

The logo for BR (Brasão de Refino) consists of the letters 'BR' in a bold, white, sans-serif font, centered within a green square. Above the green square is a yellow horizontal bar.

***CURSO DE FORMAÇÃO DE OPERADORES DE REFINARIA***

***FÍSICA APLICADA  
ELETRICIDADE BÁSICA***

The logo for UNICENP (Centro Universitário Positivo) features the name 'UNICENP' in a blue, serif font with a stylized wave graphic above the letters. Below the name, the text 'CENTRO UNIVERSITÁRIO POSITIVO' is written in a smaller, blue, sans-serif font.

**UNICENP**  
CENTRO UNIVERSITÁRIO POSITIVO



# *FÍSICA APLICADA*

## *ELETRICIDADE BÁSICA* *NESTOR CORTEZ SAAVEDRA FILHO*

**EQUIPE PETROBRAS**

**Petrobras / Abastecimento**

**UN'S: REPAR, REGAP, REPLAN, REFAP, RPBC, RECAP, SIX, REVAP**

CURITIBA  
2002



**Disciplina**  
Física Aplicada

**Módulo**  
Eletricidade Básica

**Ficha Técnica**

**Contatos com a Equipe da Repar:**

Refinaria Presidente Getúlio Vargas – Repar  
Rodovia do Xisto (BR 476) – Km16  
83700-970 Araucária – Paraná

**Mario Newton Coelho Reis**

(Coordenador Geral)

Tel.: (41) 641 2846 – Fax: (41) 643 2717

e-mail: marioreis@petrobras.com.br

**Uzias Alves**

(Coordenador Técnico)

Tel.: (41) 641 2301

e-mail: uzias@petrobras.com.br

**Décio Luiz Rogal**

Tel.: (41) 641 2295

e-mail: rogal@petrobras.com.br

**Ledy Aparecida Carvalho Stegg da Silva**

Tel.: (41) 641 2433

e-mail: ledyc@petrobras.com.br

**Adair Martins**

Tel.: (41) 641 2433

e-mail: adair@petrobras.com.br

**UnicenP – Centro Universitário Positivo**

**Oriovisto Guimarães**

(Reitor)

**José Pio Martins**

(Vice Reitor)

**Aldir Amadori**

(Pró-Reitor Administrativo)

**Elisa Dalla-Bona**

(Pró-Reitora Acadêmica)

**Maria Helena da Silveira Maciel**

(Pró-Reitora de Planejamento e Avaliação  
Institucional)

**Luiz Hamilton Berton**

(Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa)

**Fani Schiffer Durães**

(Pró-Reitora de Pós-Graduação e Pesquisa)

**Euclides Marchi**

(Diretor do Núcleo de Ciências Humanas e  
Sociais Aplicadas)

**Helena Leomir de Souza Bartnik**

(Coordenadora do Curso de Pedagogia)

**Marcos José Tozzi**

(Diretor do Núcleo de Ciências Exatas e  
Tecnologias)

**Antonio Razera Neto**

(Coordenador do Curso de Desenho Industrial)

**Maurício Dzedzic**

(Coordenador do Curso de Engenharia Civil)

**Júlio César Nitsch**

(Coordenador do Curso de Eletrônica)

**Marcos Roberto Rodacoski**

(Coordenador do Curso de Engenharia  
Mecânica)

**Nestor Cortez Saavedra Filho**

(Autor)

**Marcos Cordioli**

(Coordenador Geral do Projeto)

**Iran Gaio Junior**

(Coordenação Ilustração, Fotografia e  
Diagramação)

**Carina Bárbara R. de Oliveira**

**Juliana Claciane dos Santos**

(Coordenação de Elaboração dos Módulos  
Instrucionais)

**Érica Vanessa Martins**

**Iran Gaio Junior**

**Josilena Pires da Silveira**

(Coordenação dos Planos de Aula)

**Luana Priscila Wunsch**

(Coordenação Kit Aula)

**Carina Bárbara R. de Oliveira**

**Juliana Claciane dos Santos**

(Coordenação Administrativa)

**Claudio Roberto Paitra**

**Marline Meurer Paitra**

(Diagramação)

**Marcelo Gamaballi Schultz**

**Pedro de Helena Arcoverde Carvalho**

(Ilustração)

**Cíntia Mara R. Oliveira**

(Revisão Ortográfica)

**Contatos com a equipe do UnicenP:**

Centro Universitário do Positivo – UnicenP

Pró-Reitoria de Extensão

Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza 5300

81280-320 Curitiba PR

Tel.: (41) 317 3093

Fax: (41) 317 3982

Home Page: [www.unicenp.br](http://www.unicenp.br)

e-mail: [mcordioli@unicenp.br](mailto:mcordioli@unicenp.br)

e-mail: [extensao@unicenp.br](mailto:extensao@unicenp.br)

## **Apresentação**

*É com grande prazer que a equipe da Petrobras recebe você.*

*Para continuarmos buscando excelência em resultados, diferenciação em serviços e competência tecnológica, precisamos de você e de seu perfil empreendedor.*

*Este projeto foi realizado pela parceria estabelecida entre o Centro Universitário Positivo (UnicenP) e a Petrobras, representada pela UN-Repar, buscando a construção dos materiais pedagógicos que auxiliarão os Cursos de Formação de Operadores de Refinaria. Estes materiais – módulos didáticos, slides de apresentação, planos de aula, gabaritos de atividades – procuram integrar os saberes técnico-práticos dos operadores com as teorias; desta forma não podem ser tomados como algo pronto e definitivo, mas sim, como um processo contínuo e permanente de aprimoramento, caracterizado pela flexibilidade exigida pelo porte e diversidade das unidades da Petrobras.*

*Contamos, portanto, com a sua disposição para buscar outras fontes, colocar questões aos instrutores e à turma, enfim, aprofundar seu conhecimento, capacitando-se para sua nova profissão na Petrobras.*

Nome: \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_

Estado: \_\_\_\_\_

Unidade: \_\_\_\_\_

*Escreva uma frase para acompanhá-lo durante todo o módulo.*

---

---

---

---

---

# Sumário

1	PRINCÍPIOS DA ELETRICIDADE .....	7
1.1	O que é Eletricidade? .....	7
1.2	Processos de Eletrizaco.....	8
1.3	Interaoes entre cargas elétricas: força e campo elétrico .....	11
1.4	Trabalho e Potencial Elétrico .....	12
1.5	Corrente Elétrica .....	13
1.6	Força Eletromotriz .....	14
1.7	Resistência Elétrica: Leis de Ohm .....	14
1.8	Associao de Resitores .....	16
1.9	Leitura de Resistores – Código de Cores .....	16
2	PRINCÍPIOS DE ELETROMAGNETISMO .....	18
2.1	Magnetismo .....	18
2.2	Interao entre corrente elétrica e campo magnético: Eletromagnetismo .....	19
2.3	Cálculo da Intensidade do Campo Magnético .....	19
2.4	Campos Magnéticos na Matéria .....	21
2.5	Fluxo Magnético .....	22
2.6	Induo Eletromagnética .....	23
3	ELETROMAGNETISMO: APLICAOES .....	25
3.1	O Gerador de Corrente Alternada .....	25
3.2	Geradores Polifásicos .....	27
3.3	Gerador de Corrente Contínua .....	28
3.4	Corrente Alternada x Corrente Contínua .....	29
3.5	Transformadores .....	30
3.6	Capacitores .....	30
3.7	Indutores .....	32
3.8	Capacitores, Indutores e Corrente Alternada .....	33
3.9	Potência em Circuitos CA .....	34
3.10	Circuitos Trifásicos .....	35
4	COMPLEMENTOS .....	37
4.1	Medidas Elétricas .....	37
4.2	Unidades de Medidas .....	39
	EXERCÍCIOS .....	40

# Princípios da Eletricidade

1

## 1.1 O que é Eletricidade?

Embora os fenômenos envolvendo eletricidade fossem conhecidos há muito tempo (todos já devem ter ouvido falar da famosa experiência do americano Benjamin Franklin soltando pipa em um dia de tempestade), somente durante o século XIX, investigações, mais científicas foram feitas. Faremos, então, uma breve discussão sobre os fenômenos elétricos.

Hoje sabemos que a explicação da natureza da eletricidade vem da estrutura da matéria, os átomos. Na figura 1, vemos um esboço de um átomo dos mais simples, o de Lítio. Temos o núcleo deste átomo, que é composto por dois tipos de partículas: os prótons, partículas carregadas positivamente, e os nêutrons, que têm a mesma massa dos prótons, só que não são partículas carregadas.

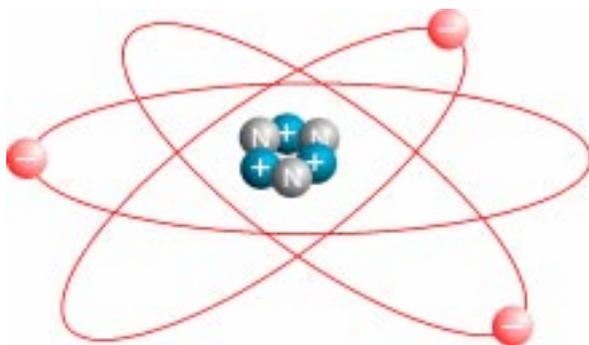


FIGURA 1

Orbitando ao redor do núcleo temos partículas cerca de 1836 vezes mais leves que os prótons, os elétrons, que apresentam cargas negativas de mesmo valor que as dos prótons. Em seu estado natural, todo átomo tem o mesmo número de prótons e elétrons, ou seja, é eletricamente neutro. Na verdade, a figura está bem fora de escala para facilitar o desenho, já que o diâmetro das órbitas dos elétrons varia entre 10 mil a 100 mil vezes o diâmetro do núcleo! O modelo da figura foi proposto pelo físico inglês Ernest Rutherford, após uma série

de experiências feitas em 1906. Mas como este modelo ajuda nossa compreensão sobre a natureza da eletricidade?

Freqüentemente, falamos em “carga elétrica”. O que vem a ser isto? Suponha que você tem um corpo “carregado com carga negativa”. Considerando que, as cargas que conhecemos são aquelas representadas nos átomos, os prótons (positivos) e os elétrons (negativos), então, um corpo com “carga negativa”, na verdade, é um corpo em cujos átomos há um maior número de elétrons do que de prótons. Ou, de maneira contrária, outro corpo com carga positiva é aquele em que o número de elétrons é menor do que o número de prótons. Esta variação de cargas positivas para negativas em um corpo é feita mais facilmente variando o número de elétrons do corpo, já que como eles estão na periferia dos átomos, são mais facilmente removíveis.

**Conceito de Carga Elétrica:** Como consequência do que colocamos acima, toda carga que aparece em um corpo é um múltiplo da carga de cada elétron, uma vez que, para tornarmos um corpo negativamente carregado, fornecemos a este 1 elétron, 2 elétrons, assim por diante. Da mesma maneira, para tornarmos o corpo carregado positivamente, é necessário “arrancar” de cada átomo um elétron, dois elétrons, etc. Este processo de variação do número de elétrons dos átomos é chamado de ionização. Um átomo cujos elétrons não estejam em mesmo número de seus prótons é chamado de íon. Assim, de uma maneira geral, toda carga  $Q$  pode ser calculada da seguinte forma:

$$Q = Ne$$

Em que  $N$  é o número de elétrons fornecidos (no caso de carga negativa) ou retirados (no caso de cargas positivas) do corpo e  $e$ , a chamada carga elétrica fundamental, que é a carga presente em cada próton ou elétron.

Trabalharemos com o Sistema Internacional de Unidades (SI), mais conhecido como MKS (Metro, Kilograma, Segundo), para definirmos as unidades de medida das grandezas físicas utilizadas em nossos estudos.

Carga elétrica: Coulomb [Q] = C

A carga elétrica fundamental, em Coulombs, vale aproximadamente  $1,6 \times 10^{-16}$  C. Este valor é muito pequeno! Daí temos que, para conseguir cargas de 1 Coulomb, é necessária transferência de vários elétrons entre corpos então, podemos concluir esta seção afirmando, então, que os fenômenos elétricos são aqueles envolvendo transferências de elétrons entre corpos. E em relação aos prótons? Há processos envolvendo os prótons especificamente, que são do domínio da Física Nuclear, no entanto, tais eventos não fazem parte dos objetivos deste curso.

## 1.2 Processos de Eletrização

**Eletrização por Atrito:** Podemos realizar uma experiência simples utilizando um pano de lã e um bastão de vidro. Ao esfregarmos um no outro, podemos notar que o vidro atrai a lã e vice-versa (figura 2.1). Contudo, se repetirmos a experiência com um conjunto idêntico ao acima e aproximarmos os dois bastões de vidro, notaremos que estes se repelem (figura 2.2), o mesmo acontecendo com os dois panos de lã (figura 2.3).

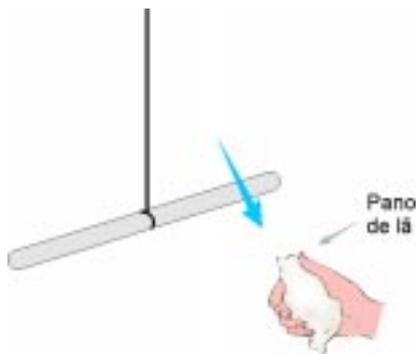


FIGURA 2.1 – O vidro e a lã se atraem.

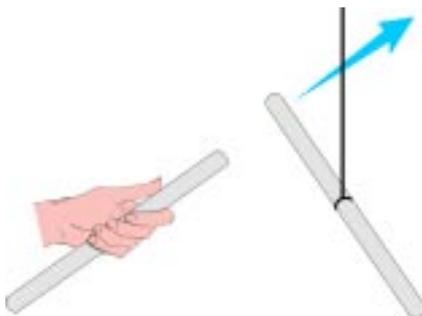


FIGURA 2.2 – Os bastões de vidro e a lã se repelem.

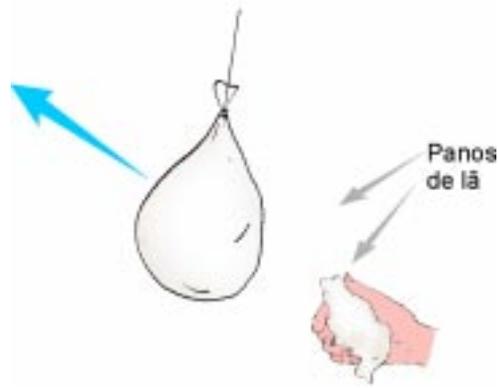


FIGURA 2.3 – Os panos de lã se repelem.

Isso acontece porque, ao esfregarmos a lã contra o vidro, os dois inicialmente neutros, provocamos uma transferência de elétrons do vidro para a lã. É um processo semelhante ao que acontece quando usamos um pente de plástico para pentear o cabelo. Uma questão fundamental que podemos formular é porque lã e vidro atraem-se e lã repele lã e vidro repele vidro? O vidro perdeu elétrons, ficando carregado positivamente, ao contrário da lã, que ao receber os elétrons, adquiriu carga negativa. Chegamos, então, a uma lei básica da natureza:

Cargas de mesmo sinal repelem-se, cargas de sinais opostos atraem-se.

Isto explica, em parte, a estrutura do átomo, onde os prótons positivos atraem os elétrons negativos.

**Condutores e Isolantes:** Será que todo material tem facilidade para que os elétrons possam se mover, facilitando processos como o descrito acima? Isto depende, na verdade, da distribuição dos elétrons nos átomos que constituem o material. Materiais em que os elétrons estão mais livres dos respectivos núcleos dos átomos são os **condutores**. De maneira oposta, materiais em que os elétrons não podem mover-se livremente, porque estão muito presos aos núcleos, são os chamados **isolantes**. Há, ainda, uma classe intermediária de materiais, os **semicondutores**, como o nome já indica, materiais que podem conduzir eletricidade em condições operacionais específicas, que, porém, não serão nosso objeto de estudo neste curso. Como exemplo de bons condutores temos os metais como ferro, cobre, ouro. Isolantes conhecidos são a borracha, o vidro, a cerâmica. A eletrização por atrito ocorre em qualquer tipo dos materiais citados, ao passo que as próximas duas que descreveremos ocorrem principalmente em condutores.

Um conceito importante dos materiais isolantes é o de rigidez dielétrica. Quando um isolante é submetido a uma tensão elétrica muito grande, pode acontecer que ele permita a passagem de eletricidade. Quando isto acontece, dizemos que aconteceu a ruptura de um dielétrico. A rigidez dielétrica fornece o valor máximo da tensão elétrica que um isolante suporta sem que sofra ruptura. A rigidez dielétrica de um isolante diminui com o aumento da espessura do isolante, da duração da aplicação da tensão elétrica e da temperatura.

**Eletrização por contato:** Supondo que dois corpos condutores, como as duas esferas metálicas da figura 3.a. A esfera A já está carregada positivamente, enquanto a esfera B está neutra. Se colocarmos as duas em contato, a tendência é que ambas atinjam uma situação de equilíbrio. Para que isso ocorra, a esfera B tende a neutralizar A, através de uma passagem de elétrons (cargas negativas) de B para A (figura 3b), até que as duas atinjam a mesma carga, pois, desta forma, nenhuma das duas esferas “sentirá” a outra mais eletrizada. Assim, a carga final de cada uma delas será a metade das cargas iniciais do sistema (figura 3c), neste exemplo, metade da carga inicial de A.

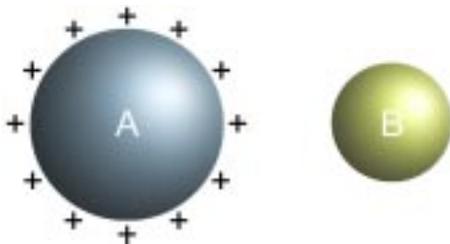


FIGURA 3.a – A positivo e B neutro estão isolados e afastados.

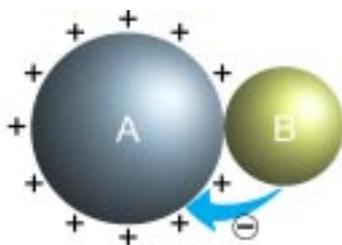


FIGURA 3.b – Colocados em contato, durante breve intervalo de tempo, elétrons livres vão de B para A.

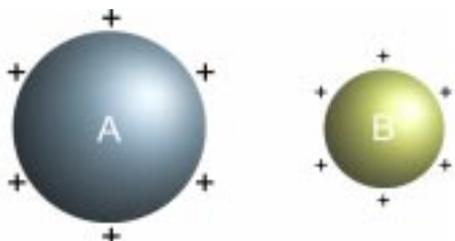


FIGURA 3.c – Após o processo, A e B apresentam-se eletrizados positivamente.

Este tipo de eletrização pode gerar um choque elétrico. Isto é o que acontece quando tocamos uma tubulação metálica ou um veículo que está eletrizados. O contato do nosso corpo com a superfície do veículo, por exemplo, faz com que haja uma rápida passagem de cargas elétricas através do nosso corpo, daí aparecendo a sensação de choque elétrico.

O “**Efeito Terra**”: A Terra, por ter dimensões bem maiores que qualquer corpo que precisemos manipular, pode ser considerada um grande “depósito” de elétrons. Se ligarmos uma esfera carregada positivamente (figura 4a) à Terra, por meio de um fio, verificamos que rapidamente ela perde sua eletrização, ficando neutra. Isto acontece devido à subida de elétrons da Terra, que neutralizam a carga positiva da esfera. Da mesma maneira, ao ligarmos uma esfera de carga negativa, esta também perde sua carga, já que seus elétrons descem para a Terra. Não esqueça que sempre raciocinamos em termos do movimento dos elétrons (cargas negativas), que, como já discutimos, por ocuparem a periferia dos átomos, têm uma mobilidade maior que os prótons.

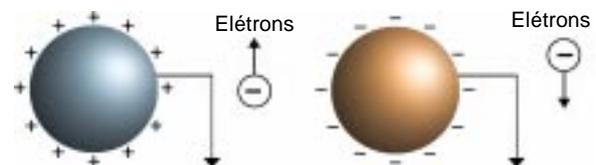


FIGURA 4a

Um efeito da eletrização por contato, que leva a uma aplicação do efeito terra, é o possível surgimento de faíscas elétricas, o que em uma refinaria de petróleo pode adquirir proporções catastróficas. Nas baías onde é feito o carregamento de combustíveis em caminhões, estes podem estar carregados eletricamente e, no momento da conexão do mangote ao caminhão, uma faísca entre eles pode detonar uma explosão, caso haja a presença de gases combustíveis na área. Para minimizar este risco, o caminhão é conectado ao solo (aterrado) antes do início do bombeamento de combustível. Deste modo, o caminhão ficará com carga neutra.

**Eletrização por Indução:** Este tipo de eletrização faz uso da atração de cargas de sinais opostos, como na sequência mostrada na figura 5.

1. Ao aproximarmos da esfera do eletroscópio um corpo eletrizado negativamente, o eletroscópio sofre indução eletrostática e as lâminas se abrem.

