

ELETRICIDADE

Prof.^a Lucile Cecília Peruzzo





Copyright © UNIASSELVI 2016

Elaboração:

Prof.^a Lucile Cecília Peruzzo

Revisão, Diagramação e Produção:

Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI

Ficha catalográfica elaborada na fonte pela Biblioteca Dante Alighieri
UNIASSELVI – Indaial.

537

P471e Peruzzo; Lucile Cecília

Eletricidade/ Lucile Cecília Peruzzo : UNIASSELVI, 2016.

212 p. : il.

ISBN 978-85-7830-970-1

1. Eletricidade e eletrônica.

I. Centro Universitário Leonardo da Vinci

APRESENTAÇÃO

Assim como a água, o ar e os alimentos, a energia elétrica tornou-se parte integral de nossas vidas. Estamos tão acostumados a passar rapidamente por um interruptor e instantaneamente ter luz, que pouca atenção é dada ao processo de como se produz esta energia elétrica, como ela chega em nossas residências e como é utilizada. Ela é a única medida em que praticamente tudo o que é produzido não é armazenado, mas sim utilizado de imediato, nas quantidades em que é necessária.

De onde vem esta energia elétrica e como chega até os consumidores finais?

Para responder a esta e outras questões, primeiramente precisamos entender os conceitos fundamentais da eletricidade, que são os blocos de construção para o conhecimento elétrico avançado e para a solução de problemas práticos. Para isto, dividimos este livro em quatro tópicos, a saber:

- O Tópico 1 traz conceitos fundamentais relacionados ao átomo, cargas elétricas, corrente elétrica, propriedades dos materiais e as grandezas elétricas.
- No Tópico 2 são definidas resistência elétrica, Lei de Ohm, condutância e resistores.
- O Tópico 3 aborda os circuitos elétricos em série, paralelos e mistos.
- O Tópico 4 aborda como a energia elétrica é gerada, como ele é transmitida e distribuída até os consumidores finais.

Cada tópico inicia com definições juntamente com material ilustrativo e descritivo, uma série de problemas resolvidos e propostos. Os problemas resolvidos servem para ilustrar e ampliar a teoria, apresentar métodos de análises e reforçar os pontos essenciais que possibilitam a você, estudante, aplicar com segurança os princípios básicos.

Para que possamos ter sucesso neste estudo contamos com a sua dedicação, com o tempo para a leitura e a realização das autoatividades sugeridas.

Vamos lá, chegou a hora de estudar!

Prof.^a Lucile Cecília Peruzzo



Você já me conhece das outras disciplinas? Não? É calouro? Enfim, tanto para você que está chegando agora à UNIASSELVI quanto para você que já é veterano, há novidades em nosso material.

Na Educação a Distância, o livro impresso, entregue a todos os acadêmicos desde 2005, é o material base da disciplina. A partir de 2017, nossos livros estão de visual novo, com um formato mais prático, que cabe na bolsa e facilita a leitura.

O conteúdo continua na íntegra, mas a estrutura interna foi aperfeiçoada com nova diagramação no texto, aproveitando ao máximo o espaço da página, o que também contribui para diminuir a extração de árvores para produção de folhas de papel, por exemplo.

Assim, a UNIASSELVI, preocupando-se com o impacto de nossas ações sobre o ambiente, apresenta também este livro no formato digital. Assim, você, acadêmico, tem a possibilidade de estudá-lo com versatilidade nas telas do celular, *tablet* ou computador.

Eu mesmo, UNI, ganhei um novo *layout*, você me verá frequentemente e surgirei para apresentar dicas de vídeos e outras fontes de conhecimento que complementam o assunto em questão.

Todos esses ajustes foram pensados a partir de relatos que recebemos nas pesquisas institucionais sobre os materiais impressos, para que você, nossa maior prioridade, possa continuar seus estudos com um material de qualidade.

Aproveito o momento para convidá-lo para um bate-papo sobre o Exame Nacional de Desempenho de Estudantes – ENADE.

Bons estudos!



