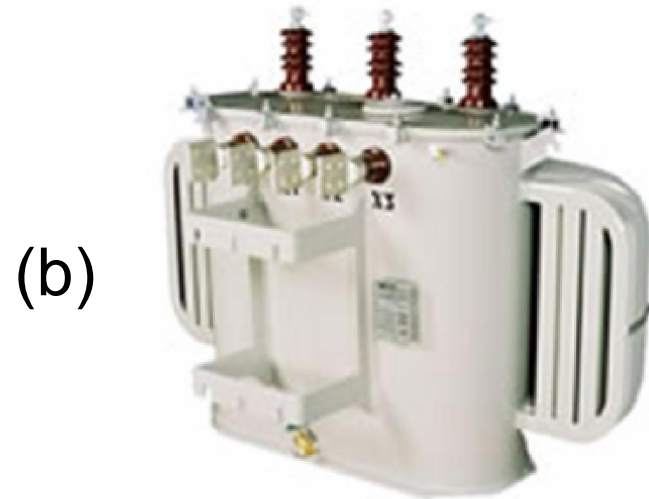
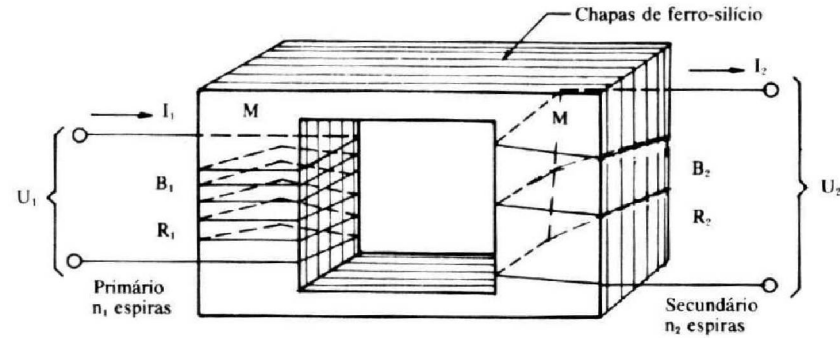


Figura 4.14 – Vista e esquema de ligação dos enrolamentos primário e secundário do transformadores: a) Monofásico; e, b) Trifásico com primário em triângulo e secundário em estrela.

Relação de transformação nos transformadores monofásicos e bifásicos

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

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 enrolamento secundário (A).

Exemplo 4.1 – 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?

a) Tipos de ligação dos terminais dos transformadores trifásicos:

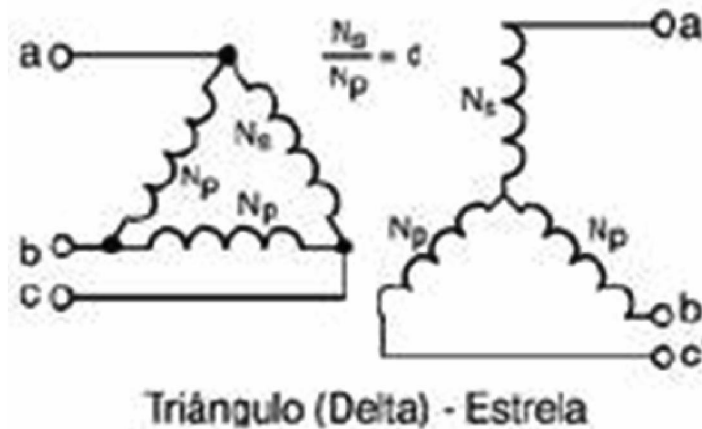
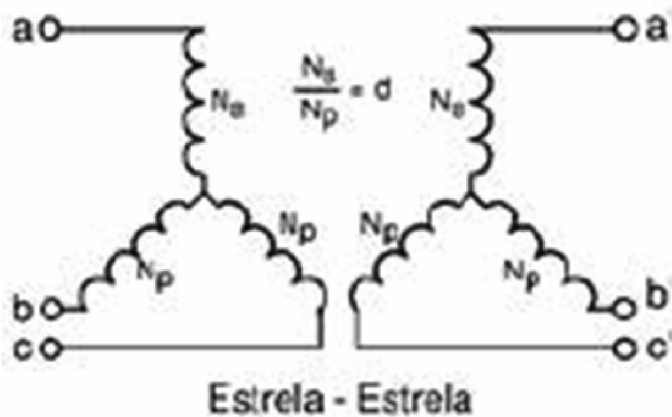
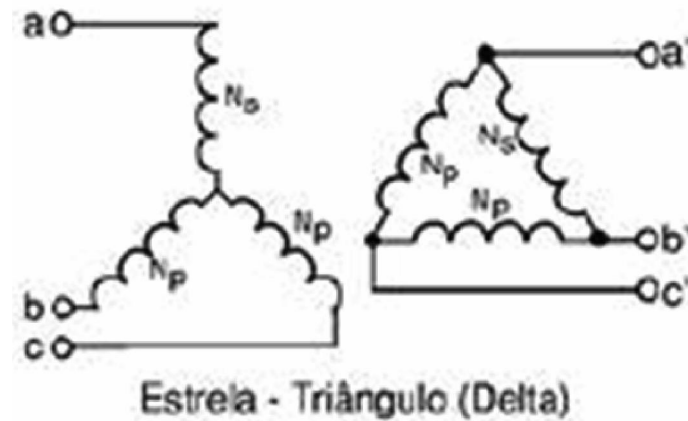
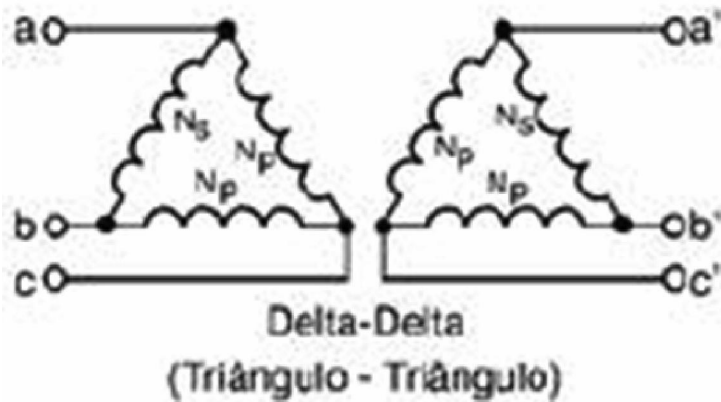


Figura 4.15 – Esquema de ligação dos enrolamentos primário e secundário dos transformadores trifásicos: a) triângulo-triângulo ou delta-delta; b) estrela-triângulo; c) estrela-estrela; e, d) triângulo-estrela

Transformador trifásico com primário ligado em triângulo e secundário ligado em estrela)