Lâminas de ferro

2. Ligando-se o eletroscópio à Terra, as lâminas se fecham, pois os elétrons escoam para a Terra.

3. Desfazendo-se a ligação com a Terra e afastando-se o corpo eletrizado, o eletroscópio se eletriza positivamente. Observe que, novamente, as lâminas se abrem.

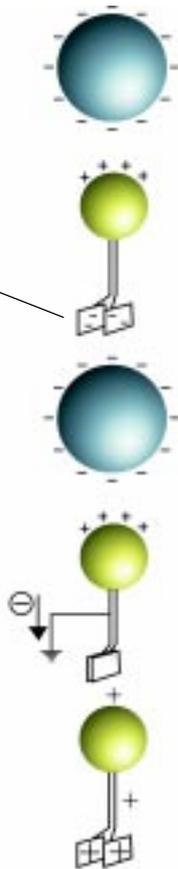


FIGURA 5

**Descargas Atmosféricas:** Durante tempestades, raios e trovões ocorrem em abundância. Como tais fenômenos envolvem descargas elétricas, é necessária a proteção das instalações de uma refinaria.

O surgimento de raios em tempestades vem do fato de que as nuvens que as causam estão carregadas eletricamente. Assim, surgem campos elétricos entre partes destas nuvens, entre nuvens próximas e entre nuvens e o solo. Como o ar é isolante, é necessário o surgimento de um forte campo elétrico entre as nuvens e o solo, para que seja possível vencer a rigidez dielétrica do ar. Quando isto acontece, a corrente elétrica pode passar pelo ar, fazendo com que haja a descarga elétrica da nuvem para o solo, através do efeito terra. A luz que acompanha o raio, chamada de relâmpago, aparece por causa da ionização devido à passagem de cargas elétricas pelo ar. Isto também gera um forte e rápido aquecimento, causando a expansão do ar e produzindo uma onda sonora de grande intensidade, que chamamos de trovão.

**Prevenção de Descargas Atmosféricas:**

Para evitar efeitos desastrosos das descargas atmosféricas, é utilizado um aparato muito popular chamado de pára-raios. Ele tem por finalidade oferecer um caminho mais eficiente e seguro para as descargas elétricas, protegendo edificações, tubulações, redes elétricas, depósitos de combustível, etc.

A estrutura de um pára-raios consiste em uma haste metálica colocada no ponto mais alto da estrutura a ser protegida. A extremidade inferior da haste é conectada a um cabo condutor, que desce pela estrutura e é aterrado ao solo. Na extremidade superior da haste, temos um terminal composto de materiais com alto ponto de fusão, para suportar as altas temperaturas provocadas pela passagem da descarga elétrica. O formato desta extremidade, que é pontiagudo, faz uso de uma propriedade dos condutores, o **poder das pontas**. Em um condutor, a densidade de cargas é maior em regiões que contêm formato pontiagudo. Lá a densidade de cargas é maior, bem como o campo elétrico. Assim, por serem regiões de alto campo elétrico, tais pontas favorecem a mobilidade das cargas elétricas através delas. Se a nuvem carregada estiver acima da haste, nesta são induzidas cargas elétricas intensificando o campo elétrico na região entre a nuvem e a haste, produzindo assim uma descarga elétrica através do pára-raios.

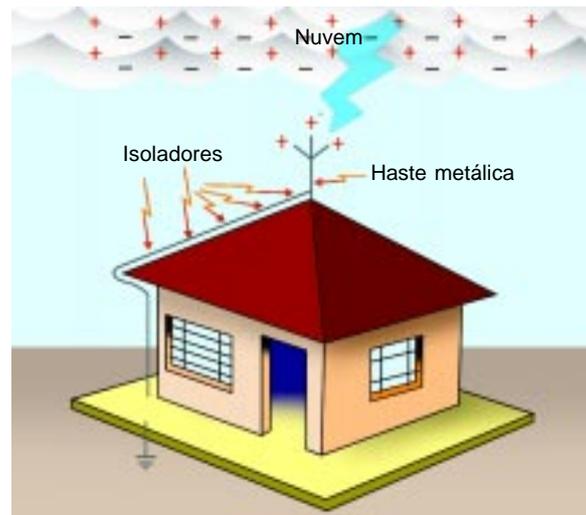


FIGURA 5.1

A construção de pára-raios é normatizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), onde "o campo de proteção oferecido por uma haste vertical é aquele abrangido por um cone, tendo por vértice o ponto mais alto do pára-raios, e cuja geratriz forma um ângulo de 60° com a vertical". Tal arranjo está ilustrado na figura abaixo. Assim, vemos que a partir de um pára-raios de altura  $h$ , o raio de proteção é dado por  $r = \sqrt{3} h$ .

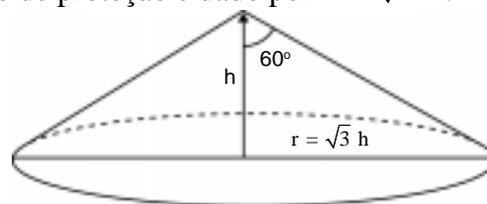


FIGURA 5.2

### 1.3 Interações entre cargas elétricas: força e campo elétrico

Já vimos no exemplo da lã e do vidro que cargas elétricas sofrem atração ou repulsão dependendo do seu sinal. Uma expressão para o módulo da força entre elas é dada pela Lei de Coulomb:

$$F = \frac{Kq_1q_2}{d^2} \quad (F \text{ em Newtons})$$

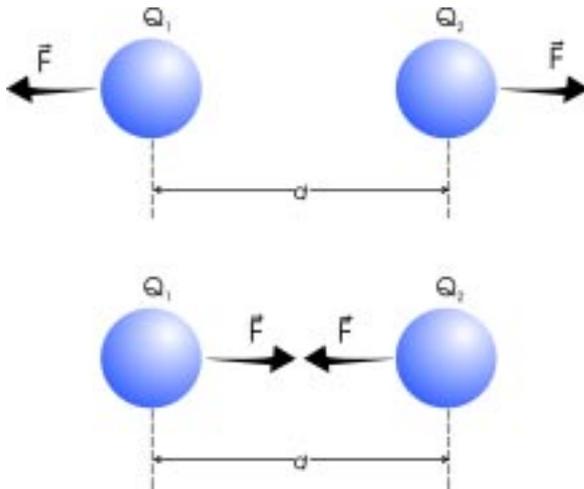


FIGURA 6

Sendo  $q_1$  e  $q_2$ , os valores das cargas elétricas,  $K$ , a constante eletrostática ( $K = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ ) e  $d$ , a distância entre as cargas.

Podemos observar que esta força é trocada entre as cargas mesmo no vácuo, ou seja, não depende de um “meio” que faça com que uma carga “sinta” a presença da outra. Quem faz este papel é o Campo Elétrico, que é uma medida da influência que uma carga elétrica exerce ao seu redor. Quanto maior o valor de uma carga elétrica, mais atração ou repulsão ela pode exercer sobre uma carga ao seu redor, portanto, maior também o valor do seu campo elétrico. Se colocarmos uma carga  $q_0$  em uma região do espaço onde existe um campo elétrico  $E$ , a relação entre a força que vai atuar sobre esta carga e o campo elétrico é:

$$\vec{F} = q_0 \vec{E}$$

Devemos ter cuidado com esta equação, já que ela relaciona vetores! Se a carga  $q_0$  for positiva, temos que  $F = q_0 E$ , ou seja, força e campo tem o mesmo sentido (figura 7a). Do contrário, se  $q_0$  for negativa,  $F = -q_0 E$ , o que significa que a força sobre  $q_0$  tem sentido con-

trário ao do campo elétrico que atua na região em que ela se encontra (figura 7b).

se  $q > 0$ ,  $\vec{F}$  e  $\vec{E}$  têm mesmo sentido (fig. 7a)  
 se  $q < 0$ ,  $\vec{F}$  e  $\vec{E}$  têm sentidos opostos (fig. 7b)  
 $\vec{F}$  e  $\vec{E}$  têm sempre mesma direção.

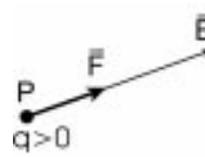


FIGURA 7a

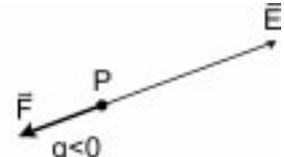


FIGURA 7b

Ainda a partir da equação acima, podemos exprimir as unidades de medida do campo elétrico no Sistema Internacional de Unidades:

$$E = F/q \Rightarrow [E] = \text{N/C}$$

Por exemplo, se colocarmos uma distribuição de cargas na presença de uma distribuição de cargas na presença de um campo de 5 N/C ele exercerá uma força de 5 Newtons em cada Coulomb de carga.

Para representarmos graficamente o campo elétrico, podemos recorrer ao desenho das linhas de campo elétrico, que obedecem às seguintes regras:

1. As linhas de campo elétrico começam nas cargas positivas e terminam nas cargas negativas;
2. As linhas de campo elétrico nunca se cruzam;
3. A densidade de linhas de campo elétrico dá uma idéia da intensidade do campo elétrico: em uma região de alta densidade de linhas, temos um alto valor do campo elétrico.

De uma maneira geral, as linhas de campo elétrico representam a trajetória de uma carga positiva abandonada em repouso em um campo elétrico pré-existente.

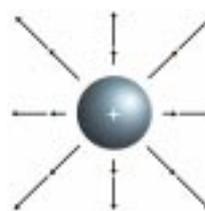


FIGURA 8.1

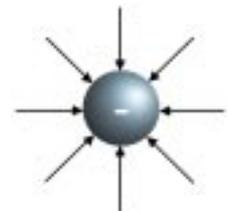


FIGURA 8.2

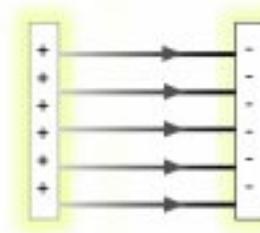


FIGURA 8.3

## 1.4 Trabalho e Potencial Elétrico

Podemos lembrar de alguns conceitos que já estudamos em Mecânica e pensar da seguinte maneira: colocamos uma carga  $q$  em repouso em uma região onde atua um campo elétrico. Este campo vai fazer com que aja na carga uma força de módulo  $F = qE$ . Como a partícula estava em repouso, pela 2.<sup>a</sup> Lei de Newton ( $F = ma$ ), a força vai fazer com que esta partícula adquira uma aceleração, saindo do repouso e por consequência, deslocando-se. Ora, já sabemos que quando uma força provoca deslocamento em um corpo, dizemos então que ela realiza **trabalho** sobre este corpo. Como lembramos também, **energia** é a capacidade de realizar trabalho. Tendo em vista, então que, o campo elétrico provocou o deslocamento da nossa carga  $q$ , realizando trabalho sobre a carga, concluir que o campo elétrico armazena energia.

Como poderíamos medir que regiões do campo elétrico fornecem a maior capacidade de realizar trabalho? Uma maneira seria medir o próprio valor do campo elétrico. Quanto maior o valor do campo, maior a força que ele pode exercer, maior também o trabalho realizado. Outra maneira, alternativa, é a que descrevemos a seguir.

Na figura 9, temos representado um campo elétrico formado entre duas placas carregadas com cargas de sinais opostos.



FIGURA 9

Queremos deslocar a carga positiva  $Q$  do ponto A ao ponto B marcados na figura. Definimos então a diferença de potencial entre os pontos A e B ( $V_A - V_B$ ) como:

$$\Delta V = V_A - V_B = W/Q$$

, em que  $W$  é o trabalho realizado pelo campo elétrico ao deslocar a carga de A até B. Como  $Q$  é positiva, se  $V_A > V_B$ , temos que  $W$

é positivo, ou seja, a carga moveu-se espontaneamente. Daí temos que:

- Cargas positivas movem-se para pontos de menor potencial;
- Cargas negativas movem-se para pontos de maior potencial.

Lembrando que no **SI** a unidade de trabalho e energia é o Joule (J), a unidade de diferença de potencial é expressa em Volt (V):

$$[\Delta V] = \text{Volt} = \text{J/C}$$

Interpretando esta unidade, temos, por exemplo, que uma diferença de potencial de 12 Volts significa que em uma distribuição de cargas colocada em um campo elétrico este campo realiza um trabalho de 12 Joules sobre cada Coulomb de carga.

Desta definição de Volt podemos também medir o campo elétrico em outra combinação de unidades do SI:

$$[E] = \text{V/m}$$

A diferença de potencial é também chamada de ddp ou Tensão. Uma ddp aparece entre dois corpos quando eles têm a tendência de trocar cargas elétricas entre si.

Na figura abaixo, o corpo A está carregado positivamente, portanto está com falta de elétrons. O corpo B tem carga negativa, estando com excesso de elétrons. Se ligarmos os dois ou os colocarmos em contato, haverá um fluxo de elétrons de B para A, como já discutimos na eletrização por contato, até que o equilíbrio de cargas seja estabelecido. Quando isto acontece, dizemos que existe uma diferença de potencial (ddp) ou tensão entre os corpos A e B. Podemos, agora, simplificar dizendo que se há uma tensão entre dois corpos, ao colocarmos os dois em contato (diretamente ou por um fio), haverá uma movimentação de cargas entre eles, até que o equilíbrio seja estabelecido, quando a ddp torna-se zero.

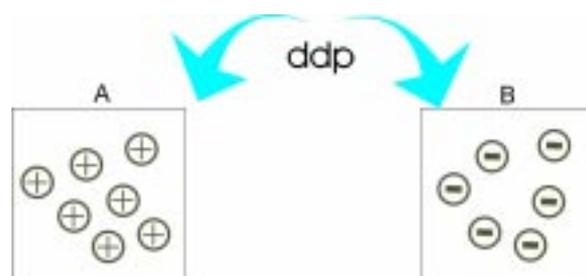


FIGURA 10

## 1.5 Corrente Elétrica

Em um condutor, os elétrons livres, aqueles que podem se mover devido a diferenças de potencial, executam um movimento desordenado através do condutor. Contudo, se este condutor for utilizado para conectar dois corpos com uma diferença de potencial entre si, como na figura 11, haverá um fluxo de elétrons ordenados através do condutor, porque o corpo que está com carga negativa vai fornecer elétrons para o corpo carregado positivamente através do caminho formado pelo condutor.

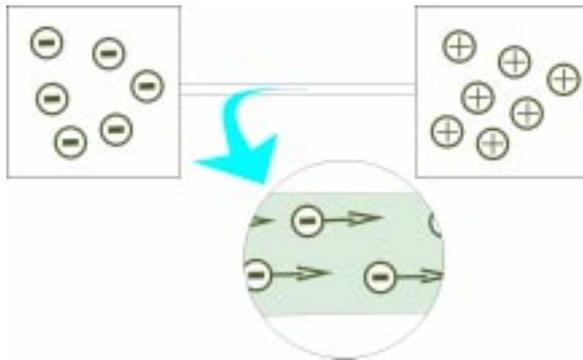


FIGURA 11

A este movimento ordenado de elétrons através de um condutor sujeito a uma tensão, chamamos de **corrente elétrica**. Como podemos ver na figura 12, o movimento de cargas se dá do corpo negativo (ou pólo negativo) para o corpo (ou pólo) positivo. No entanto, por um acidente histórico, foi atribuído à corrente o sentido do pólo positivo para o negativo, assim prevalecendo até hoje. É lógico que ao pensarmos em metais condutores como os do exemplo acima, este sentido, embora adotado, está errado, mas em algumas soluções iônicas, em baterias, por exemplo, este sentido coincide com o correto. Por uma questão de uniformidade, vamos adotar o sentido convencional da corrente em nosso curso.

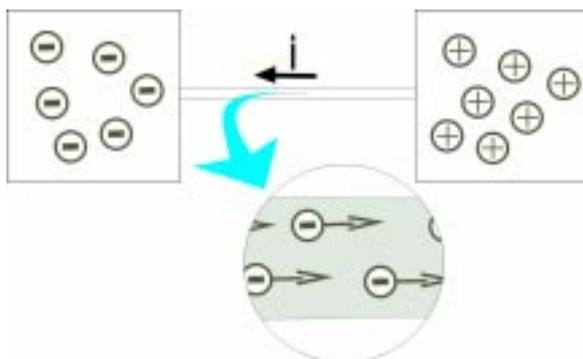


FIGURA 12

Podemos fazer uma analogia com um caso envolvendo a energia potencial gravitacional que já conhecemos da mecânica. Na figura 13, temos um fluxo de água da caixa mais alta para a mais baixa devido à diferença de altura entre as duas, ou seja, devido à diferença de potencial gravitacional. Assim, o fluxo de água (que seria o análogo da nossa corrente elétrica), vai do maior potencial gravitacional (caixa alta) para o menor potencial gravitacional (caixa baixa). A tubulação entre as caixas faria o papel do condutor através do qual flui a corrente elétrica.

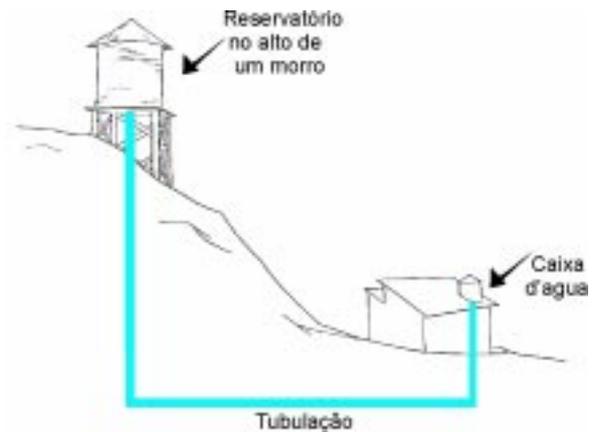


FIGURA 13

**Intensidade de corrente elétrica:** Podemos reparar que quanto mais carga passar de um corpo para o outro, maior o fluxo de cargas entre eles e, intuitivamente, maior a corrente elétrica entre estes corpos. Tomando como base a figura 14, podemos definir a intensidade de corrente elétrica,  $i$ , da seguinte maneira:

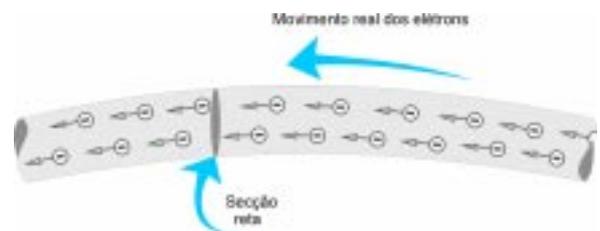


FIGURA 14

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

, em que  $\Delta q$  é a quantidade de carga que passa por uma seção transversal do condutor por intervalo de tempo ( $\Delta t$ ). Quanto maior a corrente elétrica, mais carga passa pela mesma seção do condutor em um mesmo intervalo de tempo. No sistema internacional de unidades,

SI, definimos a unidade de medida da corrente elétrica:

Corrente: Ampère.  
 $[i] = A = C/s$

No momento, o conhecimento abordado já nos dá uma idéia das grandezas envolvidas, porém, um pouco, retornaremos a definição de Ampère. Por exemplo: se uma corrente de 2 A passa por um condutor, significa que se tomarmos uma seção transversal à corrente, a cada segundo, passam 2 Coulombs de carga por ali. Se lembrarmos o pequeno valor da carga de um elétron ( $e = 1,6 \times 10^{-19} C$ ), imagine quantos elétrons estão passando a cada instante! Então, cuidado: ao manipularmos circuitos ou aparelhos elétricos, temos por vezes o hábito de estimarmos o “perigo” associado apenas olhando para a tensão (220V, 110V, por exemplo), mas da definição de corrente elétrica, mesmo uma baixa tensão pode ocasionar uma corrente alta, ou seja, o operador pode estar exposto a uma passagem de alta quantidade de cargas elétricas pelo seu corpo, e conseqüentemente, aos efeitos maléficos que isto pode ocasionar.

### 1.6 Força Eletromotriz

Partindo de nossa idéia inicial da origem da ddp, os dois corpos ligados por um condutor rapidamente atingiriam o equilíbrio de cargas, fazendo com que a corrente elétrica entre eles cessasse. No entanto, em circuitos elétricos, não é isto o que observamos. Logo, precisamos de um mecanismo que reponha as cargas que foram deslocadas de um corpo para outro, mantendo assim a ddp constante, assim como a corrente elétrica entre os dois corpos. Esse mecanismo é o que chamamos de Força Eletromotriz (fem), cuja unidade de medida também é o Volt (V).



FIGURA 15

Como fontes de fem temos pilhas secas, baterias, geradores, célula fotovoltaica, entre outros.

#### Símbolos de fontes de fem:

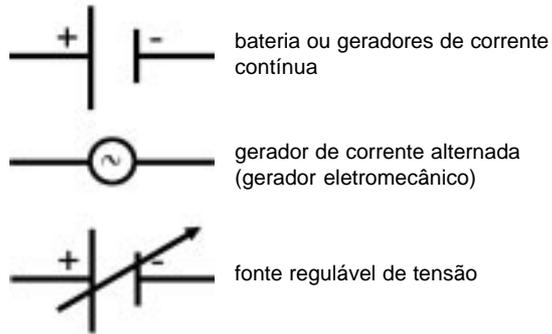


FIGURA 16

Retomando nossa analogia com o exemplo anterior das caixas d’água, a fem faria o papel de uma bomba que levaria a água da caixa inferior de volta à caixa superior, mantendo assim um fluxo de água constante pelas tubulações.

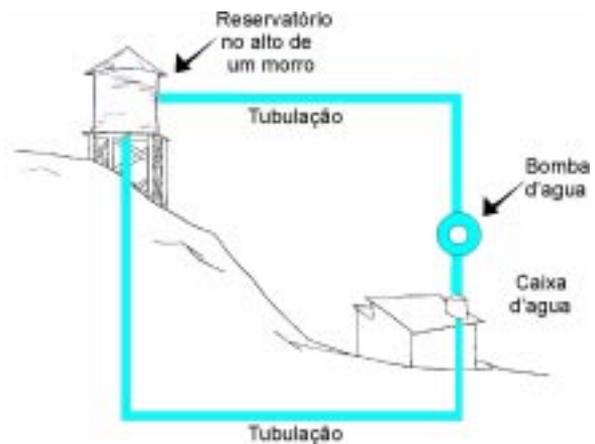


FIGURA 17

### 1.7 Resistência Elétrica: Leis de Ohm

Ao ligarmos um condutor metálico a uma fonte de fem, circulará uma corrente elétrica através dele. Em uma série de experiências deste tipo, em 1827, George Simon Ohm verificou que se fosse variada a fem, a corrente elétrica também variava. E mais: o quociente entre a fem utilizada e a corrente medida era constante:

$$\frac{V_1}{i_1} = \frac{V_2}{i_2} = \dots = R$$

Na fórmula acima, R é a Resistência Elétrica do corpo por onde passa a corrente. Sua

unidade de medida é o Ohm, representado pela letra grega  $\Omega$ . Daí temos a 1.<sup>a</sup> Lei de Ohm:

$$V = Ri$$

, que é uma relação linear, ou seja, ao dobrarmos a ddp ( $V$ ), a corrente ( $i$ ) também dobrará, e assim por diante. Resistências que não são alteradas ao variarmos a ddp são chamadas de resistências ôhmicas.

A explicação para o surgimento da resistência elétrica mais uma vez reside na estrutura da matéria, a maneira como os átomos se arranjam no interior de um corpo. Como podemos ver na figura 18, os elétrons percorrem o condutor em um único sentido e, ao longo deste caminho, vão “esbarrando” no núcleo dos outros átomos do material. Isto termina por dificultar a passagem da corrente elétrica, sendo então a origem da resistência elétrica.

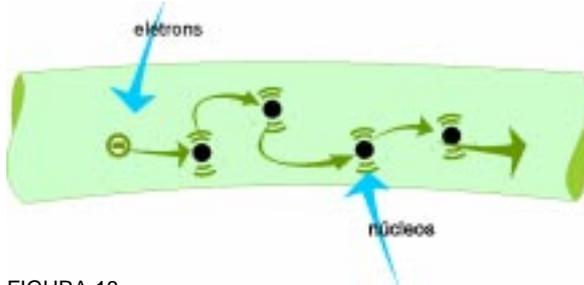


FIGURA 18

Elementos que apresentam resistência elétrica são chamados de resistores, e são representados esquematicamente das maneiras abaixo:

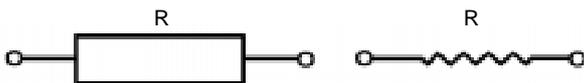


FIGURA 19

**Parâmetros que influenciam na resistência elétrica:**

- 1) Dimensões do condutor: Seja o condutor cilíndrico mostrado abaixo, de comprimento  $L$  e seção transversal de área  $A$ . A resistência é calculada por:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$



FIGURA 20

, em que  $\rho$  é a resistividade, um parâmetro dependente do material, medido em  $\Omega.m$ . O inverso desta grandeza é chamada de condutividade do material,  $\sigma$ , cujas unidades são  $(\Omega.m)^{-1}$ . O inverso da resistência é a condutância, medida em  $\Omega^{-1}$  ou Siemens.

- 2) Temperatura do condutor: Quanto menor a temperatura, menor a agitação dos átomos que compõem o material, assim, menos os átomos dificultam a passagem da corrente elétrica. Deste comportamento temos que a resistência elétrica de um corpo depende de sua temperatura. A relação entre resistência e temperatura é dada por:

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

em que  $R_0$  é a resistência à temperatura  $T_0$ ,  $\Delta T = (T - T_0)$  é a variação de temperatura a que o corpo foi submetido e  $\alpha$  é um parâmetro do material do qual é feito o corpo, sendo medido em  $^{\circ}C^{-1}$ .

No circuito ilustrado abaixo, temos uma bateria (fonte de fem) ligada em série com uma lâmpada comum, incandescente. A energia fornecida pela bateria faz com que a corrente circule pelo fio, acenda a lâmpada através do Efeito Joule (transformação de energia elétrica em energia térmica e luminosa) e continue circulando, fechando assim o circuito. A potência dissipada por Efeito Joule é dada por:

$$Pot = Ri^2$$

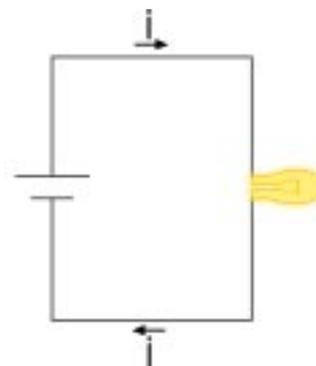


FIGURA 21

Sabemos que para uma dada bateria, não podemos acender uma infinidade de lâmpadas. Isso acontece por causa da perda ou transformação de energia que ocorre nos resistores. uma vez que a energia elétrica está sendo perdida, isto significa que a capacidade de realizar trabalho pelo circuito também está diminuindo. De fato, um resistor não diminui a in-

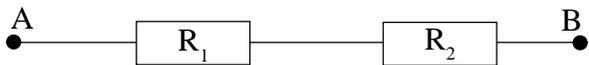
tensidade da corrente que passa por ele, mas provoca uma queda do potencial através dele dada pela Lei de Ohm ( $V = Ri$ ). Assim, ao percorrermos o circuito, medimos uma queda de potencial através dele por causa da resistência de fios e equipamentos que fazem parte do mesmo, quando completamos a volta no circuito, chegando ao outro pólo da fonte de fem (bateria, pilha, gerador), esta se encarrega de “subir” o potencial novamente, para que o movimento das cargas possa continuar pelo circuito, mantendo a corrente elétrica. Por causa de efeitos como este, não podemos transportar correntes elétricas por grandes distâncias sem perdas nas linhas de transmissão. Portanto, há todo um desenvolvimento técnico por trás da transmissão da energia, como a alta tensão de saída nas usinas geradoras e necessidade de subestações que controlem a tensão da eletricidade a ser distribuída para uso residencial e comercial.

### 1.8 Associação de Resistores

#### Resistores em série

A corrente que passa por cada um dos resistores é a mesma, já que eles estão no mesmo ramo do circuito.

Esquema:

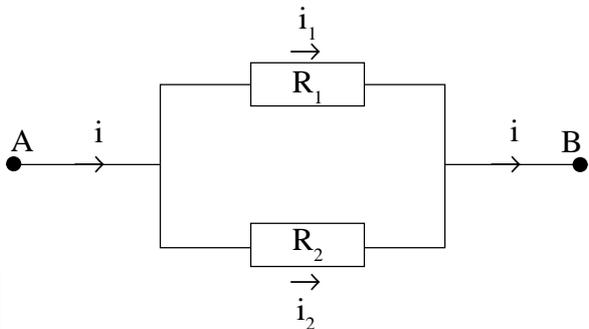


$$V_{AB} = V_1 + V_2 \quad i = i_1 = i_2 \quad R_{eq} = R_1 + R_2$$

#### Resistores em paralelo

A corrente divide-se pelos dois ramos do circuito, e a tensão entre os terminais dos resistores é a mesma.

Esquema:



$$V_{AB} = V_1 = V_2 \quad i = i_1 + i_2 \quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

### 1.9 Leitura de Resistores – Código de Cores

Há resistores dos mais diversos tipos e valores de resistência. Ao escrevermos o valor de uma resistência, há algumas convenções a serem observadas.

Alguns exemplos:

Resistência de 5 ohms:  $R_1 = 5 \Omega$

Resistência de 5,3 ohms:  $R_2 = 5R3 \Omega = 5R3$

Resistência de 5300 ohms:  $R_3 = 5k3 \Omega = 5k3$

A colocação da letra R (Resistência) ou do prefixo k (quilo, que equivale 1000 unidades) no lugar da vírgula é para evitar que uma falha de impressão da vírgula possa ocasionar a leitura errada da resistência.

Embora alguns resistores tragam impressos o valor da resistência, o código de cores é muito utilizado, já que em alguns casos os resistores são tão pequenos que impossibilitariam a leitura de qualquer caractere impresso nele. A tabela abaixo representa o código:

Cor	1º anel	2º anel	3º anel	4º anel
Preto	–	0	x1	–
Marron	1	1	x10	1%
Vermelho	2	2	x10 <sup>2</sup>	2%
Laranja	3	3	x10 <sup>3</sup>	3%
Amarelo	4	4	x10 <sup>4</sup>	4%
Verde	5	5	x10 <sup>5</sup>	–
Azul	6	6	x10 <sup>6</sup>	–
Violeta	7	7	–	–
Cinza	8	8	–	–
Branco	9	9	–	–
Ouro	–	–	x10 <sup>-1</sup>	5%
Prata	–	–	x10 <sup>-2</sup>	10%
Sem cor	–	–	–	20%

Tomemos como exemplo um resistor que possui os seguintes anéis coloridos:

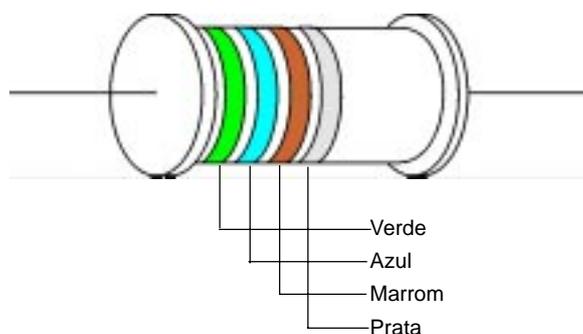


FIGURA 22

Para evitar equívocos como definir o 1º anel pela esquerda ou pela direita, ele é sem-



# Princípios de Eletromagnetismo

# 2

Passaremos agora à discussão dos fenômenos necessários para a compreensão do funcionamento de geradores e circuitos de corrente alternada, que são os fenômenos que envolvem a junção de eletricidade com magnetismo. Faremos uma breve exposição dos fenômenos magnéticos mais simples, para depois abordarmos o eletromagnetismo propriamente dito.

## 2.1 Magnetismo

Os fenômenos mais básicos do magnetismo, como a pedra magnetita (óxido de ferro,  $Fe_3O_4$ ) atrair o ferro, foram relatados desde a Antiguidade na Ásia Menor. A magnetita é um ímã natural, isto é, pode ser encontrado na natureza. Contudo, quase que a totalidade dos ímãs utilizados pelo homem são feitos industrialmente, podendo existir ímãs temporários (feitos de ferro doce) e permanentes (feitos de ligas metálicas, geralmente contendo níquel ou cobalto). As propriedades magnéticas de um material também são definidas pela estrutura dos átomos que o compõem, embora de maneira mais sutil do que os fenômenos elétricos. Na verdade, cada átomo tem as suas propriedades magnéticas, que combinadas no todo, podem determinar se um corpo macroscópico apresentará este tipo de comportamento. Vamos em seguida relatar algumas características básicas do magnetismo.

**Pólos Magnéticos:** Assim como na eletricidade temos as cargas positivas e negativas, no magnetismo, os equivalentes são o pólo norte e pólo sul. Tais pólos estão sempre posicionados nas extremidades de um ímã. Os pólos magnéticos sempre surgem aos pares, não sendo possível separá-los. Se partirmos um ímã ao meio, o que teremos como resultado são dois ímãs menores, cada um com os seus respectivos pólos norte e sul.

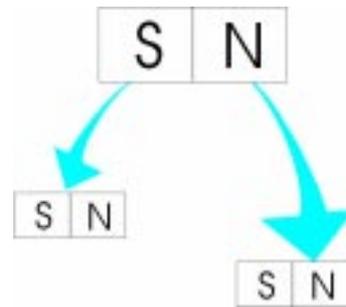


FIGURA 23

**Interação entre ímãs:** Novamente aqui temos um comportamento que lembra a eletricidade: os ímãs podem sofrer atração ou repulsão por outro ímã, dependendo da posição dos pólos. Pólos diferentes atraem-se, pólos iguais, repelem-se.



FIGURA 24.1

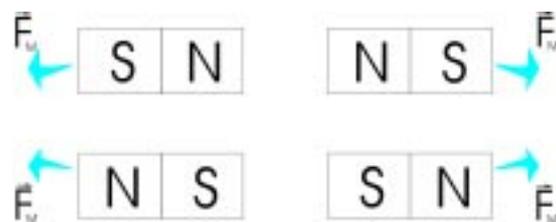


FIGURA 24.2

**Campo Magnético:** Assim como cargas elétricas, os ímãs exercem influência em regiões do espaço ao seu redor. Representamos também as linhas de campo magnético, que exibem as mesmas propriedades que as linhas de campo elétrico. Porém, neste caso, elas nascem no pólo norte e morrem no pólo sul.

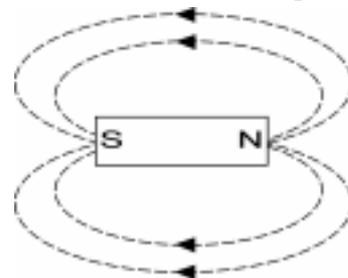


FIGURA 25

O campo magnético, representado por  $H$ , tem sua unidade de medida o Ampère por metro no SI.

$$[H] = A/m$$

## 2.2 Interação entre corrente elétrica e campo magnético: Eletromagnetismo

### Experiência de Oersted

No começo do século XIX, o físico dinamarquês Hans C. Oersted fez uma experiência envolvendo um circuito, percorrido por uma corrente elétrica, e uma bússola colocada próxima ao circuito. Quando nenhuma corrente percorria o circuito, a bússola permanecia alinhada com o campo magnético terrestre. Porém, ao fechar o circuito, com a corrente fluindo através dele, o ponteiro da bússola orientava-se de maneira perpendicular à corrente elétrica.

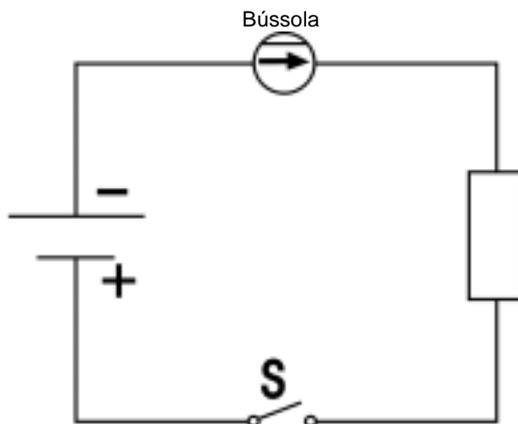


FIGURA 26.1

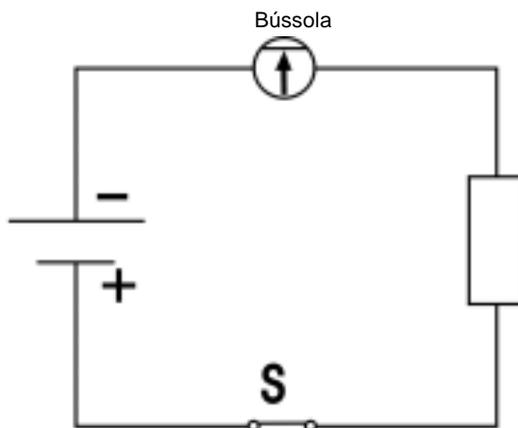


FIGURA 26.2

Isto evidencia que uma corrente elétrica cria um campo magnético ao seu redor. Tal fato possibilita uma série de aplicações, como os eletroímãs, discutidos a seguir.

Podemos observar as linhas de campo magnético ao redor de um fio percorrido por

uma corrente colocando limalha de ferro em um papel cujo plano é perpendicular ao fio. As linhas de campo são circunferências centradas no fio. Quanto mais longe do fio, menor a intensidade do campo magnético.

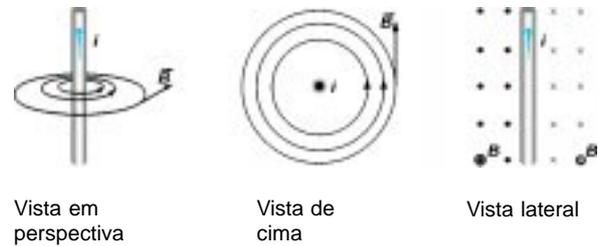


FIGURA 27

O físico francês André Marie Ampère estudou campos magnéticos criados por correntes e formulou uma regra para sabermos o sentido das linhas de campo ao redor de fios. Envolvemos o condutor com a nossa mão direita, o polegar acompanha o sentido da corrente e os demais dedos o sentido das linhas de campo magnético.

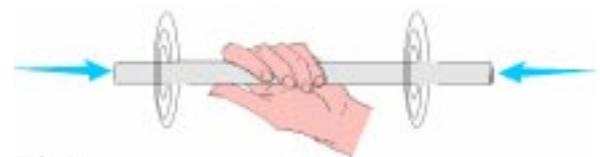


FIGURA 28

## 2.3 Cálculo da Intensidade do Campo Magnético

### Em torno de um condutor

$$H = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

, em que  $\mu_0$  é a constante de permeabilidade do vácuo, medida em Henry por metro (H/m),  $i$  é a corrente que percorre o fio e  $r$  é a distância radial medida a partir do meio do fio.

### No Centro de uma Espira

Neste caso a regra da mão direita é alterada, o polegar indica o sentido do campo e os demais dedos acompanham o sentido da corrente.

$$H = \frac{\mu_0 i}{2R}$$

, em que  $R$  é o raio da espira.

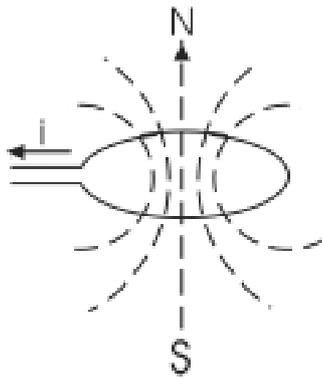


FIGURA 29

**No interior de um Solenóide (ou bobina)**

Aqui a regra da mão direita é a mesma do caso da espira. A superposição dos campos de cada espira que compõe o solenóide produz um campo semelhante àquele de um dipolo magnético (figura 30). Por isso, o solenóide é bastante utilizado para a produção de eletroímãs, colocando-se uma barra de ferro no interior do solenóide.

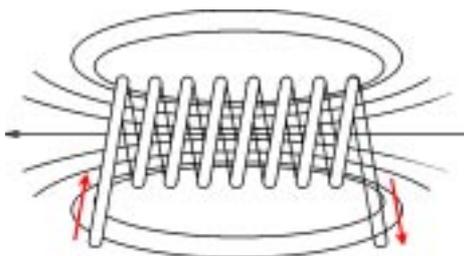


FIGURA 30.1

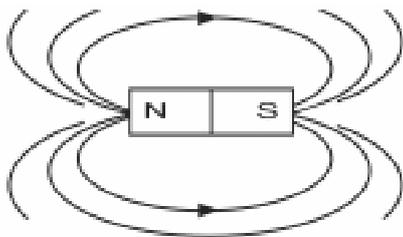


FIGURA 30.2

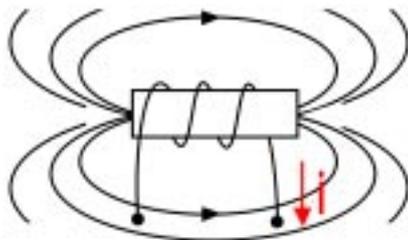


FIGURA 30.3

Considerando o solenóide com um comprimento bem maior que o seu diâmetro (tipicamente 10 ou mais vezes maior), podemos simplificar que o campo magnético é constan-

te no seu interior. A intensidade deste campo é dada por:

$$H = \frac{\mu_0 Ni}{l}$$

, em que N é o número de espiras do solenóide e l, o seu comprimento. No exterior do solenóide, o campo é praticamente nulo.

**Força do Campo Magnético sobre um fio com corrente**

Considerando que uma corrente elétrica produz um campo magnético ao seu redor, se colocarmos este condutor percorrido por uma corrente em uma região que já contém um campo magnético, teremos a interação entre estes dois campos, o que já ocupa a região e o gerado pela corrente, ou seja, teremos uma força magnética atuando sobre o fio condutor. A intensidade desta força pode ser calculada como se segue:

$$F_m = H_o i l \text{ sen } \theta$$

, em que  $H_o$  é o valor do campo magnético externo (não o causado pela corrente!), i é a corrente elétrica, l o comprimento do condutor e  $\theta$  o ângulo entre a corrente e o campo magnético. Uma regra prática para sabermos o sentido da força é a regra da mão direita, onde o dedo indicador acompanha a corrente, o dedo médio (perpendicular ao indicador) está com o campo externo e o polegar fornece a direção e o sentido da força magnética.