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

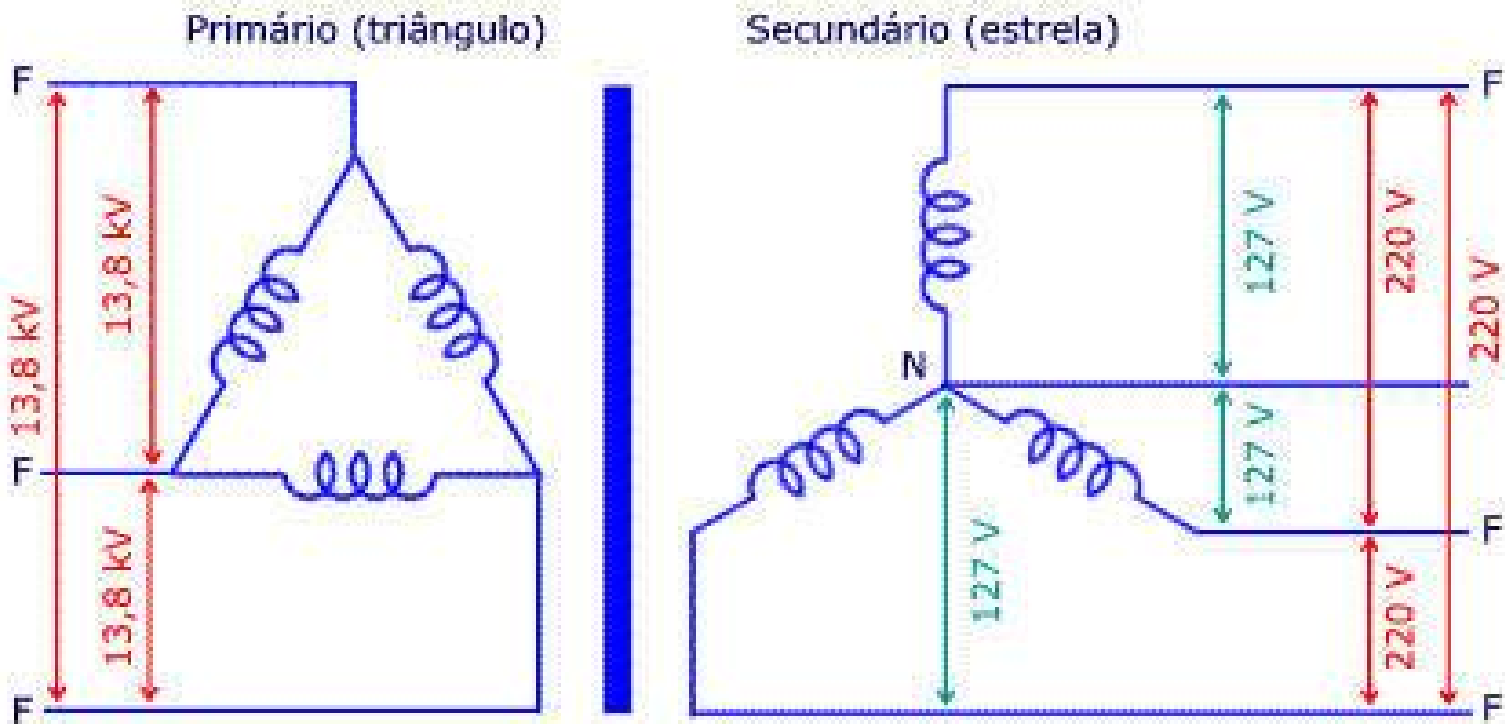


Figura 4.16 – Transformador trifásico tendo a enrolamento primário ligado em triângulo e o secundário em estrela.

3.3 Ligação do gerador e transformador trifásicos

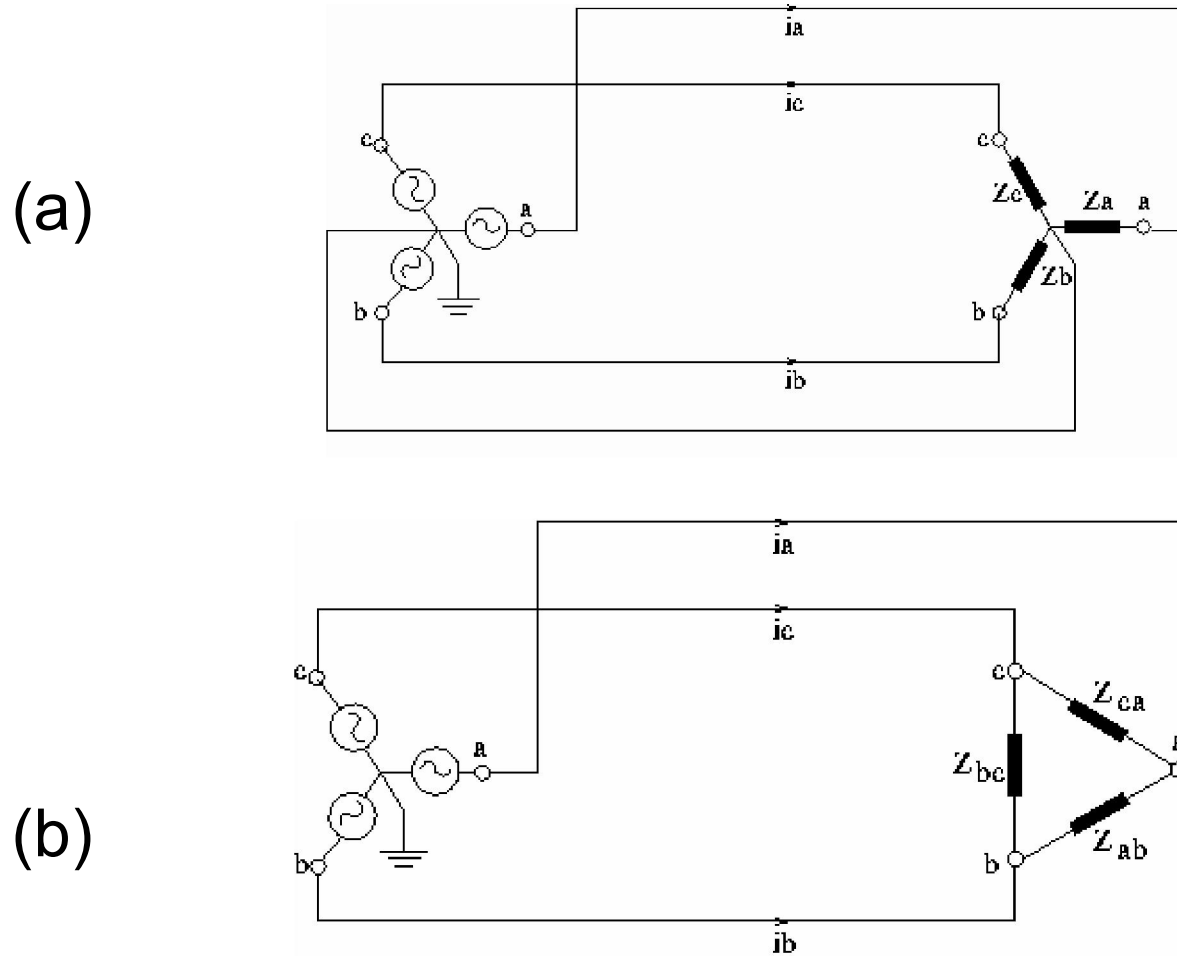


Figura 4.17 – Gerador trifásico, corrente alternada, ligado em estrela com um transformador ligado em: a) Estrela; e, b) Triângulo.