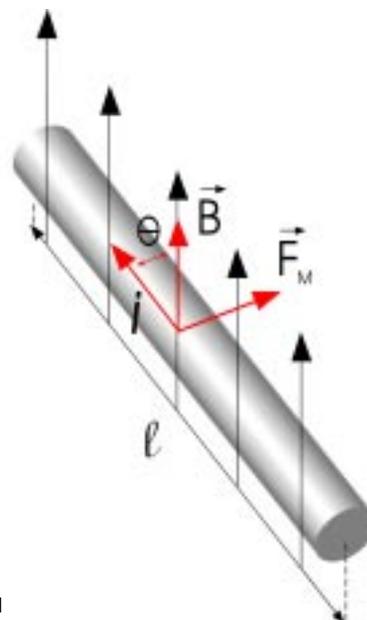


FIGURA 31

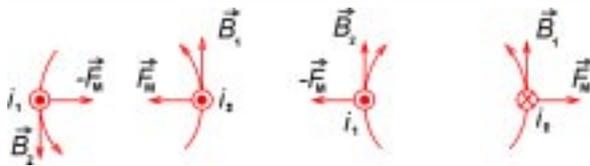


FIGURA 31a

**Forças entre dois fios condutores paralelos**

O resultado descrito a seguir é uma consequência do tópico anterior. Como cada corrente gera um campo ao seu redor, se colocarmos dois fios condutores, um ao lado do outro, cada um “sentirá” o campo criado pelo seu vizinho, sofrendo então uma força devido à presença do campo gerado pelo fio que está ao seu lado.

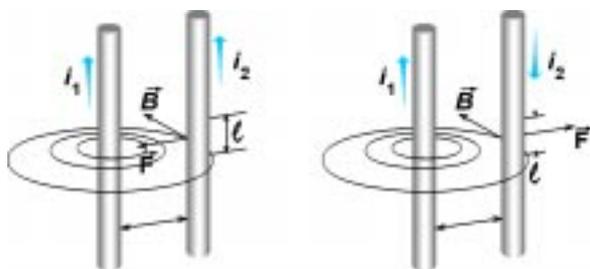


FIGURA 32

Se aplicarmos as regras da mão direita nas ilustrações acima, podemos verificar que fios percorridos por correntes paralelas de mesmo sentido sofrem atração. Já fios percorridos por correntes paralelas, mas de sentido contrário, sofrem repulsão. A intensidade da força trocada pelos dois fios é dada pela fórmula seguinte:

$$F_m = \frac{\mu_o}{2\pi} \cdot \frac{i_1 i_2 l}{r}$$

Aqui  $i_1$  e  $i_2$  são as intensidades de corrente de cada um dos fios,  $l$  o comprimento dos fios e  $r$  a distância entre eles.

**Nota: A definição de Ampère.**  
 A definição que passamos de Ampère anteriormente ( $A = C/s$ ) foi utilizada durante muito tempo. Contudo, por questões práticas, de facilidade de medição para definir-se um padrão, em 1946 foi dada uma nova definição de Ampère:  
 “Um ampère é a corrente que mantida em dois condutores retilíneos e paralelos, separados por uma distância de um metro no vácuo, produz entre esses condutores uma força de  $2,0 \times 10^{-7}N$  por metro de comprimento de fio”.  
 Assim, o Ampère passa a ser uma grandeza básica do SI e o Coulomb, sua derivada ( $C = A.s$ ).

**2.4 Campos Magnéticos na Matéria**

Comentamos de maneira rápida, anteriormente acima que as propriedades magnéticas são fruto da distribuição eletrônica dos elétrons ao redor do núcleo. De fato, uma conclusão fundamental da seção anterior é que cargas elétricas em movimento (corrente elétrica) geram ao redor de si um campo magnético. No átomo, o que temos são os elétrons, cargas negativas, circulando ao redor do núcleo. Assim, para idealizarmos o que acontece, eles atuam como correntes em circuitos fechados, como no caso da espira de corrente que comentamos. Assim, a combinação dos campos gerados por cada um dos elétrons é que pode determinar se o átomo como um todo é que vai ter propriedades magnéticas ou não, conforme esquema da figura abaixo. Este modelo foi proposto por Ampère, e ficou conhecido por “correntes amperianas”, pode ser encarado como boa aproximação em casos mais simples. Hoje em dia a explicação fechada para o magnetismo vem da Física Quântica, que recorre a conceitos novos como “spin” dos elétrons, dentre outros conhecimentos.



FIGURA 33

As expressões que passamos anteriormente para cálculos de campos magnéticos são para cálculo de campos no vácuo, ou, aproximadamente, no ar. Quando um corpo material encontra-se na presença de um campo magnético, ele pode responder de várias maneiras a este campo. O ferro, por exemplo, torna-se magnetizado. Já o plástico não sofre nenhuma alteração aparente. Assim, vamos definir a Indução Magnética,  $B$ , cuja unidade no sistema internacional (SI) é o Tesla (T).

$$[B] = T$$

Este campo é que vai surgir dentro dos materiais quando sujeitos a um campo externo. Portanto, a Indução Magnética é o campo magnético efetivo em um determinado meio

material. Podemos imaginar a relação entre os dois campos, B e H, com base nas figuras abaixo:

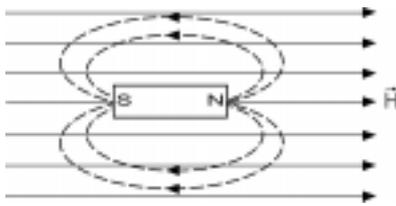


FIGURA 34.1

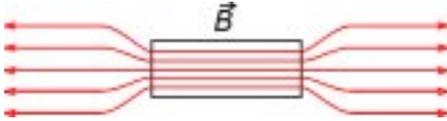


FIGURA 34.2

Se mergulharmos um pedaço de ferro doce em um campo magnético, os campos gerados pelos elétrons (lembre-se das correntes amperianas!) dentro do ferro orientam-se a favor do campo externo H. Assim, o campo efetivo (B) dentro do ferro aumenta, ao passo que o campo nas imediações do lado de fora do ferro diminui. A relação matemática entre B e H é dada pela permeabilidade magnética,  $\mu$ :

$$\mu = \frac{B}{H}$$

A permeabilidade magnética é uma grandeza característica de cada material e indica a aptidão deste material em reforçar um campo magnético externo. O valor de  $\mu$  para o vácuo (e como boa aproximação, o ar) é dado por:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

A unidade de permeabilidade magnética no SI, Henry por metro, H/m, é definida desta maneira por análise dimensional, já que B e H, apesar de serem ambos campos magnéticos, não têm as mesmas unidades de medida. Esse valor é tomado como referência para outros materiais, através da permeabilidade relativa,  $\mu_r$ , que é um parâmetro adimensional:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

Assim, de acordo com o seu valor de permeabilidade relativa, os materiais podem ser classificados como:

- Amagnéticos:  $\mu_r = 1$ . Materiais que não são magnetizados, são magneticamen-

te neutros, como o ar e o vácuo. O cobre é aproximadamente amagnético.

- Diamagnéticos:  $\mu_r < 1$ . Materiais que exibem magnetização contrária a do campo externo aplicado.
- Paramagnéticos:  $\mu_r > 1$ . A permeabilidade não depende do campo externo, é constante, e o aumento do campo interno no material não é muito grande.
- Ferromagnéticos:  $\mu_r \gg 1$ . São os materiais que exibem maior magnetização, sendo, portanto, os mais aplicados em escala industrial. Sua permeabilidade magnética depende do campo aplicado, em um fenômeno denominado histerese magnética.

## 2.5 Fluxo Magnético

Quando representamos as linhas de campo magnético de um solenóide nos parágrafos acima, notamos que elas são linhas de campo fechadas. Isso significa que o número de linhas de campo dentro e fora do solenóide é o mesmo, embora as linhas estejam mais concentradas no interior do solenóide (campo mais intenso) do que no exterior. Um parâmetro para medir a concentração das linhas em uma determinada região é o fluxo magnético. Ele é definido em termos da intensidade de um campo magnético atravessando uma superfície, bem como a orientação do campo em relação a esta superfície. A expressão para calcular o fluxo magnético é:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

, em que B é a intensidade do campo magnético na região, A é a área da superfície que é atravessada pelo campo, e  $\theta$  é o ângulo formado pelo campo magnético e a direção perpendicular ao plano da superfície. Três situações para fluxos diferentes para o mesmo campo magnético estão ilustradas abaixo:



FIGURA 35

No sistema internacional, medimos fluxo magnético por Weber:

$$[\Phi] = \text{Wb}$$

## 2.6 Indução Eletromagnética

Os Físicos são movidos várias vezes pela busca de simetrias na natureza. Um exemplo disto foi a descoberta da indução eletromagnética pelo inglês Michael Faraday em 1831. Ao observar a experiência de Oersted, em que uma corrente elétrica conseguia gerar um campo magnético, desvia não o ponteiro da bússola, Faraday questionava se o inverso poderia acontecer, ou seja, um campo magnético gerar uma corrente elétrica. Vários experimentos foram feitos, sem se obter provas da dedução anterior. Foi que Faraday, ao realizar o experimento descrito abaixo, terminou por corroborar suas idéias.

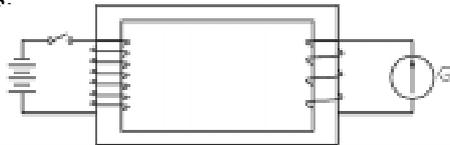


FIGURA 36

Faraday observou que o galvanômetro (instrumento para medir correntes pequenas) só acusava a passagem de corrente no circuito do lado direito no momento em que ele ligava ou desligava a chave do circuito do lado esquerdo da figura. Contudo, não era medida corrente pela direita quando a chave permanecia ligada. Recordando o que já comentamos em outra seção, na esquerda da figura, quando a chave permanece ligada, passa corrente pelo solenóide da esquerda, que gera dentro do solenóide (e no pedaço de ferro dentro dele) um campo magnético constante. Do outro lado, devido ao núcleo de ferro comum, aparece também um campo magnético no solenóide à direita da figura. A conclusão de Faraday foi que **não é a presença do campo magnético que provoca corrente, e sim a variação do fluxo do campo magnético!** Ao ligarmos ou desligarmos a chave do circuito, o campo está variando até o seu valor máximo ou diminuindo do máximo até zero. Enquanto há variação do fluxo do campo magnético no ferro, há corrente induzida no outro lado. Lembremos que para mantermos uma corrente em um condutor, precisamos de uma fem no circuito. Com isso, o enunciado da Lei de Faraday pode ser escrito como:

“Toda vez que um condutor estiver sujeito a uma variação de fluxo magnético, nele aparece uma fem induzida, enquanto o fluxo estiver variando.”

Matematicamente, a expressão da Lei de Faraday é:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

, em que  $\Delta\Phi$  é a variação do fluxo magnético em um certo intervalo de tempo  $\Delta t$  e  $N$  é o número de espiras através das quais o fluxo está variando. Na nossa discussão acima,  $N = 1$ . Quanto maior for o número de espiras, maior o valor da fem induzida.

Uma aplicação elementar da Lei de Faraday é o gerador linear ilustrado abaixo:

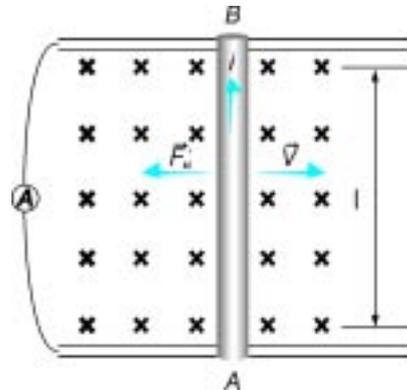


FIGURA 37

Os dois fios condutores que fecham o circuito com a barra AB, também condutora, que está sendo puxada com velocidade  $V$  em uma região com campo magnético constante. Ao puxarmos a barra, obviamente, o valor do campo magnético permanece constante. Será então que não mediremos corrente no amperímetro colocado entre os condutores? A Lei de Faraday nos diz que a variação **do fluxo** é que causa o surgimento de uma fem induzida. Quando puxamos a barra, a área retangular dentro do circuito que está sendo atravessada pelo campo está aumentando, logo, o fluxo do campo magnético também está aumentando, o que provoca o surgimento de uma fem no circuito, provocando a circulação de uma corrente. Vamos encontrar uma expressão para a fem induzida. O fluxo magnético será:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

Aqui  $A$  é a área onde está passando campo magnético dentro da espira,  $A = l \cdot x$ . O ângulo  $\theta$  é formado pela direção perpendicular ao plano da espira e o campo  $B$ , logo  $\theta = 0^\circ$  e  $\cos \theta = 1$ . Como o fluxo inicial era nulo (não havia área na espira), pela Lei de Faraday, temos para o módulo da fem induzida:

$$\varepsilon = l \cdot \frac{Blx}{\Delta t} = Blv$$

, sendo  $x/\Delta t$  nada mais do que a velocidade média do condutor que está sendo puxado.



# Eletrromagnetismo: Aplicações

# 3

Nos capítulos anteriores, vimos de forma simplificada os fenômenos elétricos, magnéticos e os dois combinados no eletromagnetismo, para que pudéssemos entender o funcionamento e as características de instrumentos, equipamentos e máquinas presentes no nosso cotidiano. Nesta parte de aplicações do curso, vamos ver como os fenômenos eletromagnéticos levaram ao funcionamento e as características de geradores, motores elétricos, transformadores, dentre outros que são tão comuns em nossos trabalhos.

### 3.1 O Gerador de Corrente Alternada

Logo após o desenvolvimento da Lei da Indução, o próprio Faraday idealizou um modelo de gerador que produzisse energia elétrica de uma maneira mais eficiente e duradoura do que as pilhas e baterias eletrolíticas de até então. O modelo original de gerador de Faraday tem em grande parte as características de um gerador moderno como o que ilustramos esquematicamente abaixo.

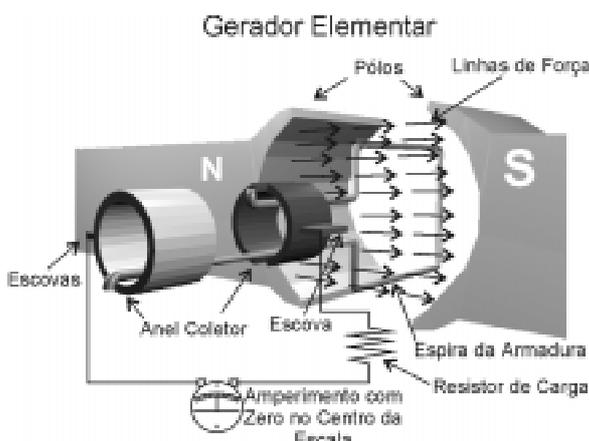
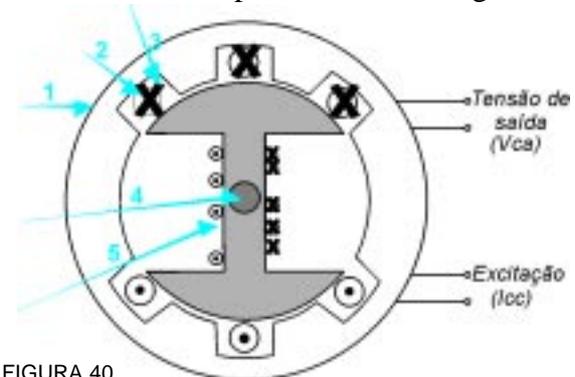


FIGURA 39

Este tipo de gerador, também chamado de alternador, produz uma tensão alternada, gerando portanto uma corrente alternada, que discutiremos posteriormente. Na figura 39, temos uma bobina colocada entre os pólos de um ímã, ou seja, ela está imersa no campo magnético compreendido entre os dois pólos.

Na verdade, são várias as espiras que constituem um enrolamento chamado de armadura. Os terminais da armadura são soldados aos anéis chamados de coletores. Encostadas nos anéis coletores estão as escovas (feitas geralmente de grafita), que fazem o contato elétrico, entregando então a fem e corrente induzidas a um circuito. Embora tenhamos colocado pólos de ímãs para simplificar a figura, na prática, o campo magnético em que está imersa a armadura é produzido por eletroímãs dispostos na carcaça do motor, o chamado estator. O enrolamento no estator é chamado de bobina de excitação de campo, a qual é alimentada por uma fonte de corrente contínua (CC). Um corte mais detalhado deste motor pode ser visto na figura 40:



1. Estator
2. Bobina de excitação de campo
3. Ranhuras que acomodam as bobinas de excitação no estator
4. Eixo da armadura
5. Armadura

Alguns geradores (e motores) têm esta montagem invertida: as bobinas de excitação de campo estão no lugar da armadura e estas é que são postas para girar. As espiras que compõem a armadura estão no estator, e sentem a variação de fluxo magnético devido ao movimento de rotação das bobinas de excitação. Fisicamente, os dois sistemas são equivalentes. Esta “montagem invertida” é utilizada em geradores trifásicos, dos quais falaremos posteriormente.

O funcionamento do alternador pode ser explicado assim: um eixo está ligado às armaduras, colocando o conjunto a girar. Quando as espiras da armadura começam a girar dentro do campo magnético, há uma variação de fluxo magnético através das espiras, já que a orientação destas em relação ao campo magnético está mudando continuamente. Pelas Leis de Faraday e Lenz, uma corrente é induzida na armadura, com os coletores jogando esta corrente no circuito elétrico onde elas serão utilizadas. Isso nada mais é que a conversão de energia mecânica em elétrica. Nas hidrelétricas, uma roda de pás acoplada ao eixo do alternador, gira com a passagem da água e gera eletricidade. Nas termoelétricas, a água é aquecida em caldeiras, o vapor resultante passa por uma turbina. O eixo da turbina está acoplado ao alternador, gerando eletricidade também.

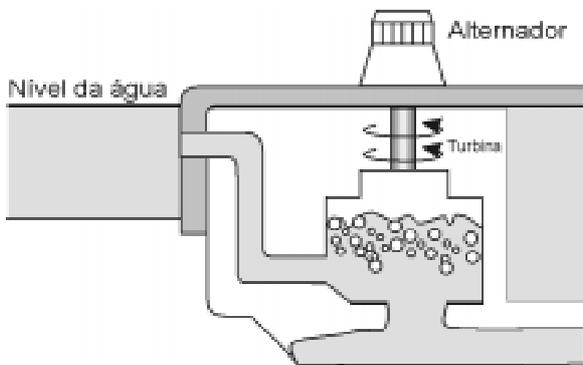


FIGURA 41 – A rotação da armadura pode ser obtida através da energia potencial do desnível de uma queda mediante uma turbina.

A expressão da fem induzida em um gerador é derivada daquela que encontramos para o gerador linear. Apenas devemos lembrar que a velocidade  $v$  naquela expressão é a componente da velocidade perpendicular ( $v_{\perp}$ ) ao campo magnético, já que a componente paralela não sofre influência do campo. Assim, observando  $\alpha$  na figura 42 e sua relação com as velocidades. Assim, temos que:

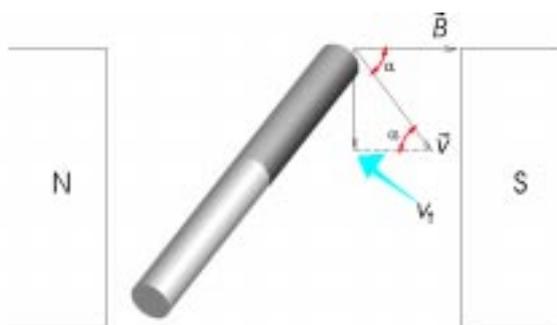


FIGURA 42

$$\epsilon = Blv_{\perp} = Blv \sin \theta$$

Na figura 43 vamos acompanhar uma revolução completa de uma espira para compreendermos porque a fem induzida (e por consequência a corrente) são geradas de forma alternada.

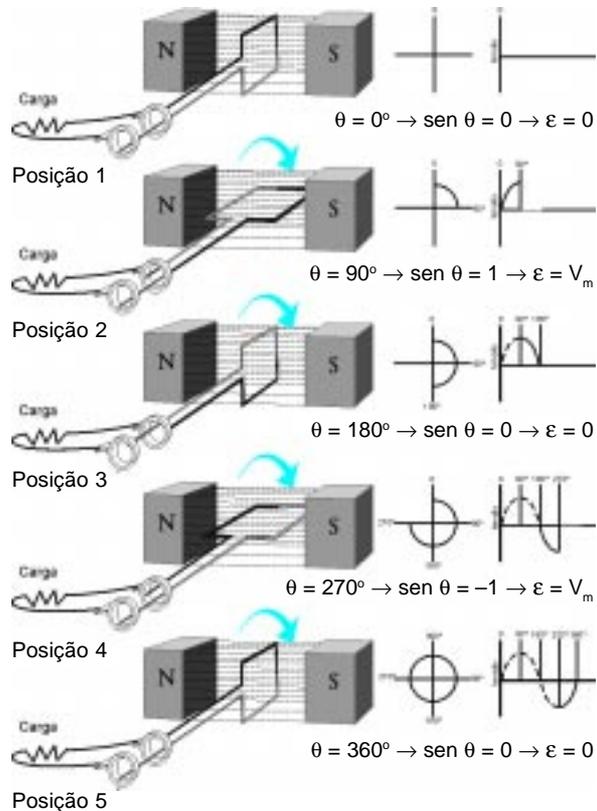


FIGURA 43 – Geração de 1 ciclo de tensão CA com um alternador de uma única espira.

Assim, temos o formato de uma onda senoidal para a tensão e corrente alternadas. Vamos agora definir alguns parâmetros usuais no trato das correntes alternadas ou (CA). Podemos começar reescrevendo a expressão para a fem CA como

$$\epsilon(t) = V_m \sin(\omega t)$$

, em que  $\omega$  é a chamada frequência angular da rotação da armadura, que se relaciona com a frequência propriamente dita ( $f$ , que é medida em ciclos por segundo, ou Hertz),

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$$

, sendo  $T$ , o período da rotação (medido em segundos), ou seja, o tempo necessário para a tensão completar um ciclo.

$V_m$  é o valor máximo da tensão gerada, que pode ser escrito como:

$$V_m = N\omega BA$$

De acordo com as notações que estamos utilizando,  $N$  é o número de espiras,  $B$  é o valor do campo magnético e  $A$  é a área da cada espira da armadura (supostas todas iguais).

A corrente elétrica  $CA$  gerada pode ser obtida da Lei de Ohm,  $V = Ri$ , porém,  $R$  aqui denota a resistência elétrica de todo o circuito a que esta fonte  $CA$  está ligada. Assim,

$$i(t) = \frac{\epsilon}{R} = \frac{V_m}{R} \text{sen}(\omega t) = i_m \text{sen}(\omega t)$$

Um parâmetro importante no estudo de correntes e tensões alternadas são os valores eficazes ou RMS da tensão e corrente. O valor RMS de uma corrente elétrica é aquele que equivale ao de uma corrente contínua que, em um intervalo de tempo igual ao período da corrente  $CA$ , ao passar por um resistor dissipa a mesma quantidade de energia. Os valores RMS de corrente e tensão são dados por:

$$i_{rms} = \frac{i_m}{\sqrt{2}} \qquad \epsilon_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

### 3.2 Geradores Polifásicos

Um sistema polifásico é constituído por duas ou mais tensões iguais geradas no mesmo dispositivo. Estas tensões são iguais, apenas estão defasadas uma em relação a outra. Vamos ver os dois exemplos mais simples a seguir.

#### Gerador Bifásico

A rotação de um par de bobinas perpendiculares entre si no campo magnético do gerador acarreta a geração de duas tensões iguais, mas defasadas de um quarto de rotação entre si. Isso porque, quando a bobina  $A$  da figura abaixo completa uma volta (um período da tensão alternada induzida), a bobina  $B$  passa pelo mesmo ponto após um quarto de volta do eixo do gerador. Como uma volta completa corresponde a  $360^\circ$  e um quarto de volta a  $90^\circ$ , dizemos então que estas ondas estão defasadas, ou possuem uma fase de  $90^\circ$ .

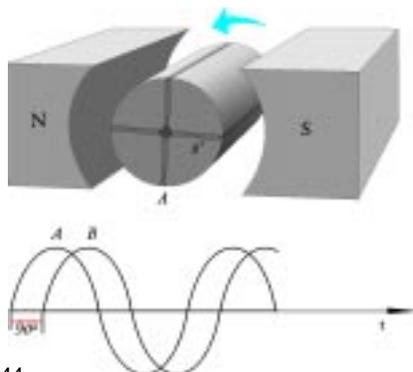


FIGURA 44

As tensões induzidas  $\epsilon_A$  e  $\epsilon_B$  são escritas como:

$$\epsilon_A(t) = V_m \text{sen}(\omega t) \quad \text{e} \quad \epsilon_B(t) = V_m \text{sen}(\omega t - 90^\circ)$$

#### Gerador Trifásico

Neste caso, temos 3 bobinas dispostas na armadura igualmente espaçadas. Logo, o espaçamento entre elas é de  $120^\circ$ , ou um terço de volta após a bobina  $A$ ,  $B$  completa seu ciclo, e dois terços de volta após ( $240^\circ$ ),  $C$  finalmente completa o ciclo. As tensões induzidas são dadas por:

$$\begin{aligned} \epsilon_A(t) &= V_m \text{sen}(\omega t) & \epsilon_B(t) &= V_m \text{sen}(\omega t - 120^\circ) \\ \epsilon_C(t) &= V_m \text{sen}(\omega t - 240^\circ) \end{aligned}$$

Abaixo vemos um modelo simplificado de gerador trifásico e a representação gráfica das diferenças de fase que relacionam as tensões.

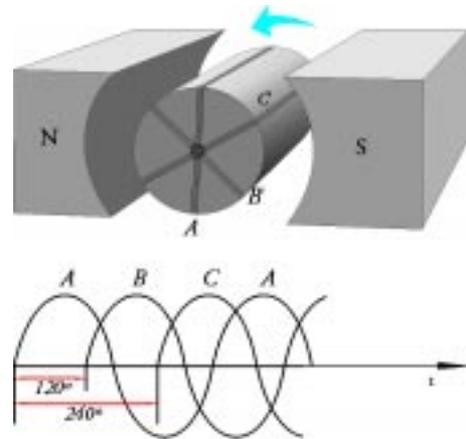


FIGURA 45

A máquina apresentada na figura acima é teórica, diversas limitações práticas impedem a sua utilização. Atualmente, como já comentamos, o campo é que gira enquanto o rolamento trifásico fica no estator. A vantagem disto é que como são geradas tensões da ordem de 10 kV ou mais, esta tensão elevada não precisa passar pelos anéis coletores e escovas, bastando fazer a tomada da tensão gerada através de um circuito ligado diretamente no estator. Na figura abaixo, vemos um corte esquemático deste tipo de gerador:

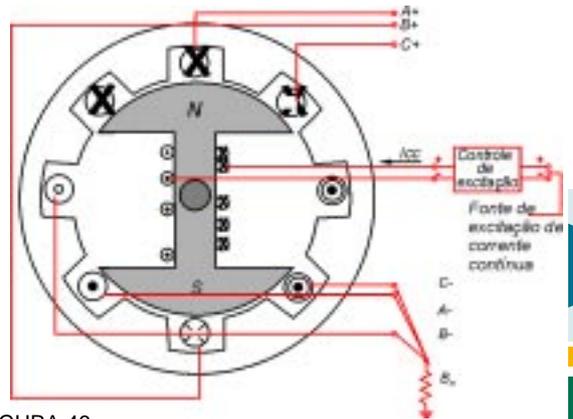


FIGURA 46

Os pontos A+, B+ e C+ das bobinas são os terminais ativos, onde as tensões geradas são fornecidas a condutores. Os pontos A-, B- e C- são os pontos que representam o início das bobinas. Estes pontos podem ser dispostos de duas maneiras:

Ligação “Delta”: Unem-se os seguintes terminais: A+ com B-; B+ com C-; C+ com A-.

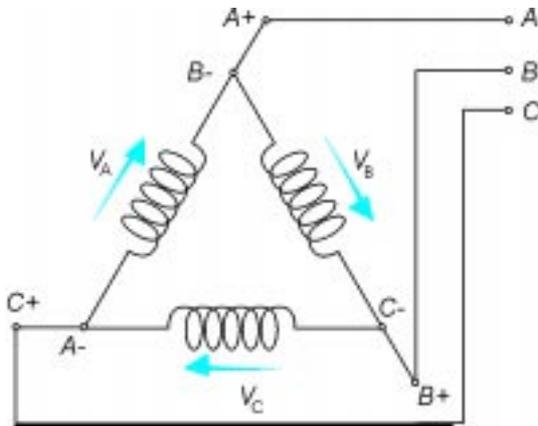


FIGURA 47

Ligação “Estrela”: esta é a mais usada no caso de geradores e está mostrada na figura abaixo:

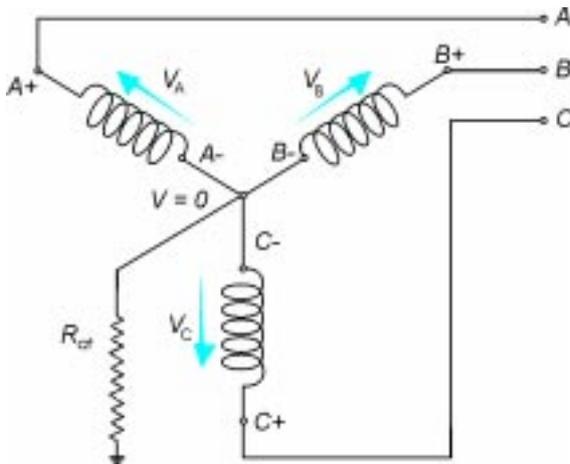


FIGURA 48.1 – Onde  $R_{at}$ : Resistência de aterramento.

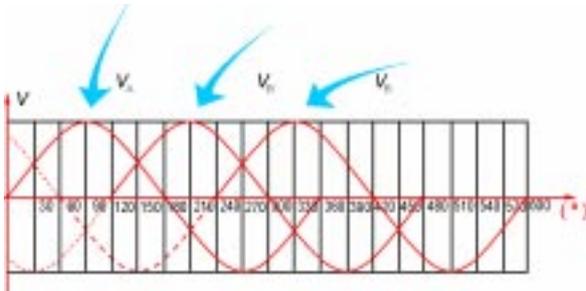


FIGURA 48.2

Os pontos A-, B- e C- são unidos podendo este ponto comum ser aterrado ou não. Na maioria das vezes ele é aterrado constituindo uma referência de tensão para o gerador (potencial nulo).

Controle do gerador através da bobina de excitação de campo:

É através do controle da corrente de excitação (a que percorre a bobina do eletroímã que vai gerar o campo estacionário), que se controla a tensão nos terminais da máquina e, portanto, a potência que ela pode fornecer. Assim, precisamos de uma fonte de corrente contínua que forneça a corrente de excitação. Esta fonte pode ser:

- Um gerador de corrente contínua independente;
- Um sistema que retifique tensão alternada fornecida pela concessionária;
- Uma excitatriz (gerador de corrente contínua), montada sobre o próprio eixo da máquina;
- Um sistema que tome a própria tensão gerada pela máquina, retifique-a e aplique no enrolamento de campo.

Como vantagens dos sistemas trifásicos sobre os monofásicos, os trifásicos exigem menos peso dos condutores do que os monofásicos de mesma especificação de potência e permitem maior flexibilidade na escolha de tensões. Além disso, o equipamento trifásico é mais leve e mais eficiente do que um monofásico de mesma especificação.

### 3.3 Gerador de Corrente Contínua

O princípio de funcionamento do gerador de corrente contínua (ou dínamo) é exatamente o mesmo, só que no lugar dos coletores, o dínamo tem um dispositivo chamado de comutador. Ele é utilizado para converter a corrente alternada que passa pela sua armadura em corrente contínua liberada através das escovas. O comutador geralmente é feito com um par de segmentos de cobre para cada bobina da armadura. Cada segmento do comutador é isolado dos demais e do eixo da armadura por lâminas de mica.

Na figura a seguir, temos um modelo simples de gerador CC de uma espira apenas. Na parte 1, à esquerda, o segmento 1 do comutador está em contato com a escova 1 e o segmento 2 do comutador, com a escova 2. Na parte 2, estes contatos são invertidos. Em virtude desta comutação, o lado da espira que está em contato com qualquer uma das escovas, está interceptando o campo magnético no mesmo sentido. Assim, as escovas 1 e 2 têm polaridade constante, não invertendo o sentido da corrente induzida na espira.

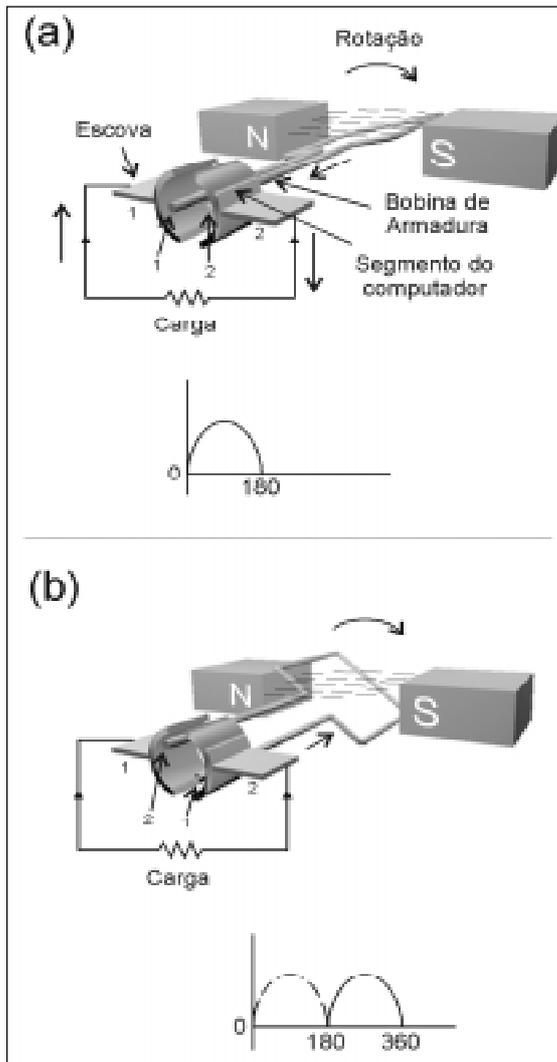
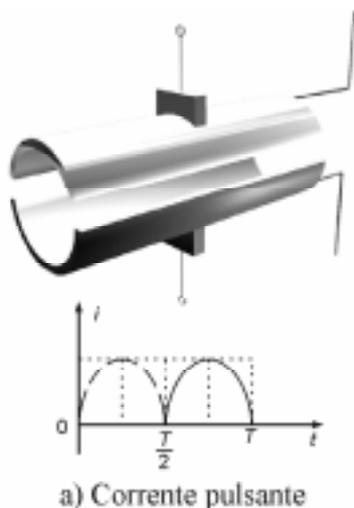
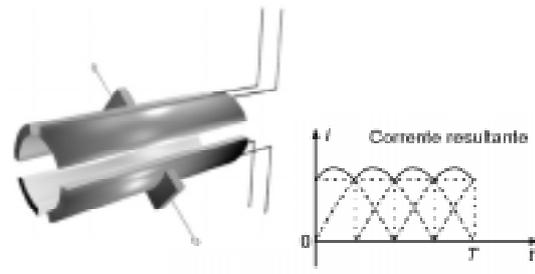


FIGURA 49

Na figura a seguir, vemos no gráfico que, colocando um par a mais de comutadores, a superposição das duas correntes geradas faz com que a senóide que representa a corrente total vá ficando mais "suave". Se formos aumentando o número de comutadores, a corrente fica praticamente contínua, então diremos que ela está retificada.



a) Corrente pulsante



b) Corrente praticamente contínua

FIGURA 50

A substituição do par de anéis por um computador permite obter corrente no mesmo sentido.

### 3.4 Corrente Alternada x Corrente Contínua

A energia elétrica possui vantagens evidentes sobre todas as outras formas de energia. Ela pode ser transportada por condutores a longas distâncias, com perdas de energia relativamente pequenas, e ser distribuída convenientemente aos consumidores. O mais importante é que a energia elétrica pode ser transformada facilmente em outros tipos de energia, como mecânica (motor elétrico), térmica (aquecedores, chuveiros), luminosa (lâmpadas), etc.

As aplicações de cada tipo de fonte de energia elétrica dependem de suas características específicas. Por exemplo, as máquinas eletrostáticas são capazes de produzir grandes diferenças de potencial, mas não podem produzir nos circuitos uma corrente de intensidade considerável. As pilhas e baterias podem produzir corrente elétrica de grande intensidade, mas a sua duração é ainda hoje muito limitada. Assim, em larga escala, atualmente, os geradores que já apresentamos anteriormente são os mais utilizados, devido à facilidade de construção e operação, além de facilmente produzirem correntes e tensões de grande intensidade.

A corrente elétrica alternada tem em relação à contínua a vantagem de permitir, sem grandes perdas de energia, transformar a tensão e a intensidade da corrente, de tal modo que essas grandezas possam assumir os mais variados valores, desde os maiores para permitir o transporte de energia a longas distâncias, até os menores, para o usuário doméstico.

Isto é possível em aparelhos como os transformadores, dos quais falaremos em seguida.

Outra flexibilidade no uso de corrente contínua ou alternada, é que, uma vez usando corrente contínua, podemos voltar a usar a alternada. Basta passar a corrente contínua em dispositivos chamados de inversores, que voltamos a contar com a corrente alternada.

### 3.5 Transformadores

O transformador consta de um núcleo de aço fechado e duas ou mais bobinas condutoras. Um dos enrolamentos, o primário, está ligado à fonte CA, enquanto que o outro enrolamento, denominado de secundário, é ligado ao circuito que levará a corrente com a tensão transformada. Na figura a seguir, temos o esquema de um transformador, bem como, a sua representação simbólica.

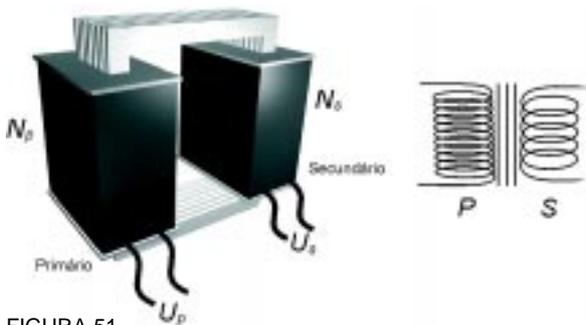


FIGURA 51 Transformador e, ao lado, seu símbolo convencional.

O funcionamento dos transformadores assenta no fenômeno de indução eletromagnética, que pressupõe a variação do fluxo do campo magnético como causa de uma corrente e tensão induzida em uma espira. No nosso caso, como estamos com corrente alternada no primário, o campo gerado neste enrolamento, é um campo de solenóide que já estudamos. Porém, no caso CA, a intensidade da corrente varia, logo, o valor do campo magnético acompanha esta variação, e esta variação de fluxo magnético do primário é transportada pelo núcleo de aço até o secundário. A variação de fluxo que chega ao secundário, provoca, de acordo com a Lei de Faraday, uma tensão induzida neste enrolamento. Note que, se a intensidade de corrente fosse constante, não teríamos variação do campo magnético, e, portanto, do fluxo, no primário ou secundário. Devido a isto, correntes contínuas não são convenientes para as concessionárias de energia, já que os mais diversos valores de tensão são necessários em uma operação de transmissão e geração de energia elétrica. Tais mudanças de tensão são feitas bem mais simplesmente com corrente alternada.

Sendo  $N_p$  o número de espiras do primário e  $N_s$  do secundário e  $V_s$  e  $V_p$  os valores das respectivas tensões, podemos chegar a seguinte relação:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Esta é a chamada razão de transformação. Se  $N_s > N_p$ , o transformador aumenta a tensão no secundário, então tal transformador é considerado um elevador de tensão. Se, do contrário,  $N_s < N_p$ , o transformador é um abaixador de tensão.

Os geradores potentes mais modernos têm uma eficiência em torno de 3% no que diz respeito à perda de energia. A perda de energia se dá com o efeito joule nos enrolamentos e no núcleo de ferro do transformador. Outra perda deve-se ao efeito das correntes de Foucault (correntes que surgem dentro dos metais maciços devido à indução). Como boa aproximação, poderíamos dizer que a potência de um transformador ( $P = Vi$ ) é aproximadamente constante, donde podemos obter a seguinte relação:

$$V_p i_p = V_s i_s$$

Na figura abaixo, temos um esquema simplificado de um sistema de distribuição de energia elétrica.

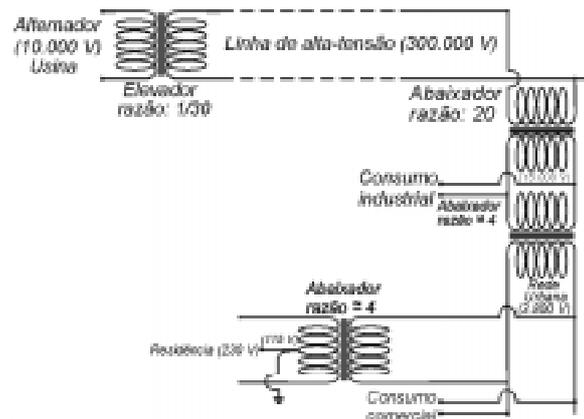


FIGURA 52 Esquema de um transporte de energia elétrica da usina até o consumo. Os transformadores estão representados pelos seus símbolos convencionais.