3.4 Ligação de cargas trifásicas

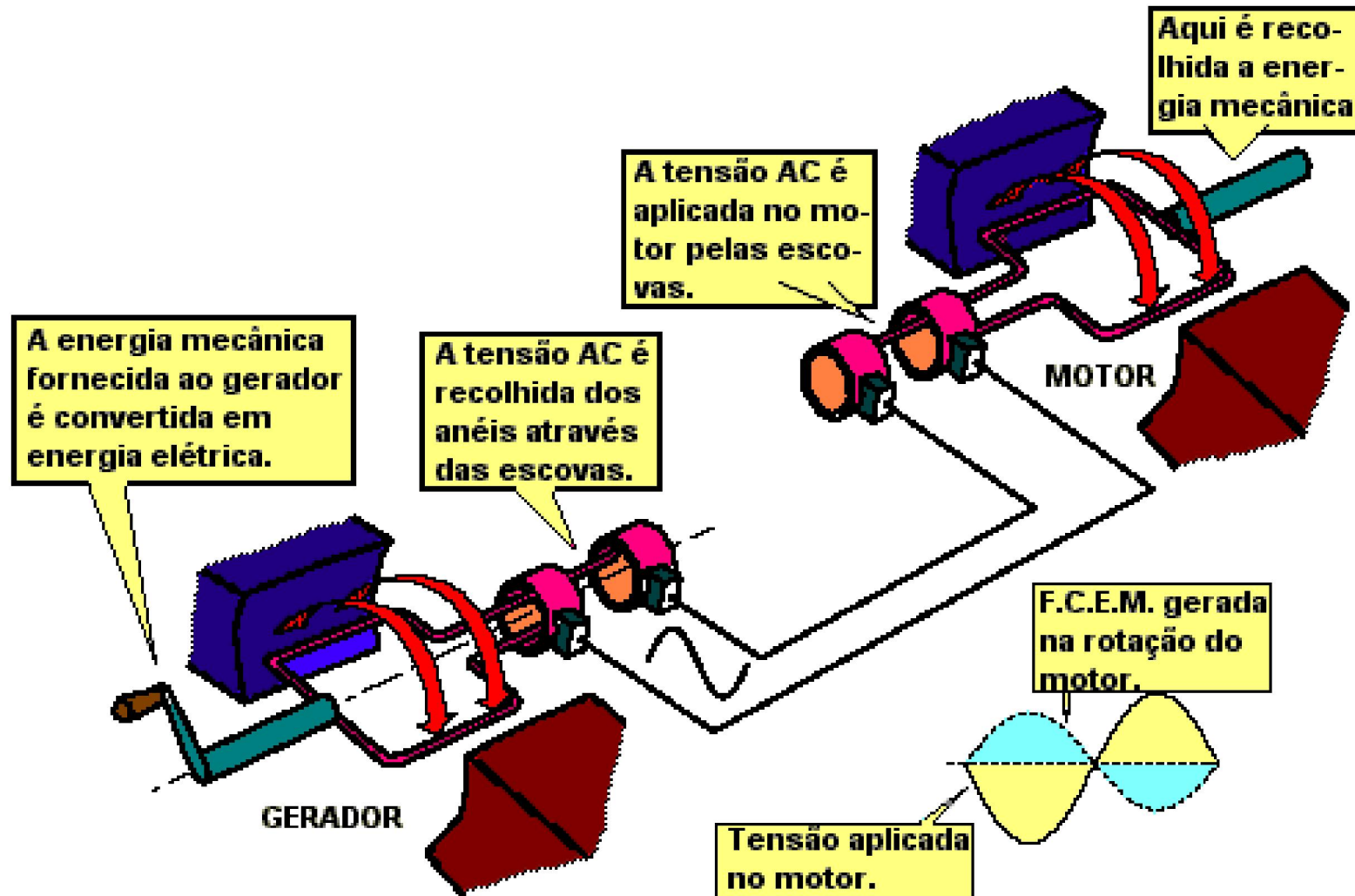


Figura 4.18 – Sistema gerador-motor elementar em corrente alternada.

3.4 Ligação de cargas trifásicas

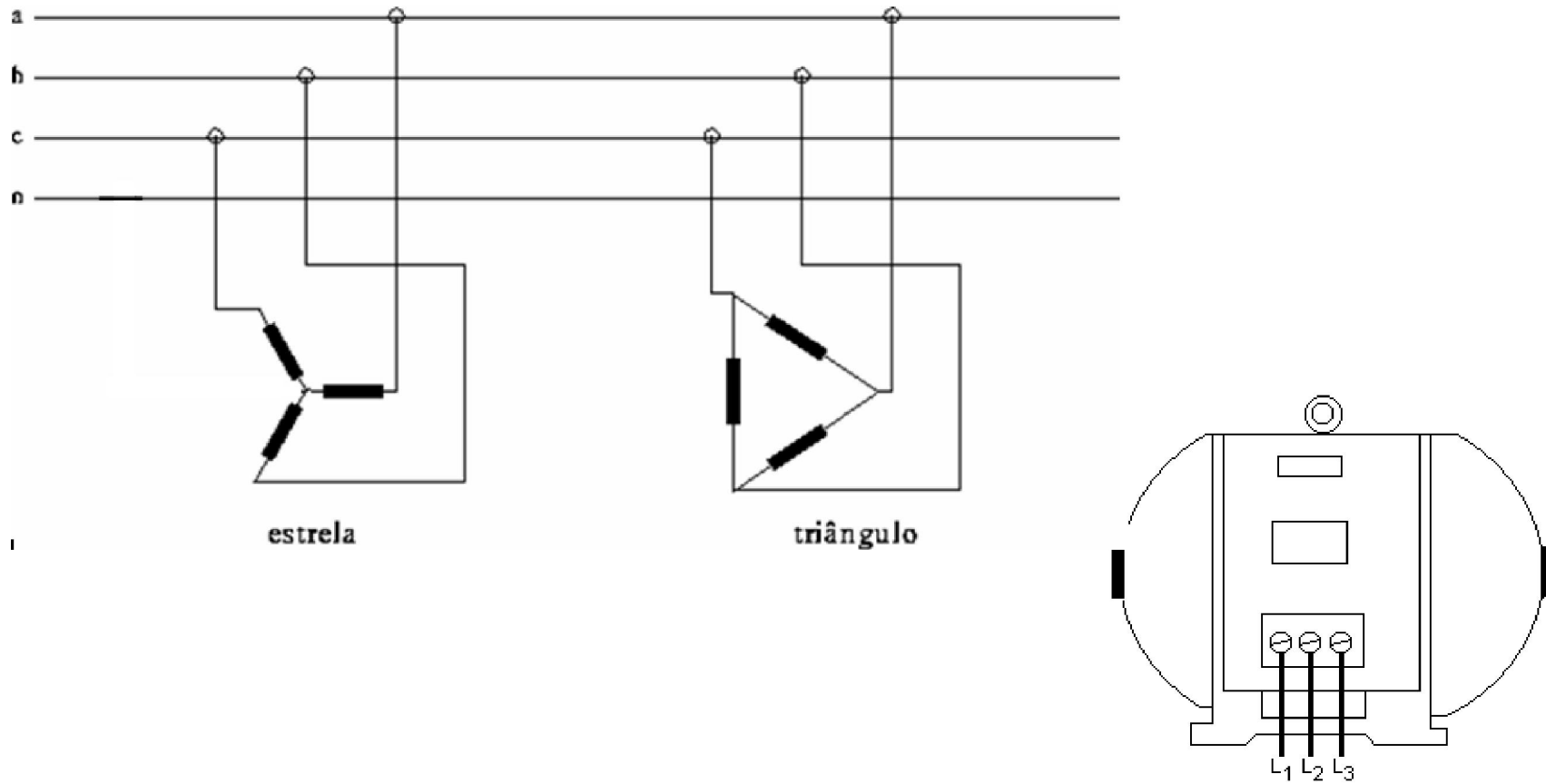


Figura 4.19 – Esquema de ligação de motores elétricos trifásicos em estrela ou triângulo, de um circuito terminal.

3.4 Ligação de cargas trifásicas

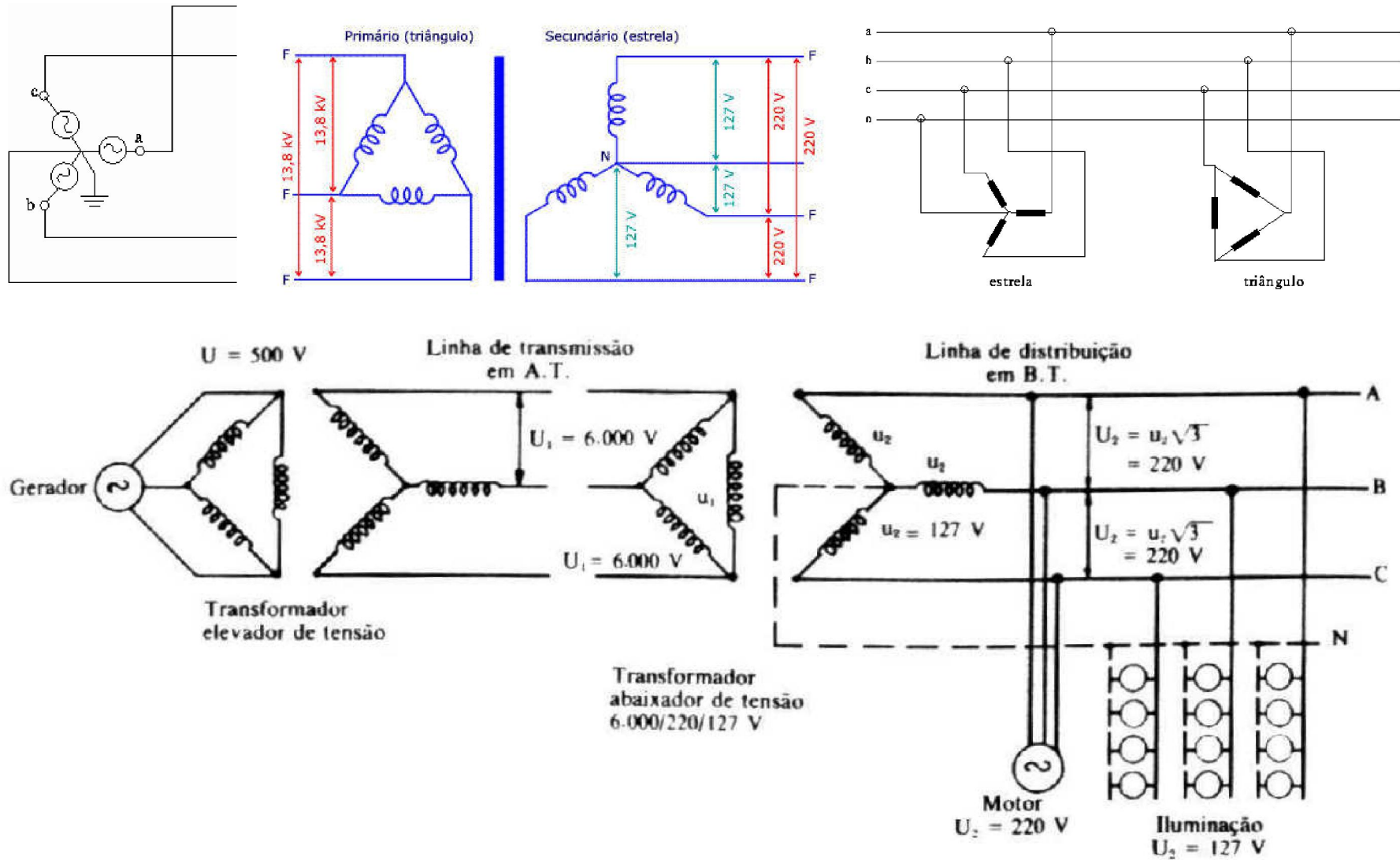


Figura 4.20 – Esquema simplificado de uma rede de distribuição típica, da geração da energia elétrica até a utilização das cargas trifásicas e monofásicas.

3.5 Potência ativa obtida da ligação dos terminais (gerador, transformador ou carga)

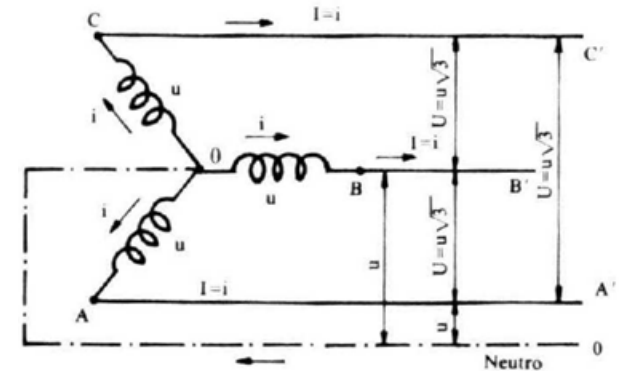
a) Ligação monofásica **Fase-Neutro** (equipamento contendo reatância indutiva ou capacitiva)

$$S_{\text{monofásico}} = u \cdot i$$

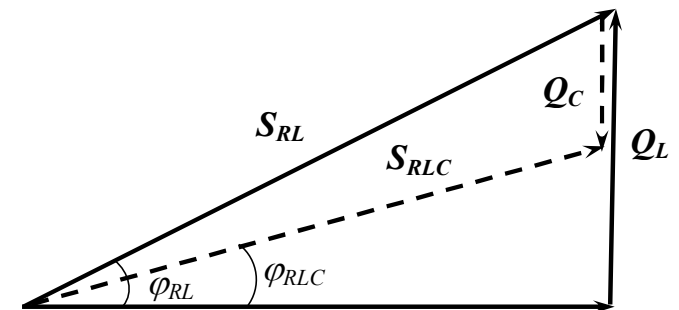
↘ $I = i$

$$\frac{P_a \text{ monofásico}}{\text{COS } \varphi} = u \cdot i$$

$$P_a \text{ monofásico} = u \cdot i \cdot \text{COS } \varphi$$



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



$$\text{COS } \varphi = \frac{P_a}{S}$$

3.5 Potência ativa obtida da ligação dos terminais (gerador, transformador ou carga)

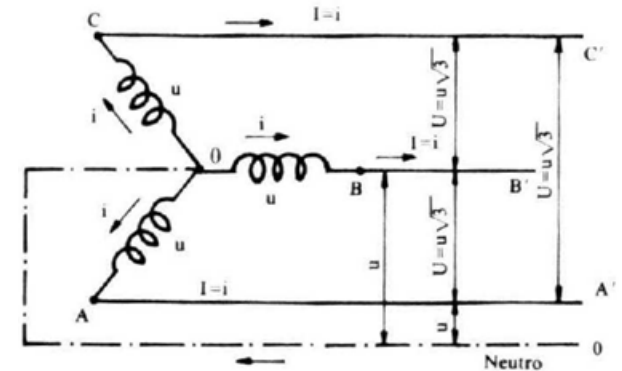
b) Ligação bifásica **Fase-Fase** (equipamento contendo reatância indutiva ou capacitiva)

$$S_{\text{monofásico}} = U \cdot i$$

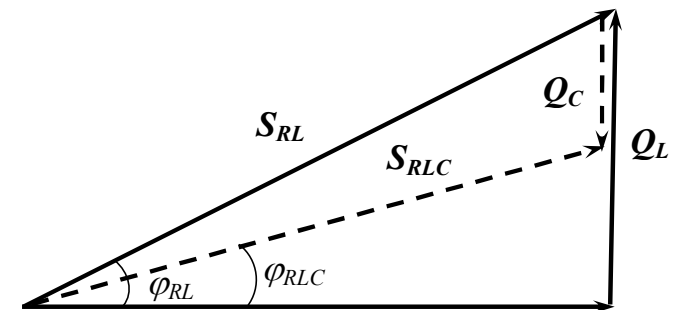
$\nearrow I = i$
 $\searrow U = \sqrt{3} \cdot u$

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

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



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



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

3.5 Potência ativa obtida da ligação dos terminais (gerador, transformador ou carga)

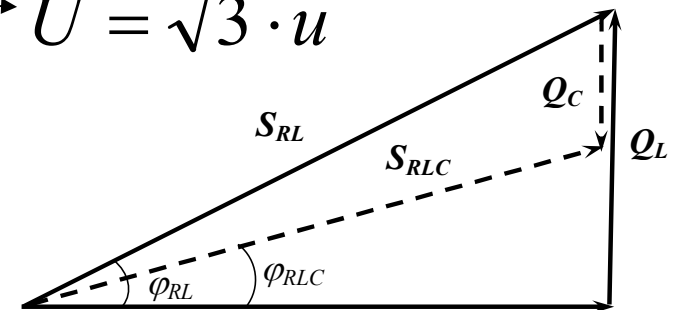
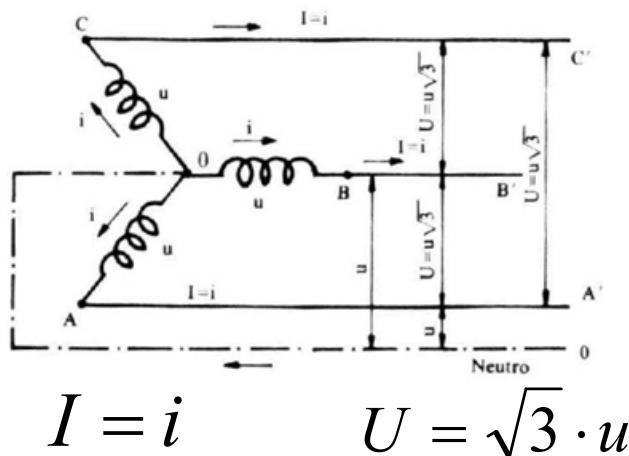
c) Ligação trifásica **Fase-Fase-Fase** (equipamento contendo reatância indutiva ou capacitiva)