### 3.6 Capacitores

Quando falamos de trabalho e potencial elétrico, discutimos a capacidade do campo elétrico de armazenar energia. Seria interessante ter uma maneira de armazenar esta energia e torná-la disponível sempre que precisássemos. O dispositivo capaz de fazer isto é chamado de capacitor. Ele consiste de duas placas condutoras separadas entre si, ligadas e submetidas a uma ddp. Antes de ser carregado para utilização, o capacitor está neutro (fig 53.1). Podemos carregar um capacitor estabelecendo uma ddp entre as placas, ligando cada uma delas aos pólos de uma bateria, por exemplo (fig 53.2). Ao fecharmos a chave do circuito,

as cargas positivas são atraídas pelo pólo negativo da bateria, enquanto que as cargas negativas, pelo pólo positivo, o que acarreta em uma divisão de cargas positivas e negativas entre as duas placas. Este processo continua até que a ddp entre as placas carregadas iguale-se a ddp fornecida pela bateria (fig 53.3). Assim, o capacitor está carregado, surgindo um campo elétrico uniforme entre suas placas.

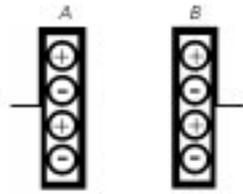


Fig 53.1 – Neutro

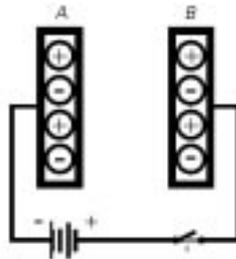


Fig 53.2 – Capacitor neutro

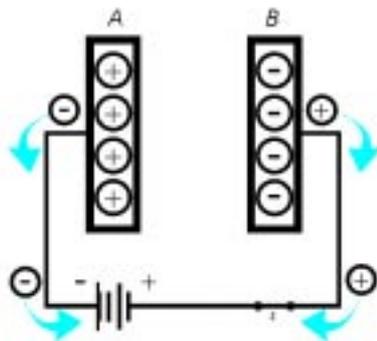


Fig 53.3 – Capacitor carregado

FIGURA 53

Como as cargas não podem passar pelo espaço vazio entre as placas, estas permanecem carregadas mesmo que a bateria seja removida (fig. 54.1). Se ligarmos as duas placas com um condutor, a tendência vai ser as cargas compensarem a ddp que há entre elas, neutralizando as placas novamente (fig 54.2). Este é o processo de descarga do capacitor.

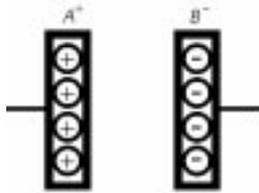


FIGURA 54.1

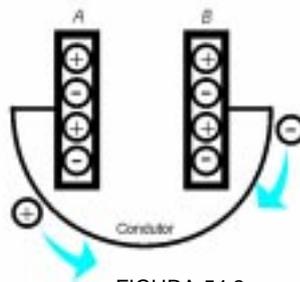


FIGURA 54.2

Há materiais mais eficientes do que outros para serem usados em capacitores. Observe-se que a carga que um condutor pode adquirir é diretamente proporcional à tensão a que ele está submetido:

$$Q = CV$$

A constante  $C$ , que faz a proporção entre a carga  $Q$  adquirida e a tensão  $V$  aplicada, é chamada de **capacitância**. No SI, a unidade de capacitância é o Farad, em homenagem ao próprio Faraday, que idealizou os primeiros capacitores.

$$[C] = F \Rightarrow F = C/V \text{ (Coulomb/Volt)}$$

Quanto maior for a capacitância de um dispositivo, mais carga ele pode acumular com a mesma tensão a que ele é submetido.

Um outro fato que foi descoberto pelo próprio Faraday é que preenchendo o espaço vazio entre as placas com um material dielétrico (isolante), o valor da capacitância aumentava. Note que é um dielétrico, porque obviamente se preenchermos com material condutor o espaço entre as placas, as cargas poderiam usar o condutor para novamente restabelecer o equilíbrio de cargas. A relação que temos para este fato é:

$$C = kC_0$$

, em que  $C_0$  é a capacitância no capacitor a vácuo,  $C$  é a capacitância utilizando o dielétrico e  $k$  é um parâmetro adimensional, chamado de constante dielétrica, específico de cada material.

Alguns parâmetros que influenciam na capacitância:

- Distância entre as placas: menor distância, maior capacitância.
- Área das placas: maior área, maior capacitância.
- Formato do capacitor: esférico, cilíndrico, placas paralelas.
- Tipo de dielétrico utilizado.

Na tabela abaixo, alguns tipos de capacitores e os valores de capacitância usuais que cada um deles fornece:

Dielétrico	Construção	Faixa de Capacitância
Ar	Placas entrelaçadas	10 – 400 pF
Mica	Folhas superpostas	10 – 5000 pF
Papel	Folhas enroladas	0,001 – 1μF
Cerâmica	Tubular	0,5 – 1600 pF
	Disco	0,002 – 0,1 μF
Eletrolítico	Alumínio	5 – 1000 μF
	Tântalo	0,01 – 300 μF

### 3.7 Indutores

Em um circuito elétrico, circulando corrente, temos que a própria corrente gera um campo magnético ao seu redor, que pode influenciar o comportamento do próprio circuito. Este é o fenômeno da auto-indução. No circuito ilustrado abaixo, por causa do campo magnético produzido pela corrente, teremos então um fluxo magnético auto-induzido no circuito, que é dado por:

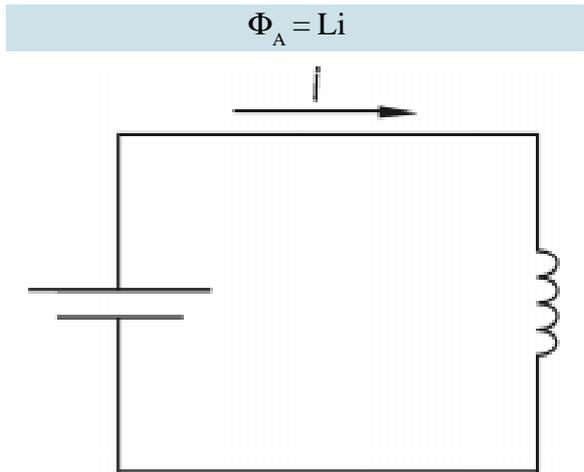


FIGURA 55

$L$  é uma característica do circuito, chamada de indutância. Quanto maior a indutância de um circuito, maior o fluxo auto-induzido através dela para um mesmo valor de corrente elétrica. No SI, as unidades de medida de indutância são:

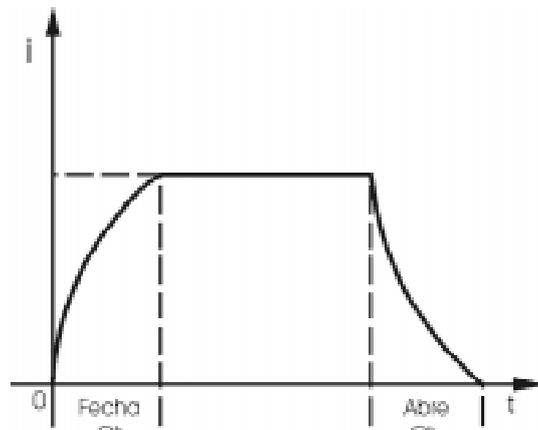
$[L] = \text{Wb/A} = \text{H (Henry)}$

Elementos do circuito que geram grande indutância são chamados de indutores. As bobinas são os exemplos mais significativos de indutores. A indutância aqui seria uma medida da capacidade de uma bobina de gerar um fluxo. Esta indutância depende do número de espiras da bobina, do material que compõe o seu núcleo (no caso de eletroímãs, por exemplo) e do formato geométrico da bobina.

Podemos agora pensar em termos da Lei de Faraday. Considerando que uma corrente em um circuito gera um campo magnético e um fluxo auto-induzido, se variarmos a corrente, estaremos variando o campo e, por consequência, o próprio fluxo. Então, toda vez que variamos o fluxo magnético, surge no circuito uma fem auto-induzida.

$\epsilon_A = \frac{\Delta\Phi_A}{\Delta t} = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$

O sinal negativo, lembremos, vem da Lei de Lenz, a fem auto-induzida opõe-se às causas que a criaram. Assim, ao ligarmos um circuito, a fem auto-induzida opõe-se à corrente que chega ao circuito. Isto significa que se formos medir a corrente do circuito, esta não saltará de zero até um certo valor instantaneamente, mas aumentará suavemente, até vencer a fem auto-induzida do circuito. Com o mesmo raciocínio, ao desligarmos a corrente, esta não desaparecerá instantaneamente, porque agora a fem auto-induzida opõe-se ao seu desaparecimento, fazendo com que a corrente também termine suavemente. Tal comportamento está ilustrado no gráfico abaixo:

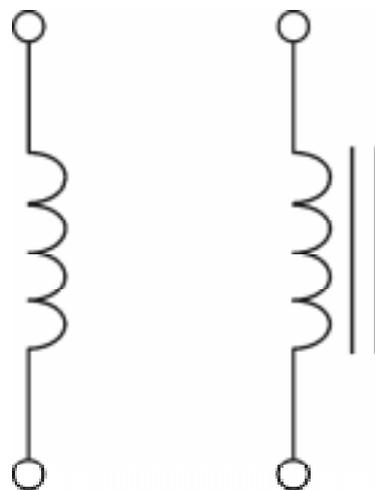


Varição de corrente ao se fechar e abrir um circuito.

FIGURA 56

Da mesma maneira que um capacitor é utilizado para armazenar a energia do campo elétrico, o indutor é utilizado para armazenar a energia contida em um campo magnético.

Abaixo temos as representações mais usuais para os indutores:



a) Só a bobina.

b) Indutor com núcleo metálico.

FIGURA 57

### 3.8 Capacitores, Indutores e Corrente Alternada

Trabalhar com circuito de corrente contínua é bem mais fácil, porque não há variações de corrente nem de campos que façam surgir efeitos como os que relatamos na seção anterior. Efeitos que podem acontecer são apenas atrasos no carregamento do circuito, conforme já relatado.

Ao trabalharmos com correntes alternadas, a situação é diferente, já que com a corrente variando, os campos elétricos e magnéticos também variam consideravelmente. Vamos dar dois exemplos bem simples para podermos situar o problema:

#### Circuitos puramente indutivos:

A principal característica do circuito indutivo é que a corrente está defasada em relação a fem em 90°. O motivo deste atraso é a fem auto-induzida que surge no circuito, atrasando a circulação inicial da corrente.

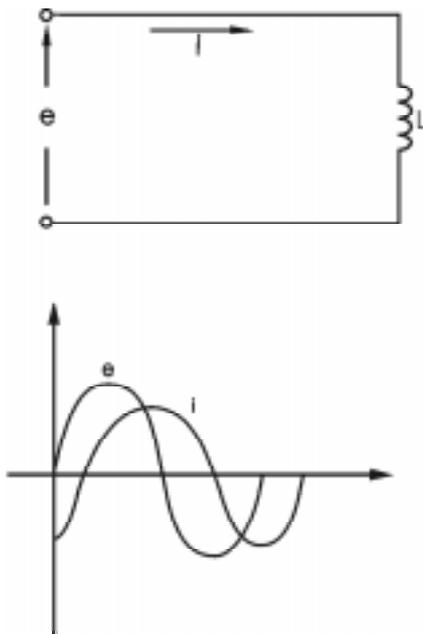


FIGURA 58

Os valores instantâneos da tensão e da corrente são dados por:

$$\varepsilon(t) = V_m \text{sen}(\omega t) \quad \text{e} \quad i(t) = i_m \text{sen}(\omega t - 90^\circ)$$

Para calcularmos a corrente em um circuito puramente indutivo, calculamos o valor da oposição oferecida à passagem da corrente alternada pelo indutor (bobina), que chamamos de **reatância indutiva**:

$$X_L = 2\pi fL$$

Onde  $f$  é a frequência da fem e  $L$  é a indutância da bobina. Por se tratar de uma forma de resistência à corrente, a unidade de reatância indutiva também é o Ohm ( $\Omega$ ). Assim, pela lei de Ohm, temos que a corrente eficaz em um circuito puramente indutivo é dada por:

$$i_{\text{rms}} = \frac{\varepsilon_{\text{rms}}}{X_L}$$

#### Circuito Puramente Capacitivo:

Quando ligamos um capacitor a uma fonte CA, surge uma corrente que é, na verdade, o resultado do deslocamento de cargas para carregar o capacitor, ora com uma polaridade, ora com outra. É interessante lembrar que a corrente não passa pelo capacitor, porque ou não há nada entre as placas, ou há um dielétrico. No processo de carga de um capacitor, surge uma tensão entre suas placas. Por isso, em um circuito capacitivo, a tensão está defasada de 90° em relação à corrente.

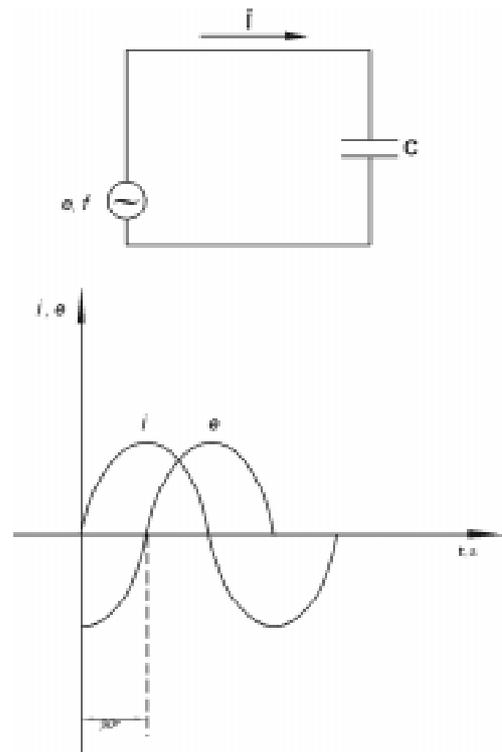


FIGURA 59

Os valores instantâneos são:

$$\varepsilon(t) = V_m \text{sen}(\omega t - 90^\circ) \quad \text{e} \quad i(t) = i_m \text{sen}(\omega t)$$

Da mesma maneira que no indutor, podemos admitir um elemento de oposição à corrente alternada, que neste caso chamaremos de **reatância capacitiva**, também medida em Ohms.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

A corrente eficaz também é calculada pela lei de Ohm:

$$i_{rms} = \frac{\epsilon_{rms}}{X_C}$$

Na tabela abaixo, fazemos um resumo das principais diferenças entre os comportamentos de capacitores e indutores:

Comportamento	Capacitor	Indutor
Energia	Armazena energia do campo elétrico	Armazena energia do campo magnético
Atraso	Provoca atraso na tensão	Provoca atraso na corrente
Reatância	Baixa reatância para variações bruscas da tensão ou da corrente	Alta reatância para variações bruscas da tensão ou da corrente

### 3.9 Potência em Circuitos CA

Todo o processo que depende de capacitores e indutores envolve consumo de energia, visto que tais elementos agora opõem-se à passagem da corrente alternada, fazendo o papel de resistências. Assim, nem toda a energia fornecida pela fonte CA é totalmente transformada em trabalho no circuito. O cálculo exato do valor das potências envolve diretamente o cálculo dos valores das correntes que percorrem o circuito. Tal cálculo nem sempre é trivial e deve ser feito com a ajuda de elementos matemáticos como diagramas de fasores ou números complexos. Muito embora tal abordagem não seja objetivo da presente fase do curso, é importante mencioná-la, uma vez que a mesma será vista mais a frente neste processo de capacitação. Vamos aqui definir apenas os tipos de potência que aparecem nestes circuitos:

#### Potência Aparente (S)

É a potência realmente fornecida pela fonte CA, medida em Volt-Ampères (VA).

$$S = \epsilon_{rms} i_{rms}$$

Observe que, em um circuito CC equivalente, esta potência é semelhante àquela entregue pela fonte de fem:  $Pot = Vi$ .

#### Potência Ativa (P)

É a potência que realmente produz trabalho. Por exemplo, num motor, é a parcela de potência absorvida da fonte que é transferida em forma de potência mecânica do eixo. Sua unidade é o Watt (W).

$$P = \epsilon_{rms} i_{rms} \cos \phi$$

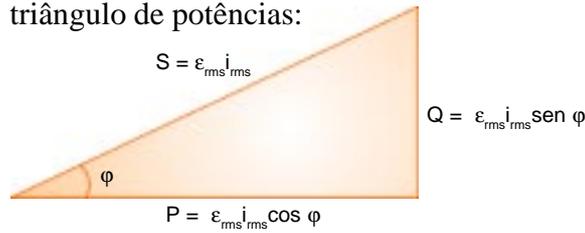
$\phi$  é o ângulo de fase entre tensão e corrente. A quantidade  $\cos \phi$  é chamada de fator de potência.

#### Potência Reativa (Q)

É a potência solicitada por indutores e capacitores. Ela circula pelo circuito sem realizar trabalho. Sua unidade é o Volt-Ampère reativo (var).

$$Q = \epsilon_{rms} i_{rms} \sin \phi$$

A relação entre estas potências e o fator de potência pode ser visualizada através do triângulo de potências:



Do triângulo de potências se tira a definição de fator de potência:

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

Os aparelhos de corrente alternada são geralmente caracterizados por sua potência aparente. Isto porque, por exemplo, um gerador de 100 kVA poderá fornecer uma potência ativa de 100 kW em um circuito onde  $\cos \phi = 1$  ou 70 kW a um circuito onde  $\cos \phi = 0,7$ . Assim, deve-se ter cuidado no projeto e manutenção de circuitos elétricos, já que o mesmo equipamento pode fornecer uma baixa potência ativa apenas porque não está funcionando em condições adequadas, já que o fator de potência igual a 1 é a condição ideal para qualquer circuito elétrico.

Em instalações industriais trifásicas, os valores do fator de potência podem ser estimados como:

- Circuitos de luz, resistores:  $\cos \phi = 1$
- Circuitos de força e luz:  $\cos \phi = 0,8$
- Motores de indução à plena carga:  $\cos \phi = 0,9$
- Motores de indução com 1/2 a 3/4 da carga:  $\cos \phi = 0,8$
- Motores funcionando sem carga:  $\cos \phi = 0,2$

O rendimento de um motor elétrico pode ser calculado pela relação entre a potência entregue pelo motor, que é medida no eixo deste, e a potência elétrica absorvida, medida em seus terminais. Nesta transformação de potência elétrica em potência mecânica, sempre há perdas intrínsecas devido ao efeito joule, as perdas no ferro e as perdas mecânicas.

Contudo, ao falarmos de fator de potência e nas potências definidas através dele, estamos enfatizando o fato de que a corrente absorvida por um motor é defasada em relação à tensão aplicada, já que o motor absorve potência ativa e potência reativa indutiva.

### 3.10 Circuitos Trifásicos

Agora que já discutimos geradores polifásicos (seção 3.2) e potência em circuitos CA (seção 3.9), podemos passar a uma introdução aos circuitos trifásicos.

Os circuitos monofásicos podem ser encontrados em escala maior na iluminação, pequenos motores e equipamentos domésticos. Contudo, para sistemas industriais, o sistema trifásico é mais eficiente e, portanto, o mais utilizado.

Na seção 3.2, discutimos a geração em um circuito trifásico, que produz fem's alternadas de mesma frequência, porém defasadas entre si de um ângulo definido. Se este ângulo for de 120°, dizemos que o sistema é simétrico. Cada circuito do sistema constitui uma fase; as fases são ligadas entre si, de modo a oferecer uma carga praticamente constante como fonte de alimentação. Um sistema trifásico é dito balanceado quando as condições em cada fase são as mesmas, tais como valor da corrente e fator de potência.

As vantagens dos sistemas trifásicos sobre os monofásicos são:

1. Como já comentamos anteriormente, para um mesmo tamanho, os geradores e os motores trifásicos são de maior potência que os monofásicos.
2. As linhas de transmissão trifásicas têm menos material condutor (cobre, principalmente) que as monofásicas, para transportar a mesma potência.
3. Os motores trifásicos têm uma saída mais uniforme, enquanto os monofásicos (exceto os de comutador) têm uma saída em forma de pulso.

A partir dos esquemas apresentados na seção 3.2, podemos tirar uma propriedade fundamental dos sistemas trifásicos simétricos: a soma dos valores instantâneos das fem's geradas no circuito é constante e igual a zero. Se o sistema trifásico também for balanceado, a soma dos valores instantâneos das correntes também é igual a zero. Esta importante propriedade permite reduzir o número de fios de linha, de seis para três.