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

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

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

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



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

4 CONJUNTO TURBINA-GERADOR

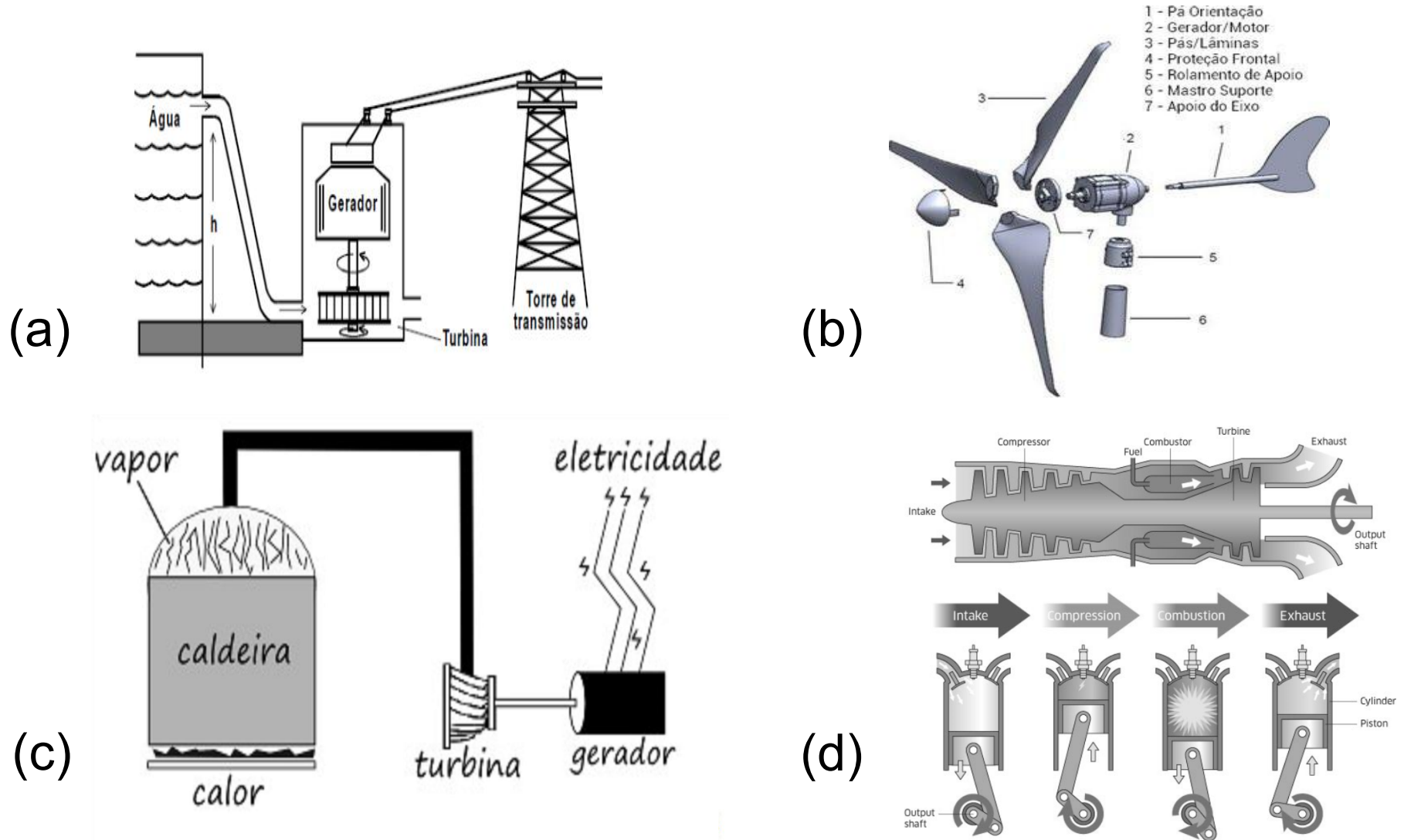


Figura 4.21 – Conjuntos turbina-gerador: a) Hidráulica; b) Eólica; c) Vapor; e, d) Combustão ou gás.

4 CONJUNTO TURBINA-GERADOR

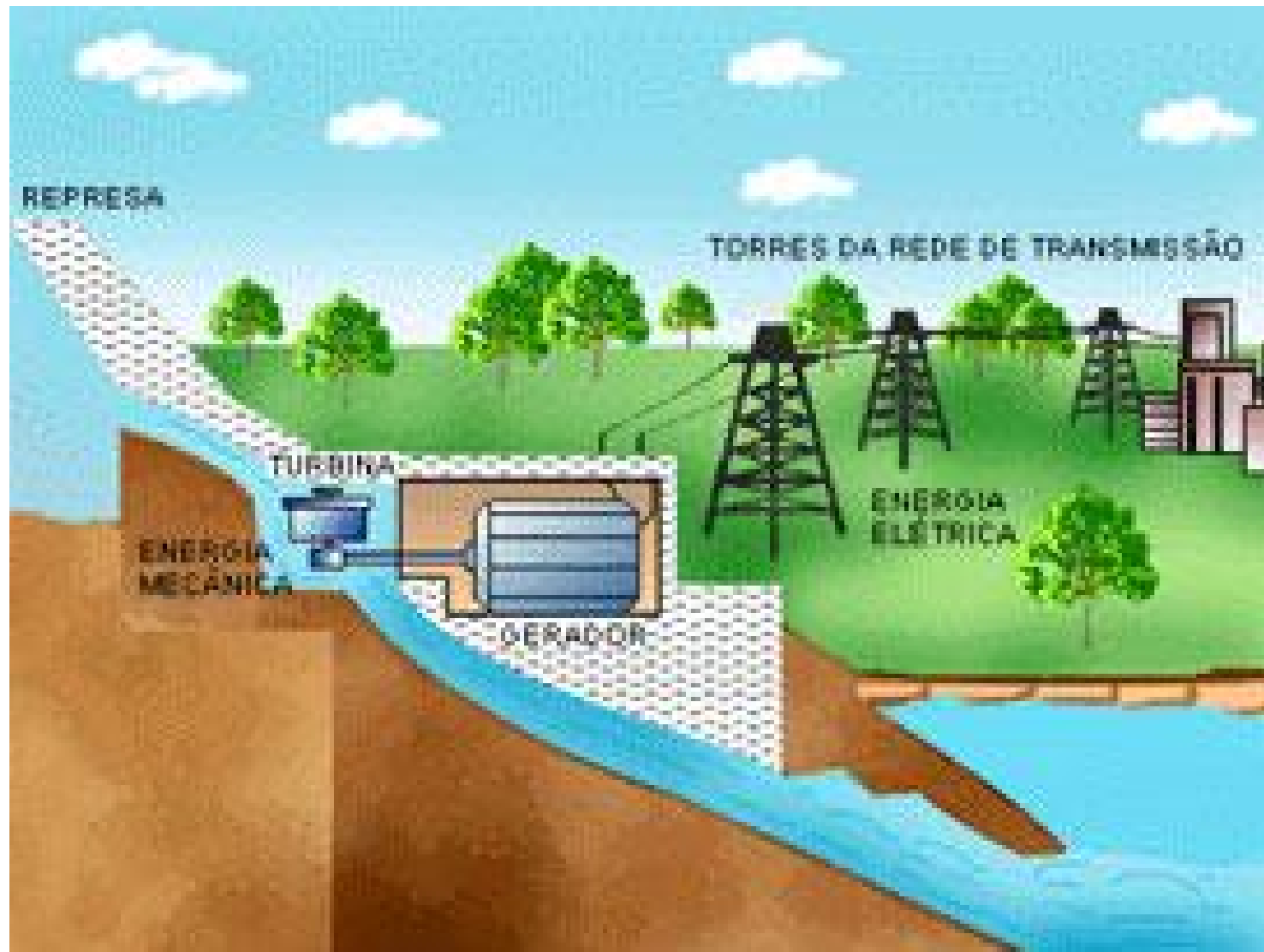


Figura – Geração de energia em uma hidrelétrica.