As duas ligações já estudadas, triângulo e estrela, têm disposições de correntes e tensões diferentes, que podem ser resumidas na tabela abaixo:

Ligação	Tensão Induzida	Corrente
Estrela	$\epsilon_{\text{linha}} = \sqrt{3} \times \epsilon_{\text{fase}}$	$I_{\text{linha}} = I_{\text{fase}}$
Triângulo	$\epsilon_{\text{linha}} = \epsilon_{\text{fase}}$	$I_{\text{linha}} = \sqrt{3} \times I_{\text{fase}}$

#### Potência em sistemas trifásicos balanceados

A potência elétrica em um sistema trifásico é a soma das potências de cada fase, em qualquer um dos dois tipos de ligação acima. Se o sistema estiver balanceado, a tensão e a potência são iguais em todas as fases, estando defasadas sempre do mesmo ângulo. Assim, a potência ativa por fase será:

$$P = \epsilon_f I_f \cos \theta$$

,em que  $\theta$  é o ângulo entre as fases. Em termos das voltagens e correntes de linha, temos que:

Na ligação em estrela:

$$P = 3\epsilon_f I_f \cos \theta = 3 \frac{\epsilon_l}{\sqrt{3}} I_l \cos \theta = \sqrt{3} \epsilon_l I_l \cos \theta$$

Na ligação em triângulo:

$$P = 3\epsilon_f I_f \cos \theta = 3 \frac{I_l}{\sqrt{3}} \epsilon_l \cos \theta = \sqrt{3} \epsilon_l I_l \cos \theta$$

Nos dois casos, temos expressões idênticas! O mesmo raciocínio nos leva para a potência aparente:

$$S = \sqrt{3} \epsilon_l I_l$$

e para a potência reativa:

$$Q = \sqrt{3} \epsilon_l I_l \sin \theta$$

A potência instantânea de um sistema trifásico sempre é igual ao triplo da potência média por fase. Se o sistema estiver balanceado, esta potência também é constante, o que se constitui em uma grande vantagem na operação de motores trifásicos, pois significa que a potência disponível no eixo também é constante.

#### Ligação das cargas em um sistema trifásico

As cargas em um sistema trifásico podem ser ligadas em estrela ou triângulo, mas uma determinada carga não pode, em geral, passar de uma ligação para outra, pois esta operação envolve uma mudança na voltagem.



# Complementos

# 4

## 4.1 Medidas Elétricas

Todos os fenômenos e processos que comentamos aqui não fazem sentido sem interação com a nossa realidade prática. Uma dificuldade inicial é que ninguém "vê" um campo magnético, tudo o que fazemos, por exemplo, são medições indiretas dos seus efeitos. Além dos que citamos ao longo do curso (bússolas, imãs, condutores), existem outros instrumentos que são fundamentais porque fornecem números como resultados de medições, o que facilita o cálculo e o estudo dos fenômenos eletromagnéticos.

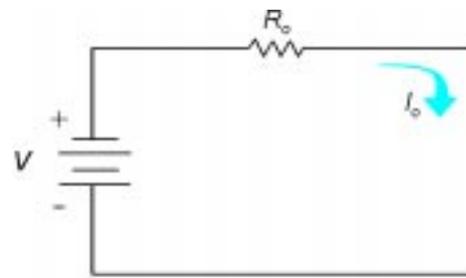
Amperímetros, voltímetros, ohmímetros e wattímetros são os aparelhos mais utilizados para medir corrente, tensão, resistência e potência, respectivamente. Os tipos mais utilizados na medição de tensão e corrente são os medidores eletromecânicos CC ou CA. O mecanismo sensor mais utilizado em amperímetros e voltímetros CC é um dispositivo sensor de corrente bastante sensível, o galvanômetro. Ele também é chamado de mecanismo medidor D'Arsonval ou mecanismo de bobina móvel e imã permanente. A bobina móvel está disposta entre os pólos de um imã permanente, ficando, portanto, sob os efeitos do campo magnético deste imã. Quando a corrente circula pela bobina, o campo do imã vai exercer uma força nos fios que a compõem. Como a bobina é móvel, esta força exerce um torque que a faz girar. A rotação da bobina é limitada por uma mola helicoidal, assim, o movimento da bobina e, por conseqüência, do ponteiro a ela acoplado é proporcional à corrente que passa pela bobina. Um modelo de um instrumento de medida em corte está na figura 60.



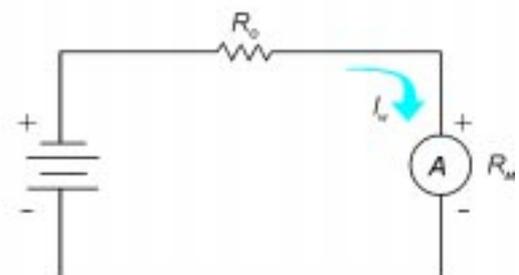
FIGURA 60

## Amperímetros

A escala de um amperímetro pode ser calibrada em ampères, miliampères ou microampères. O maior valor de corrente que um amperímetro pode medir é chamado de fundo de escala. Para medir o valor da corrente que circula por um circuito, o amperímetro deve estar ligado em série neste circuito (figura 61).



a)  $I_0$  corrente verdadeira, sem o amperímetro no circuito.



a)  $I_w$  corrente medida, com o amperímetro no circuito

FIGURA 61

A adição do amperímetro, com a fiação da bobina, acarreta em um aumento da resistência do circuito, que é igual à resistência interna do medidor,  $R_M$ . Assim, pela Lei de Ohm, a corrente sem o medidor é:

$$I_0 = \frac{V}{R_0}$$

Com o amperímetro inserido, a corrente agora é:

$$I_w = \frac{V}{R_0 + R_M}$$

Definimos, então, a **exatidão do medidor**,  $K_A$ :

$$K_A = \frac{I_w}{I_0} = \frac{R_0}{R_0 + R_M}$$

A porcentagem de erro de carga é o erro percentual na leitura de um amperímetro devido ao acréscimo no circuito da resistência intrínseca do medidor.

$$\text{Erro de carga}(\%) = (1 - K_A) \cdot (100\%)$$

Uma leitura que está 100% exata é aquela em que o erro é, obviamente, 0%. Uma leitura de 95% de exatidão indica um erro de carga de 5% e assim por diante.

O segundo erro que pode ocorrer em um amperímetro real é o erro de calibração, que surge do fato da escala do medidor não ter sido marcada (calibrada) de forma exata. A especificação deste tipo de erro é dada em termos de fundo de escala. Tipicamente, estes valores estão por volta de 3% do fundo de escala correspondente.

### Voltímetro

Para medirmos corretamente uma tensão, temos que construir um voltímetro. Note que não podemos utilizar simplesmente o amperímetro para fazer tal medida, já que quando a corrente passar pela resistência interna  $R_M$  do medidor, ocorre uma queda de tensão  $V' = R_M I$ . Assim, a tensão indicada em um trecho do circuito não teria o valor correto indicado na leitura. Assim, o voltímetro é construído de uma grande resistência  $R_S$  em série com o amperímetro de resistência interna  $R_M$  (figura 62).

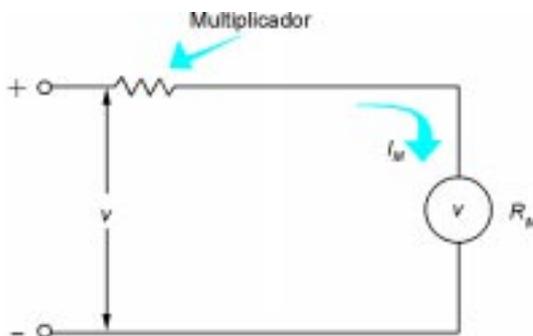


FIGURA 62 – Voltímetro CC simples.

Desta maneira, a relação de medida de um voltímetro é dada por:

$$V_{\text{lido}} = V_{\text{exato}} - Ri$$

Em que  $R$  é a resistência do trecho do circuito onde queremos medir a tensão e  $i$  é a corrente que passa pelo voltímetro. O resultado da medida será tanto melhor quanto menor for a corrente que passe pelo voltímetro. Para que isso aconteça, o ideal é que a resistência  $R_S$  seja consideravelmente grande quando comparada com as outras presentes no circuito. Assim, a corrente pouco será desviada para o instrumento, fazendo com que:

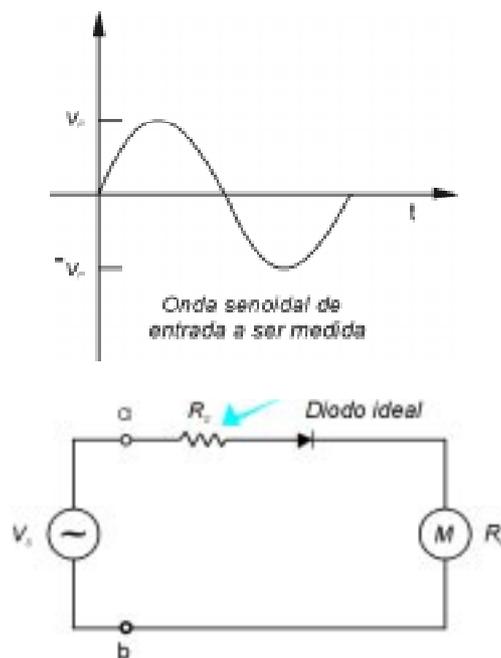
$$V_{\text{lido}} \cong V_{\text{exato}}$$

### Medidores de Corrente Alternada

Estes medidores medem valores de corrente e tensão que variam periodicamente no tempo, como já estudamos. Em baixas frequências, abaixo de 1000 Hz, o conjunto funciona bem e não é diferente daqueles que já comentamos acima. Contudo, se estivermos trabalhando em uma faixa de frequência mais alta, o conjunto da bobina móvel pode não seguir as rápidas variações de corrente devido à inércia. Assim, os valores CA têm que ser primeiro convertidos em CC e depois aplicados em um galvanômetro de D'Arsonval.

A escala dos medidores CA pode ser calibrada tanto em função dos valores médios como dos RMS (eficazes), embora estes últimos sejam mais utilizados.

O tipo mais simples de voltímetro CA é aquele com circuito retificador de meia onda. Na figura 63, a tensão entre os terminais ab é medida, lembrando que este sinal é uma onda senoidal com valor de pico  $V_p$ .



(a) Retificador de meio onda.

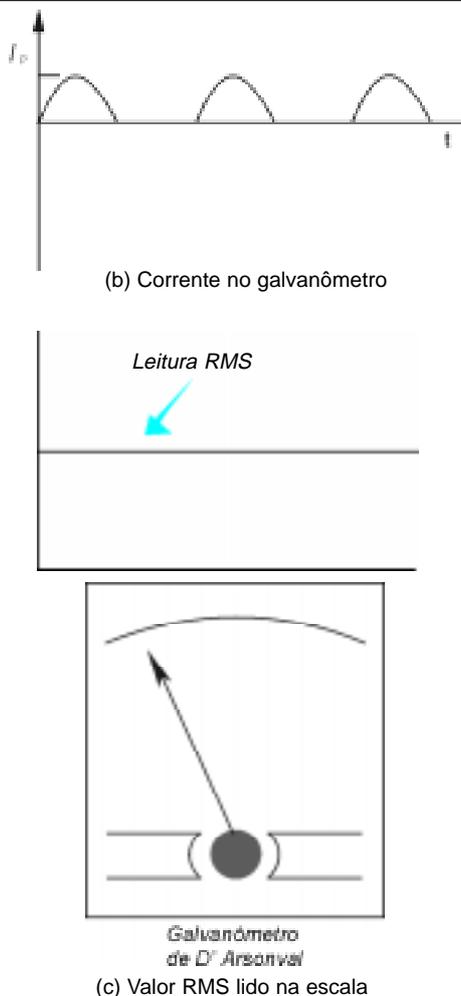


FIGURA 63

O elemento novo adicionado no circuito, o diodo, é um dispositivo que permite que a corrente flua normalmente durante o semiciclo positivo e apresenta uma alta resistência à corrente no outro sentido, durante o semi-ciclo negativo. A corrente resultante atravessa o galvanômetro, que pode estar calibrado para mostrar o valor médio,  $I_{av}$ :

$$I_{av} = 0,318I_p$$

Ou mostrar o valor RMS (eficaz):

$$I_{rms} = 0,707I_p$$

O valor médio indicado sempre está correto, para os tipos de onda mais usuais. Contudo, o valor RMS indicado só é o correto para tensões e correntes que variem de forma senoidal.

Para o circuito simples mostrado na figura 63, pela Lei de Ohm, temos que:

$$V_p = (R_s + R_M)I_p$$

$$V_{rms} = 0,707(R_s + R_M)I_p$$

$$V_{rms} = 2,22(R_s + R_M)I_{av}$$

Assim, conseguimos relacionar o valor eficaz da tensão com os valores médio e de pico da corrente CA no circuito.

## 4.2 Unidades de Medidas

### O Sistema Internacional de Unidades (MKS ou SI):

Unidades fundamentais ou de base:

Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	kg
Tempo	Segundo	s
Corrente elétrica	Ampère	a
Temperatura	Kelvin	k
Intensidade luminosa	Candela	cd
Quantidade de matéria	Mole	mol

Unidades derivadas:

Grandeza	Unidade	Símbolo
Energia	Joule	J
Força	Newton	N
Potência	Watt	W
Carga elétrica	Coulomb	C
Potencial elétrico	Volt	V
Resistência elétrica	Ohm	$\Omega$
Indutância elétrica	Henry	H
Condutância elétrica	Siemens	S
Capacidade elétrica	Farad	F
Frequência	Hertz	Hz
Fluxo magnético	Weber	Wb
Indução magnética (B)	Tesla	T
Campo elétrico	Volt/metro	V/m

Prefixos métricos utilizados em eletricidade:

Prefixo	Símbolo	Valor
mega	M	1 000 000 ( $10^6$ )
quilo	k	1 000 ( $10^3$ )
mili	m	0,001 ( $10^{-3}$ )
micro	$\mu$	0,000 001 ( $10^{-6}$ )
nano	n	0,000 000 001 ( $10^{-9}$ )
pico	p	0,000 000 000 001 ( $10^{-12}$ )

Exemplos:

- 53000 V = 53.1000 V = 53 kV
- 3400000 C = 3,4.1 000 000 = 3,4 MC
- 0,007 F = 7.0,001 = 7 mF
- 0,000 0063 T = 6,3.0,000 001 = 6,3  $\mu$ T

## Exercícios

**01.** Duas esferas condutoras, 1 e 2, de raios  $r_1$  e  $r_2$ , onde  $r_1 = 2r_2$ , estão isoladas entre si e com cargas  $q_1$  e  $q_2$ , sendo  $q_1 = 2q_2$  e de mesmo sinal. Quando se ligam as duas esferas por um fio condutor, pode-se afirmar que:

- haverá movimento de elétrons da esfera 1 para a esfera 2.
- haverá movimento de elétrons da esfera 2 para a esfera 1.
- não haverá movimento de elétrons entre as esferas.
- o número de elétrons que passa da esfera 1 para a esfera 2 é o dobro do número de elétrons que passa da esfera 2 para a esfera 1.
- o número de elétrons que passa da esfera 2 para a esfera 1 é o dobro do número de elétrons que passa da esfera 1 para a esfera 2.

**02.** Tem-se 3 esferas condutoras idênticas A, B e C. As esferas A (positiva) e B (negativa) estão eletrizadas com cargas de mesmo módulo  $Q$ , e a esfera C está inicialmente neutra. São realizadas as seguintes operações:

- Toca-se C em B, com A mantida à distância, e em seguida separa-se C de B;
- Toca-se C em A, com B mantida à distância, e em seguida separa-se C de A;
- Toca-se A em B, com C mantida à distância, e em seguida separa-se A de B.

Podemos afirmar que a carga final da esfera A vale:

- zero.
- $+Q/2$ .
- $-Q/4$ .
- $+Q/6$ .
- $-Q/8$ .

**03.** Em 1990, transcorreu o cinquentenário da descoberta dos “chuveiros penetrantes” nos raios cósmicos, uma contribuição da física brasileira que alcançou repercussão internacional. [O Estado de São Paulo, 21/10/90, p.30]. No estudo dos raios cósmicos, são observadas partículas chamadas “píons”. Considere um pión com carga elétrica  $+e$  se desintegrando (isto é, se dividindo) em duas outras partículas: um “múon” com carga elétrica  $+e$  e um “neutrino”. De acordo com o princípio da con-

servação da carga, o “neutrino” deverá ter carga elétrica:

- $+e$ .
- $-e$ .
- $+2e$ .
- $-2e$ .
- nula.

**04.** Uma partícula está eletrizada positivamente com uma carga elétrica de  $4,0 \times 10^{-15} \text{ C}$ . Como o módulo da carga do elétrons é  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , essa partícula

- ganhou  $2,5 \times 10^4$  elétrons.
- perdeu  $2,5 \times 10^4$  elétrons.
- ganhou  $4,0 \times 10^4$  elétrons.
- perdeu  $6,4 \times 10^4$  elétrons.
- ganhou  $6,4 \times 10^4$  elétrons.

**05.** Um bastão isolante é atritado com tecido e ambos ficam eletrizados. É correto afirmar que o bastão

- ganhou prótons e o tecido ganhou elétrons.
- perdeu elétrons e o tecido ganhou prótons.
- perdeu prótons e o tecido ganhou elétrons.
- perdeu elétrons e o tecido ganhou elétrons.
- perdeu prótons e o tecido ganhou o prótons.

**06.** Considere o campo elétrico criado por:

I. Duas placas metálicas planas e paralelas, distanciadas de  $1,0 \text{ cm}$ , sujeitas a uma d.d.p de  $100 \text{ V}$ .

II. Uma esfera metálica oca de raio  $2,0 \text{ cm}$  carregada com  $2,5 \mu\text{C}$  de carga positiva.

Quais as características básicas dos dois campos elétricos? A que distância do centro da esfera, um elétron sofreria a ação de uma força elétrica de módulo igual à que agiria sobre ele entre as placas paralelas?

Dados:

|carga do elétron|:  $|e| = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Constante do Coulomb para o ar e o vácuo:

$K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ .

Para cada alternativa, as informações dos itens 1, 2 e 3, respectivamente, refere-se a:

- Campo entre as placas.
- Campo da esfera.
- Distância do centro da esfera.

- a) 1. uniforme (longe das extremidades);  
2. radial (dentro e fora da esfera);  
3. 15m.
- b) 1. não há;  
2. só há campo no interior da esfera;  
3. 150m.
- c) 1. uniforme;  
2. uniforme (dentro e fora da esfera);  
3. 1,5m.
- d) 1. uniforme (longe das extremidades);  
2. -radial (fora da esfera), -nulo (dentro da esfera);  
3. 1,5m.
- e) 1. nulo;  
2. -nulo (dentro da esfera), -radial (fora da esfera);  
3. 1,5m.

**07.** Uma carga elétrica puntiforme com  $4,0 \mu\text{C}$ , que é colocada em um ponto P do vácuo, fica sujeita a uma força elétrica de intensidade  $1,2\text{N}$ . O campo elétrico nesse ponto P tem intensidade de:

- a)  $3,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ .  
b)  $2,4 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ .  
c)  $1,2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ .  
d)  $4,0 \cdot 10^{-6} \text{ N/C}$ .  
e)  $4,8 \cdot 10^{-6} \text{ N/C}$ .

**08.** Uma partícula de massa  $1,0 \times 10^{-5} \text{ kg}$  e carga elétrica  $2,0 \mu\text{C}$  fica em equilíbrio quando colocada em certa região de um campo elétrico.

Adotando-se  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , o campo elétrico naquela região tem intensidade, em  $\text{V/m}$ , de:

- a) 500.  
b) 0,050.  
c) 20.  
d) 50.  
e) 200.

**09.** Quando uma diferença de potencial é aplicada aos extremos de um fio metálico, de forma cilíndrica, uma corrente elétrica “i” percorre esse fio. A mesma diferença de potencial é aplicada aos extremos de outro fio, do mesmo material, com o mesmo comprimento mas com o dobro do diâmetro. Supondo os dois fios à mesma temperatura, qual será a corrente elétrica no segundo fio?

- a) i.  
b) 2 i.  
c) i / 2.  
d) 4 i.  
e) i / 4.

**10.** Dadas as seguintes situações envolvendo fenômenos elétricos, selecione as corretas:

- 01) A corrente que passa por duas lâmpadas incandescente diferentes ligadas em série é maior que a corrente que passaria em cada uma delas se fossem ligadas individualmente à mesma fonte de tensão.
- 02) Se a resistência de um fio de cobre de comprimento L e área de seção reta S é igual a  $16^2$ , então a resistência de um outro fio de cobre de igual comprimento e de área de seção  $2S$  será  $32^2$ .
- 04) A resistência de um condutor varia com a temperatura. Um comportamento supercondutor é observado em temperaturas bem mais baixas que a ambiente.
- 08) Com base no modelo atômico de Bohr para o átomo de hidrogênio, podemos relacionar o movimento orbital do elétrons a uma corrente elétrica, cujo intensidade média é inversamente proporcional ao tempo necessário para uma rotação.
- 16) Se um chuveiro elétrico com resistência de  $10^2$  for ligado durante 1 hora em uma rede elétrica de  $120\text{V}$  de tensão, e se o preço do quilowatt-hora for de  $\text{R\$ } 0,10$ , então o custo correspondente a essa ligação será de  $\text{R\$ } 0,50$ .
- 32) Em cada nó (ou nodo) de um circuito elétrico, a soma das correntes que entram é igual à soma das correntes que saem do mesmo.

Soma =

**11.** Uma pessoa pode levar grandes choques elétricos ao tocar em fios da instalação elétrica em sua casa. Entretanto, é freqüente observarmos pássaros tranqüilamente pousados em fios desencapados da rede elétrica sem sofrerem esses choques. Por que pode ocorrer o choque no primeiro caso e não ocorre no segundo?

**12.** Num circuito elétrico, dois resistores, cujas resistências são  $R_1$  e  $R_2$ , com  $R_1 > R_2$ , estão ligados em série. Chamando de  $i_1$  e  $i_2$  as correntes que os atravessam e de  $V_1$  e  $V_2$  as tensões a que estão submetidos, respectivamente, pode-se afirmar que:

- a)  $i_1 = i_2$  e  $V_1 = V_2$ .  
b)  $i_1 = i_2$ , e  $V_1 > V_2$ .  
c)  $i_1 > i_2$ , e  $V_1 = V_2$ .  
d)  $i_1 > i_2$ , e  $V_1 < V_2$ .  
e)  $i_1 < i_2$ , e  $V_1 > V_2$ .

**13.** Uma lâmpada fluorescente contém em seu interior um gás que se ioniza após a aplicação de alta tensão entre seus terminais. Após a ionização, uma corrente elétrica é estabelecida e os íons negativos deslocam-se com uma taxa de  $1,0 \times 10^{18}$  íons/segundo para o pólo A. Os íons positivos se deslocam, com a mesma taxa, para o pólo B.

Sabendo-se que a carga de cada íon positivo é de  $1,6 \times 10^{-19}$  C, pode-se dizer que a corrente elétrica na lâmpada será

- a) 0,16 A.
- b) 0,32 A.
- c)  $1,0 \times 10^{18}$  A.
- d) nula.

**14.** O choque elétrico, perturbação de natureza e efeitos diversos, que se manifesta no organismo humano quando este é percorrido por uma corrente elétrica, é causa de grande quantidade de acidentes com vítimas fatais. Dos diversos efeitos provocados pelo choque elétrico, talvez o mais grave seja a fibrilação, que provoca a paralisia das funções do coração. A ocorrência da fibrilação depende da intensidade da corrente elétrica que passa pelo coração da vítima do choque. Considere que o coração do indivíduo descalço submetido a um choque elétrico, suporte uma corrente máxima de 4mA, sem que ocorra a fibrilação cardíaca, e que a terra seja um condutor de resistência elétrica nula. O indivíduo segura o fio desemcapado com a mão esquerda. Sabendo que a corrente percorre seu braço esquerdo, seu tórax e suas duas pernas, cujas resistências são iguais a, respectivamente,  $700 \Omega$ ,  $300 \Omega$ ,  $1.000 \Omega$  e  $1.000 \Omega$ , e que, nessa situação, apenas 8% da corrente total passam pelo coração, em volts, a máxima diferença de potencial entre a mão esquerda e os pés do indivíduo para que não ocorra a fibrilação cardíaca. Despreze a parte fracionária de seu resultado, caso exista.

**15.** Nos períodos de estiagem em Brasília, é comum ocorrer o choque elétrico ao se tocar a carroceria de um carro ou a maçaneta de uma porta em um local onde o piso é recoberto por carpete. Centelhas ou faíscas elétricas de cerca de um centímetro de comprimento saltam entre os dedos das pessoas e

esses objetos. Uma faísca elétrica ocorre entre dois corpos isolados no ar, separados por uma distância de um centímetro, quando a diferença de potencial elétrico entre eles atinge, em média, 10.000V.

Com o auxílio do texto anterior, julgue os itens que se seguem.

- (1) O choque elétrico é sentido por uma pessoa devido à passagem de corrente elétrica pelo seu corpo.
- (2) Os choques elétricos referidos no texto são perigosos porque são provenientes de cargas estáticas que acumulam grande quantidade de energia.
- (3) O processo de eletrização por indução é o principal responsável pelo surgimento do fenômeno descrito no texto.
- (4) O ar em uma região onde existe um campo elétrico uniforme de intensidade superior a  $10.000\text{V/cm}$  é um péssimo condutor de eletricidade.
- (5) O valor absoluto do potencial elétrico da carroceria de um carro aumenta devido ao armazenamento de cargas eletrostáticas.

**16.** Um condutor de secção transversal constante e comprimento L tem resistência elétrica R. Cortando-se o fio pela metade, sua resistência elétrica será igual a:

- a) 2R.
- b) R/2.
- c) R/4.
- d) 4R.
- e) R/3.

**17.** Uma cidade consome  $1,0 \cdot 10^8$  W de potência e é alimentada por uma linha de transmissão de 1000 km de extensão, cuja voltagem, na entrada da cidade, é 100000volts. Esta linha é constituída de cabos de alumínio cuja área da seção reta total vale  $A = 5,26 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>. A resistividade do alumínio é  $\rho = 2,63 \cdot 10^{-8}$   $\Omega \cdot \text{m}$ .

- a) Qual a resistência dessa linha de transmissão?
- b) Qual a corrente total que passa pela linha de transmissão?
- c) Que potência é dissipada na linha?

**18.** Um barbeador elétrico, cujos dados nominais são 120 V e 8 W, deve ser usado em uma tomada disponível de 240 V. Para não danificar o aparelho, deve ser instalada em série com este barbeador uma resistência cujo valor, em ohms, é:

- 1800.
- 1200.
- 900.
- 600.

**19.** Um rapaz cansado de ter seu rádio roubado ou ter de carregá-lo para todo lado, resolveu adaptar seu pequeno “walk-man” para ouvir música no carro. Um dos problemas é permitir que ele possa ser alimentado eletricamente através do acendedor de cigarro, cuja tensão é 12 V.

Sabendo-se que o “walk-man” traz as seguintes informações: 3 V e 12 mW, é CORRETO afirmar que:

- ele poderá resolver o problema com um transformador, com relação 4/1, entre primário e secundário.
- não será possível resolver o problema de alimentação.
- ele poderá ligar o aparelho com um resistor de  $0,25 \Omega$  em paralelo.
- ele poderá ligar o aparelho no acendedor de cigarro com um resistor de  $2,25 \Omega$  em série.
- ele poderá ligar o aparelho com um capacitor de  $12 \mu\text{F}$  em série.

**20.** Assinale a opção que apresenta a afirmativa correta, a respeito de fenômenos eletromagnéticos.

- É possível isolar os pólos de um ímã.
- Imantar um corpo é fornecer elétrons a um de seus pólos e prótons ao outro.
- Ao redor de qualquer carga elétrica, existe um campo elétrico e um campo magnético.
- Cargas elétricas em movimento geram um campo magnético.
- As propriedades magnéticas de um ímã de aço aumentam com a temperatura.

**21.** Indique a alternativa errada:

- Dois fios longos e paralelos atraem-se quando estão passando por eles correntes elétricas no mesmo sentido.
- Dobrando-se ao mesmo tempo o número de espiras e o comprimento de uma bobina solenóide, mantém-se inalterado o valor do campo magnético no centro da mesma.

- A intensidade do campo magnético no centro de uma espira circular independe do raio da espira.
- Ao se dividir um ímã em dois pedaços, formam-se dois novos ímãs.
- O pólo norte de um ímã tende a alinhar-se com o sul magnético da Terra (norte geográfico da Terra).

**22.** Num transformador, a razão entre o número de espiras no primário ( $N_1$ ) e o número de espiras no secundário ( $N_2$ ) é  $N_1/N_2 = 10$ . Aplicando-se uma diferença de potencial alternada  $V_1$  no primário, a diferença de potencial induzida no secundário é  $V_2$ . Supondo tratar-se de um transformador ideal, qual é a relação entre  $V_2$  e  $V_1$ ?

- $V_2 = V_1/100$ .
- $V_2 = V_1/10$ .
- $V_2 = V_1$ .
- $V_2 = 10 V_1$ .
- $V_2 = 100 V_1$ .

**23.** O valor da indução magnética no interior de uma bobina em forma de tubo cilíndrico é dado, aproximadamente, por  $B = \mu ni$ , onde  $\mu$  é a permeabilidade do meio,  $n$  o número de espiras por unidade de comprimento e  $i$  é a corrente elétrica. Uma bobina deste tipo é construída com um fio fino metálico de raio  $r$ , resistividade  $\rho$  e comprimento  $L$ . O fio é enrolado em torno de uma forma de raio  $R$  obtendo-se assim uma bobina cilíndrica de uma única camada, com as espiras uma ao lado da outra. A bobina é ligada aos terminais de uma bateria ideal de força eletromotriz igual a  $V$ . Neste caso pode-se afirmar que o valor de  $B$  dentro da bobina é:

- $\mu\pi rV/2rL$ .
- $\mu\pi RV/2rL$ .
- $\mu\pi r^2VL/2r$ .
- $\mu\pi rV/2R^2L$ .
- $\mu r^2V/2R^2L$ .

**24.** A intensidade do campo magnético produzido no interior de um solenóide muito comprido percorrido por corrente depende basicamente:

- só do número de espiras do solenóide.
- só da intensidade da corrente.
- do diâmetro interno do solenóide.
- do número de espiras por unidade de comprimento e da intensidade da corrente.
- do comprimento do solenóide.

**25.** Uma espira quadrada de lado 0,30m é atravessada por um campo magnético uniforme perpendicular ao plano da espira. O campo magnético varia só em módulo, passando de um valor inicial igual a 0,20 T para um valor final igual 0,80 T num intervalo de tempo  $\Delta t = 0,04$  s.

- a) Calcule o fluxo do campo magnético através da espira no instante inicial e no instante final.
- b) Se houvesse uma pequena abertura num dos lados da espira, determine a diferença de potencial entre as extremidades dessas abertura, devido ao fenômeno da indução no intervalo  $\Delta t$ .

**26.** Um segmento retilíneo de fio conduz uma corrente elétrica “i”, em uma região onde existe um campo magnético uniforme B vetorial. Devido a este campo magnético, o fio fica sob o efeito de uma força de módulo F, cuja direção é perpendicular ao fio e à direção B.

O efeito ao qual se refere o enunciado constitui o princípio de funcionamento de

- a) motores elétricos.
- b) aquecedores elétricos.
- c) capacitores.
- d) reostatos.
- e) eletroscópios.

**27.** Após ser eleito, um deputado federal mudou-se da cidade do Rio de Janeiro para Brasília. Lá chegando, constatou a necessidade de adquirir transformadores para poder utilizar os seus eletrodomésticos na nova residência, já que a diferença de potencial, também chamada de tensão elétrica, é de 110 V, nas residências da cidade de origem, e de 220 V, nas residências de Brasília.

Um transformador é um equipamento que permite a modificação da tensão aplicada aos seus terminais de entrada, podendo produzir, nos terminais de saída, uma tensão maior ou menor do que a de entrada. Do ponto de vista construtivo por duas bobinas independentes, enroladas sobre um núcleo de ferro. A bobina ligada à fonte de tensão (tomada residencial) é chamada de “primária” e a bobina ligada aos eletrodomésticos, de “secundária”.

Com o auxílio das informações contidas no texto e focalizando o transformador ligado a uma tomada para fornecer energia à geladeira da família do deputado, julgue os itens seguintes.

- (0) Ao alimentar a geladeira, o transformador converte energia elétrica em energia mecânica.
- (1) A potência que a bobina secundária do transformador fornece à geladeira é maior do que a potência que a bobina primária recebe.

- (2) Mesmo nos períodos em que a geladeira estiver desligada, haverá corrente elétrica circulando na bobina primária do transformador.
- (3) Suponha que o transformador seja desconectado da tomada e que sua bobina de 220 V seja conectada a um conjunto de 20 baterias de automóvel, de 12 V, ligadas em série. Nessa situação, a geladeira será alimentada com uma tensão igual a 120 V e funcionará normalmente.

**28.** Considerando os conceitos e aplicações da eletricidade e do magnetismo, examine a situação física descrita em cada alternativa e a justificativa (em maiúsculo) que a segue. Considere corretas as alternativas em que a justificativa explica apropriadamente a situação.

- ( ) Um transformador funciona com corrente alternada *porque a corrente no primário produz um fluxo magnético variável que gera uma força eletromotriz induzida no secundário.*
- ( ) O motor de um eletrodoméstico funciona quando ligado à tomada *porque ocorre dissipação de energia por efeito Joule.*
- ( ) Dois fios metálicos paralelos percorridos por correntes de mesmo sentido se atraem *porque cargas de sinais contrários se atraem.*
- ( ) Um elétron, ao passar próximo de um fio percorrido por uma corrente, sofre a ação de uma força perpendicular à sua velocidade *porque a corrente no fio produz um campo magnético ao seu redor, que atua sobre o elétron.*
- ( ) Quando dois capacitores diferentes são ligados em paralelo à mesma bateria, o de maior capacitância adquire maior carga *porque a carga num capacitor é igual ao produto de sua capacitância pela diferença de potencial entre suas placas.*

**29.** Campos magnéticos podem estar presentes de forma natural em alguns materiais, ou podem ser gerados por meio da circulação de correntes elétricas em condutores. Considerando-se a geração ou variação destes no tempo,

- ( ) a intensidade do campo magnético, no interior de um solenóide, é proporcional ao produto do número de espiras por unidade de comprimento pela corrente que circula na espira.
- ( ) um observador, carregando um ímã com o pólo norte voltado para uma espira circular e caminhando, ao longo de seu eixo, em direção a ela, observará, nesta, o surgimento de uma corrente induzida, no sentido horário.
- ( ) a força eletromotriz induzida é inversamente proporcional ao intervalo de tempo em que há variação de fluxo magnético.
- ( ) a intensidade do campo magnético, gerado por uma corrente  $i$ , percorrendo um fio retilíneo longo, é diretamente proporcional ao valor da corrente  $i$ .

**30.** Sabe-se que, em um transformador, não há, necessariamente, ligação elétrica entre o condutor do enrolamento primário e o do secundário. Entretanto, a energia elétrica é transmitida do primário para o secundário. A partir destes fatos e dos conhecimentos sobre eletromagnetismo, é correto afirmar:

- 01) A corrente elétrica do enrolamento secundário não influi no funcionamento do primário.
- 02) O transformador só funciona com corrente elétrica variável.
- 04) É a variação do fluxo do campo magnético nos enrolamentos que permite a transmissão da energia elétrica.
- 08) A diferença de potencial nos terminais do enrolamento secundário é sempre menor que a diferença de potencial nos terminais do primário.
- 16) A corrente elétrica é sempre a mesma nos enrolamentos primários e secundário.

**31.** Uma bobina chata é formada de 200 espiras de 4 cm de raio e está colocada em um campo magnético uniforme. Determine a fem induzida nesta bobina quando a intensidade do campo magnético, que é perpendicular ao plano da bobina, varia numa taxa de 0,01 T/s.

**32.** Em um campo de indução magnética uniforme ( $B = 1,0$  T) temos uma espira retangular de área  $1,0$  m<sup>2</sup>. A espira pode girar em relação a um eixo que passa pelos centros de dois lados opostos. Tal eixo é perpendicular as linhas de indução. Inicialmente o plano da espira é normal ao campo magnético. Se girarmos a espira de  $90^\circ$  em torno do eixo descrito acima, qual a fem induzida que nela aparecerá?

**33.** Uma bobina retangular, com uma resistência total de  $4,0 \Omega$ , é constituída de 10 espiras de (20 x 30) cm. Esta bobina está imersa em um campo magnético perpendicular ao seu plano, que varia uniformemente de 8,0 T a 16,0 T no intervalo de tempo de 1,2 s.

- a) Qual a fem induzida na bobina?
- b) Qual a intensidade da corrente que flui na bobina?

**34.** Um forno elétrico consome 7,5 A de uma fonte de alimentação CC de 120 V.

- a) Qual o valor máximo de uma corrente alternada capaz de produzir o mesmo efeito térmico?
- b) Calcule a potência consumida da linha CA.

**35.** Um enrolamento de superfície  $S = 3000$  cm<sup>2</sup> contém 200 espiras e está em um movimento de rotação dentro de um campo magnético uniforme  $B = 1,5 \times 10^{-2}$  T. A fem máxima no enrolamento vale 1,5 V. Calcule o período de rotação do enrolamento.

**36.** Sobre o sistema elétrico de uma refinaria de petróleo da Petrobras, temos os seguintes dados:

- 2 turbos geradores de 13,8 kV com capacidade total de 32 kW.
- Tensão de entrada da concessionária fornecedora de energia: 69 kV.
- Tensão de alimentação dos motores de potência igual a 150 hp: 2400 V
- Tensão de alimentação dos motores até 125 hp: 480 V.
- Tensão de alimentação dos circuitos de iluminação: 120 V.

- a) Projete transformadores que façam as reduções de tensão necessárias para o funcionamento da refinaria. Utilize tanto a tensão dos turbo geradores da refinaria, como a fornecida pela concessionária local.

- b) Projete um alternador que produza a voltagem fornecida pelos turbo geradores. Dimensione a armadura (dimensões, número de espiras) e também o campo magnético estacionário no qual a armadura vai rotacionar.
- c) Estime qual o valor de pico da corrente fornecida por cada turbo gerador.

**37.** Um gerador elétrico consiste em 100 espiras de fio formando uma bobina retangular de 50 cm por 30 cm, imersa em um campo magnético uniforme de 3,5 T.

- a) Qual será o valor máximo da fem induzida no gerador quando a bobina começar a girar a 1000 rpm?

**38.** Para que serve a tensão contínua que se aplica no enrolamento do rotor do gerador?

**39.** Qual a influência da corrente de excitação no valor da tensão gerada?

**40.** O que significa "Sistema Trifásico Equilibrado"?

**41.** Qual a relação que existe entre o número de espiras e a tensão em um transformador?

**42.** Por que, ao abirmos o secundário de um transformador de corrente, aparecem em seus terminais uma sobretensão e aquecimento?

**43.** Qual a influência da poeira e umidade sobre a isolação de equipamentos elétricos?

**44.** Quais são os danos que um mau contato pode causar para um sistema, quando este estiver em circuito de força? E quando estiver em circuito de proteção e controle?

**45.** Qual o comportamento de um capacitor, no instante em que é ligada uma fonte de corrente contínua? E após intervalo superior a 4 (quatro) constantes de tempo?

**46.** O que caracteriza o cobre como melhor condutor de eletricidade que o alumínio?

46

**47.** Um equipamento qualquer dissipa 2500 W, quando ligado a uma rede de 120 V. Qual será a potência desse mesmo equipamento, se a sua resistência for cortada ao meio? Considere o equipamento composto de carga resistiva.

**48.** Conceitue: Impedância, Reatância, Capacitância e Relutância.

**49.** Com relação a equipamentos elétricos pergunta-se:

Por que na especificação de um transformador, normalmente especifica-se a potência aparente (MVA ou KVA), ao invés de especificar-se a potência ativa (MW ou KW)?

**50.** Quais as vantagens do aterramento do neutro num sistema elétrico?

**51.** Qual a inconveniência de se colocar dois transformadores em paralelo, quando a única diferença entre eles for as impedâncias?

**52.** Que condições devem ser observadas para se colocar duas fontes de energia elétrica em paralelo?

**53.** A respeito do fator de potência pergunta-se:

- a) Quais as causas do baixo fator de potência em um sistema elétrico?
- b) Quais as desvantagens do baixo fator de potência?

**54.** Um fato que pode facilmente ser observado é que caminhões que transportam combustíveis sempre têm um cabo ou fita metálica ligando um ponto do chassi ao chão. Utilizando seus conhecimentos de eletrização, explique a necessidade desta ligação.

**55.** Por que não aparece tensão no secundário de um transformador, quando aplicada uma tensão contínua no primário?

**56.** Marque (V) para verdadeiro e (F) para falso nas afirmativas abaixo:

- ( ) A resistência elétrica de um condutor depende do material que o constitui.
- ( ) A resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional à sua seção transversal (bitola).
- ( ) A temperatura não exerce influência na resistência elétrica de um condutor.
- ( ) Quanto maior a tensão, maior a resistência elétrica de um condutor.

**57.** Um operador, usando botas de borracha molhadas, tocou um trecho de tubulação eletrizado com uma determinada carga e sofreu um choque. Se ele estivesse usando botas secas de borracha, também tomaria o choque? Por quê?





## **Princípios Éticos da Petrobras**

*A honestidade, a dignidade, o respeito, a lealdade, o decoro, o zelo, a eficácia e a consciência dos princípios éticos são os valores maiores que orientam a relação da Petrobras com seus empregados, clientes, concorrentes, parceiros, fornecedores, acionistas, Governo e demais segmentos da sociedade.*

*A atuação da Companhia busca atingir níveis crescentes de competitividade e lucratividade, sem descuidar da busca do bem comum, que é traduzido pela valorização de seus empregados enquanto seres humanos, pelo respeito ao meio ambiente, pela observância às normas de segurança e por sua contribuição ao desenvolvimento nacional.*

*As informações veiculadas interna ou externamente pela Companhia devem ser verdadeiras, visando a uma relação de respeito e transparência com seus empregados e a sociedade.*

*A Petrobras considera que a vida particular dos empregados é um assunto pessoal, desde que as atividades deles não prejudiquem a imagem ou os interesses da Companhia.*

*Na Petrobras, as decisões são pautadas no resultado do julgamento, considerando a justiça, legalidade, competência e honestidade.*