4 CONJUNTO TURBINA-GERADOR

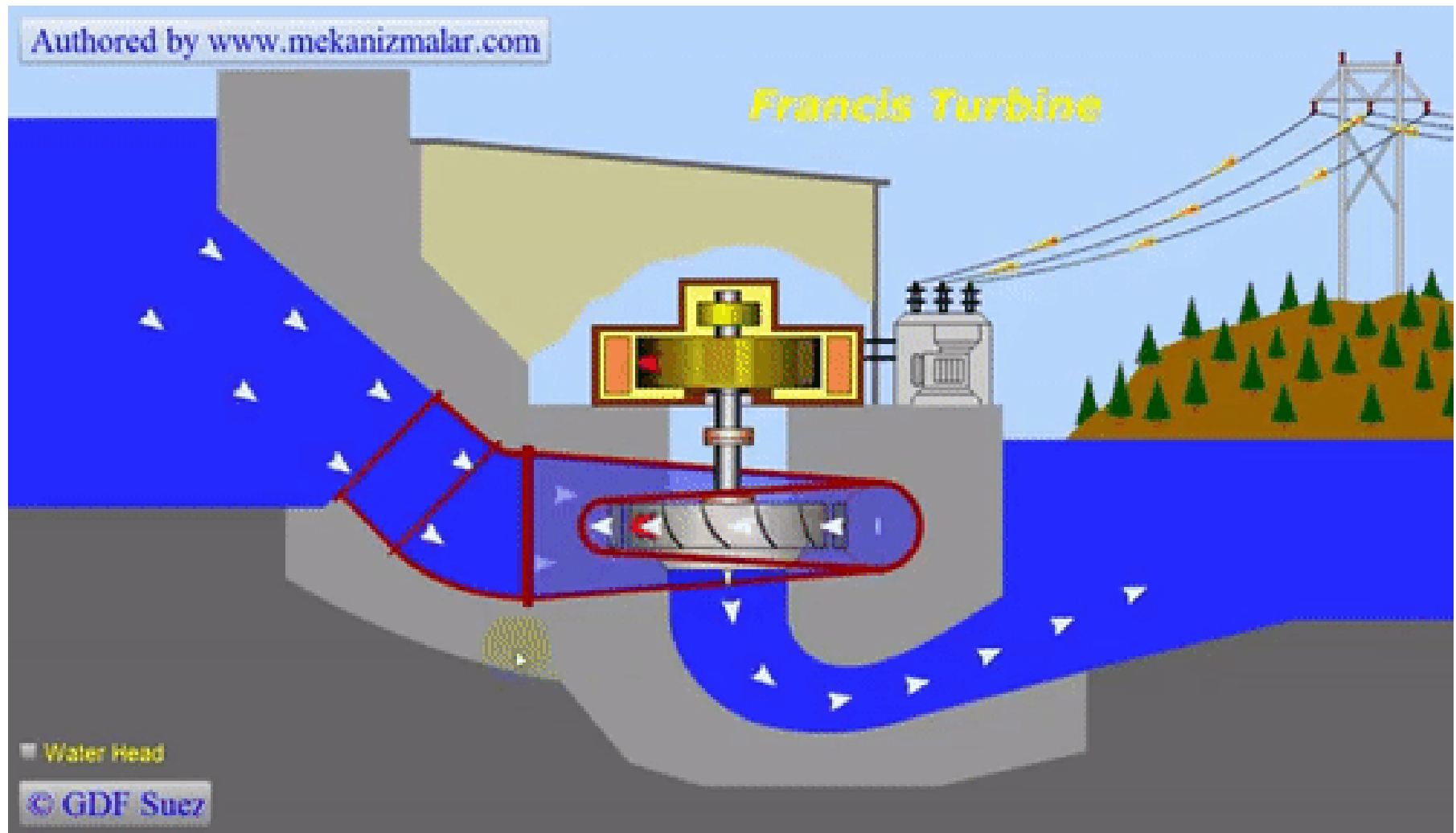


Figura – Geração de energia em uma hidrelétrica.

4 CONJUNTO TURBINA-GERADOR

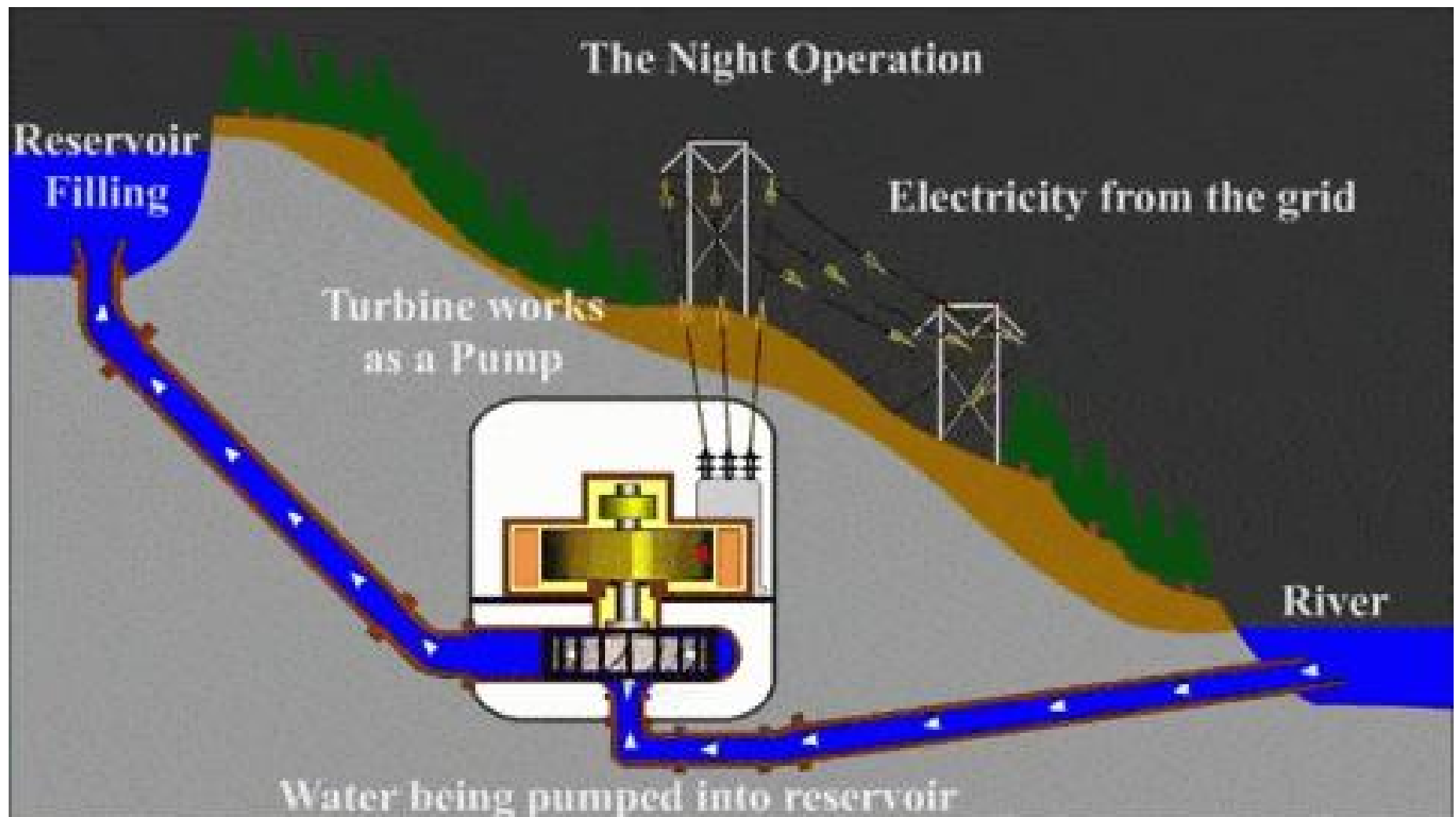


Figura – Geração de energia em uma hidrelétrica.

4 CONJUNTO TURBINA-GERADOR

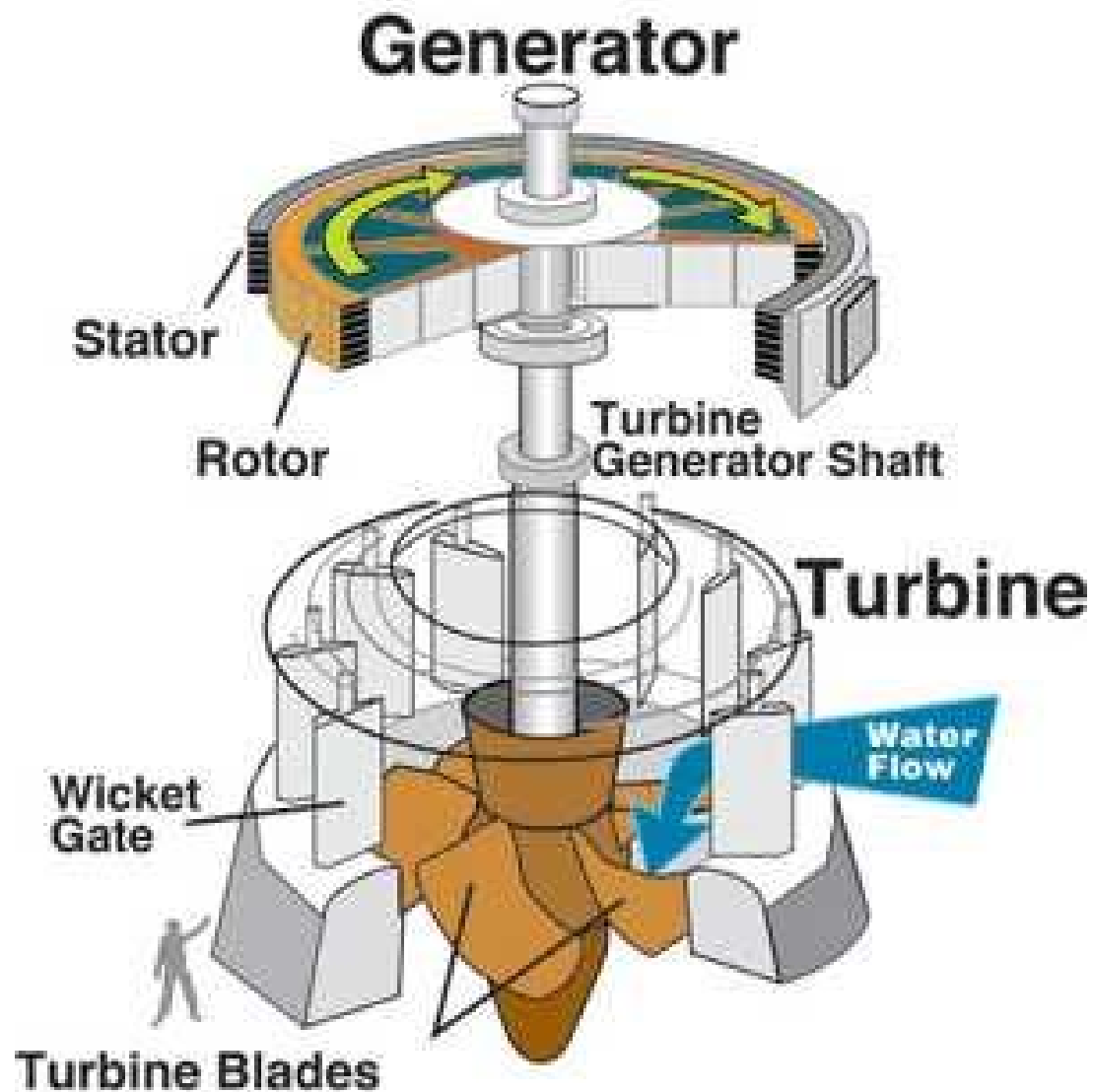


Figura – Gerador de energia e turbina em uma hidrelétrica.

4 CONJUNTO TURBINA-GERADOR



Figura – Gerador de energia em uma hidrelétrica.

4 CONJUNTO TURBINA-GERADOR

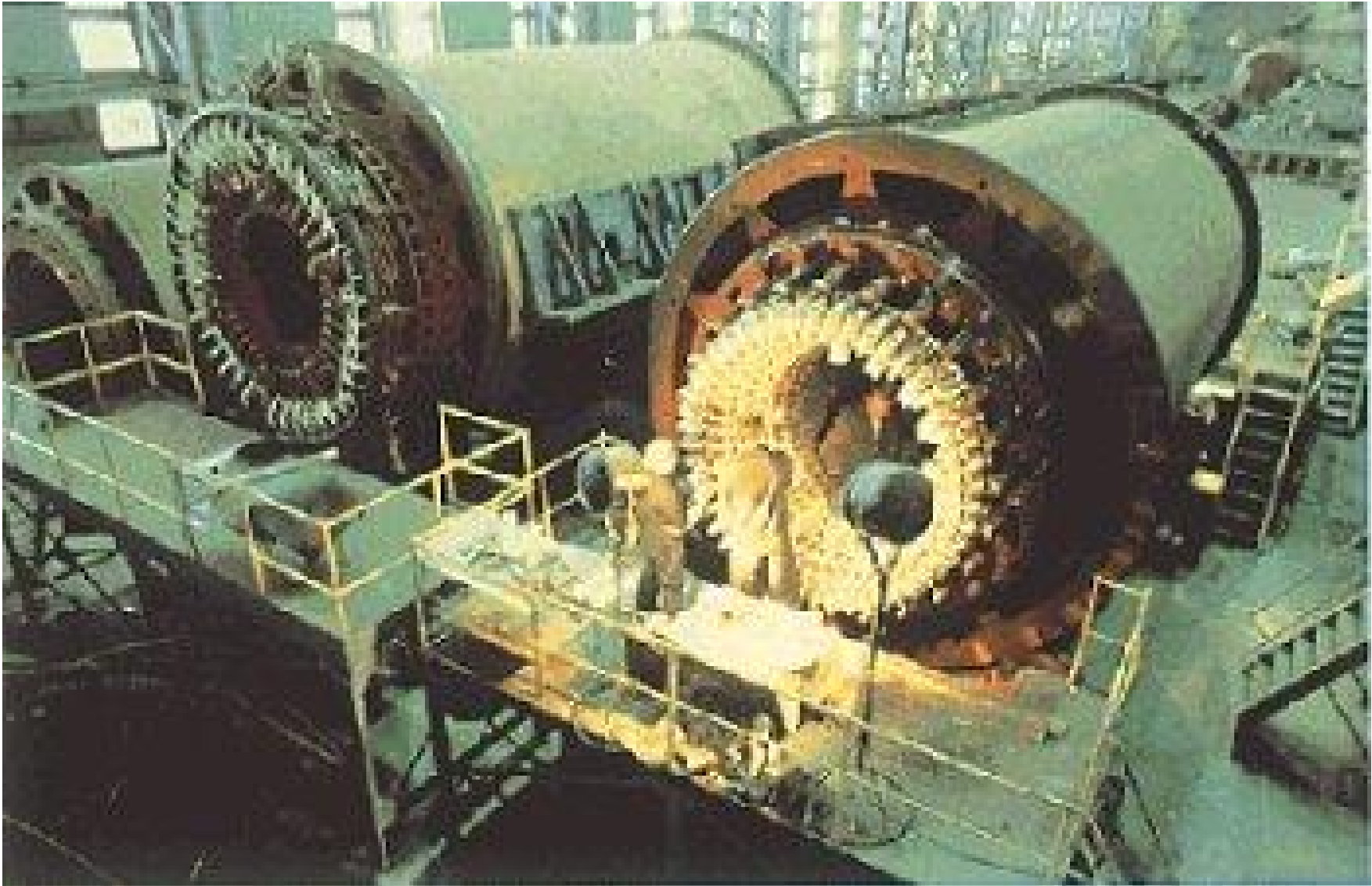


Figura – Linha de montagem de geradores industriais.

4 CONJUNTO TURBINA-GERADOR

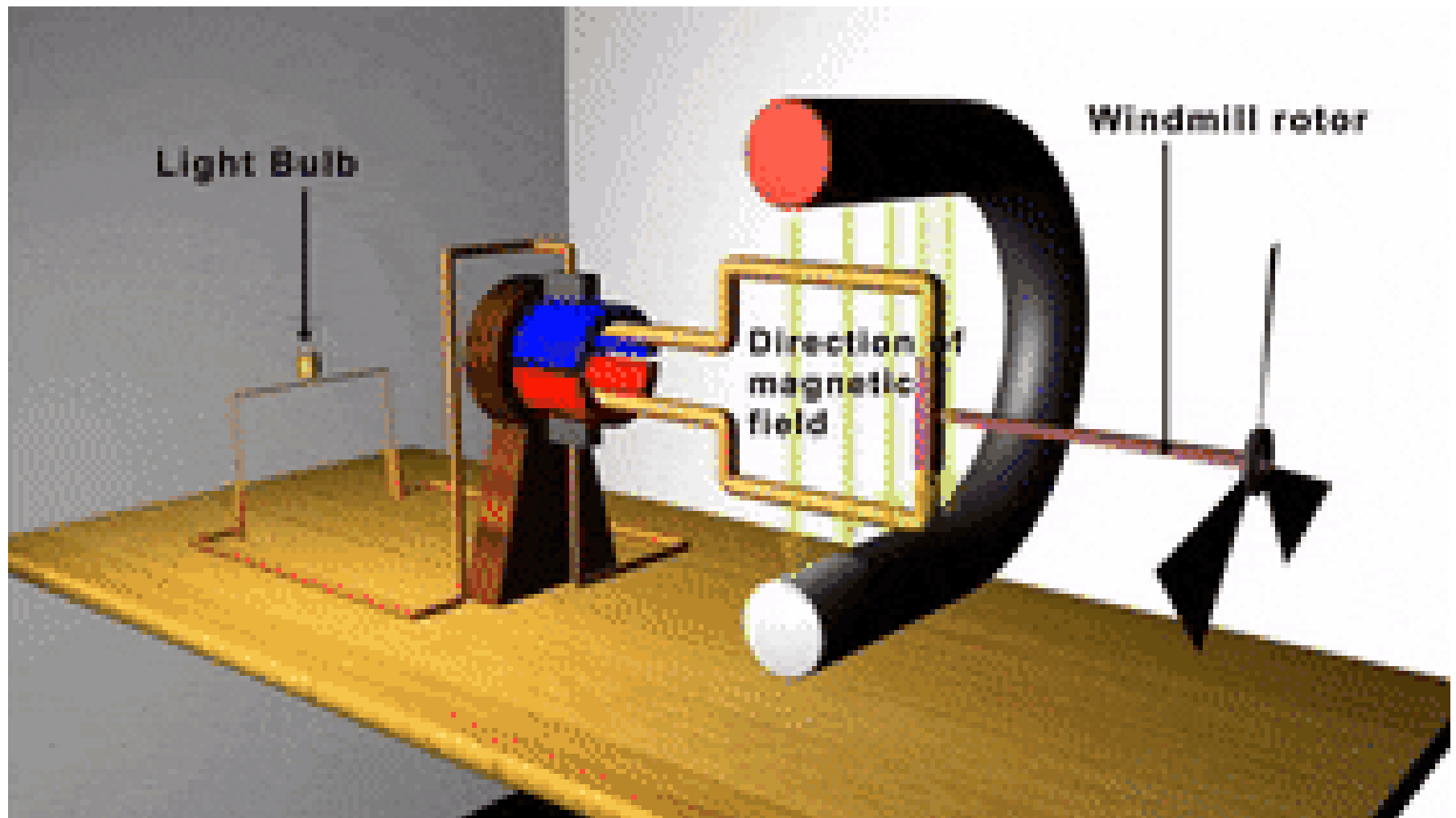


Figura – Gerador de energia eólica.

5 Motor a Combustão

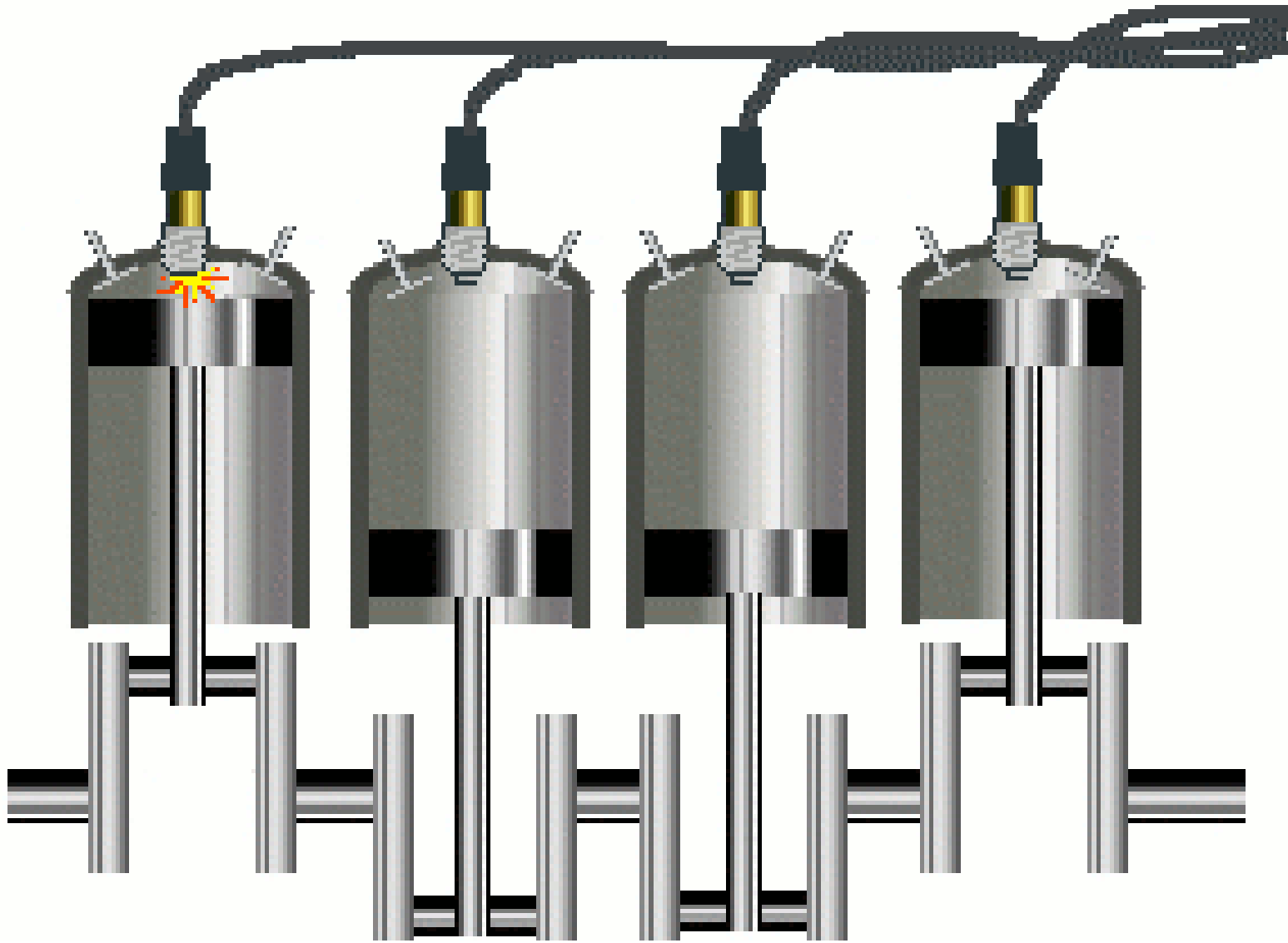


Figura – Motor a combustão.

5 REFERÊNCIAS

ANZENHOFER, K.; HEIM, T.; SCHULTHEISS, A.; WEBER, W. **Eletrotécnica para escolas profissionais**. 3º ed. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1980.127p.

NISKIER, J.; MACINTYRE, A.J. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora. 1996. 530p.

SOUZA, J. M. L. Conceitos básicos de energia e eletricidade voltados às instalações elétricas (apresentação). Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2019. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/U02_conceitos_basico_de_eletricidade_voltados_as_instalacoes_eletricas.pdf> Acesso em 13/02/2019.

SOUZA, J. L. M. **Manual de eletrificação rural**. Curitiba: Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 1997. 109p. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes.htm#5manual_didatico> Acesso em 13/02/2019 .

FIM