BATE SOBRE O PAPO ENADE!



Olá, acadêmico!

Você já ouviu falar sobre o **ENADE**?

Se ainda não ouviu falar nada sobre o ENADE, agora você receberá algumas informações sobre o tema.

Ouviu falar? Ótimo, este informativo reforçará o que você já sabe e poderá lhe trazer novidades. ✓✓



Vamos lá!

Qual é o significado da expressão ENADE?

EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

Em algum momento de sua vida acadêmica você precisará fazer a prova ENADE. ✓✓



Que prova é essa?

É **obrigatória**, organizada pelo INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

Quem determina que esta prova é obrigatória... O **MEC – Ministério da Educação**.

O objetivo do MEC com esta prova é o de avaliar seu desempenho acadêmico assim como a qualidade do seu curso. ✓✓



Fique atento! Quem não participa da prova fica impedido de se formar e não pode retirar o diploma de conclusão do curso até regularizar sua situação junto ao MEC.

Não se preocupe porque a partir de hoje nós estaremos auxiliando você nesta caminhada.

Você receberá outros informativos como este, complementando as orientações e esclarecendo suas dúvidas. ✓✓



Você tem uma trilha de aprendizagem do ENADE, receberá e-mails, SMS, seu tutor e os profissionais do polo também estarão orientados.

Participará de webconferências entre outras tantas atividades para que esteja preparado para #mandar bem na prova ENADE.

Nós aqui no NEAD e também a equipe no polo estamos com você para vencermos este desafio.

Conte sempre com a gente, para juntos mandarmos bem no ENADE! ✓✓



SUMÁRIO

UNIDADE 1 - PRINCÍPIOS ELÉTRICOS E GERAÇÃO DE ENERGIA	1
TÓPICO 1 - CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 ÁTOMO	3
2.1 CARGA ELÉTRICA (Q).....	4
2.1.1 Lei das cargas elétricas.....	6
3 PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS MATERIAIS.....	6
3.1 CONDUTORES.....	7
3.2 ISOLANTES.....	7
3.3 SEMICONDUTORES	8
4 GRANDEZAS ELÉTRICAS, UNIDADES, NOTAÇÃO E PREFIXOS.....	8
4.1 UNIDADES, NOTAÇÃO E PREFIXOS	8
5 TENSÃO ELÉTRICA	11
6 CORRENTE ELÉTRICA	13
6.1 SENTIDO DA CORRENTE ELÉTRICA.....	16
6.2 CORRENTES E TENSÕES CONTÍNUAS E ALTERNADAS	18
7 POTÊNCIA E ENERGIA	19
7.1 ENERGIA	19
7.2 POTÊNCIA	20
RESUMO DO TÓPICO 1.....	22
AUTOATIVIDADE	23
TÓPICO 2 - RESISTÊNCIA ELÉTRICA.....	25
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 RESISTÊNCIA ELÉTRICA	26
3 1ª LEI DE OHM.....	31
4 POTÊNCIA DISSIPADA EM UMA RESISTÊNCIA	34
5 CONDUTÂNCIA.....	36
6 RESISTORES	38
RESUMO DO TÓPICO 2.....	39
AUTOATIVIDADE	40
TÓPICO 3 - CIRCUITOS ELÉTRICOS.....	41
1 INTRODUÇÃO.....	41
2 DEFINIÇÃO DE CIRCUITO ELÉTRICO.....	41
3 ELEMENTOS DE UM CIRCUITO ELÉTRICO.....	43
4 CIRCUITOS EM SÉRIE DE CORRENTE CONTÍNUA	45
5 CIRCUITOS EM PARALELO DE CORRENTE CONTÍNUA	49
6 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM PARALELO	52
7 ASSOCIAÇÃO DE N RESISTORES IGUAIS EM PARALELO.....	56
8 CIRCUITOS MISTOS.....	57
RESUMO DO TÓPICO 3.....	61
AUTOATIVIDADE	62

TÓPICO 4 - GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	65
1 INTRODUÇÃO	65
2 GERAÇÃO DE ENERGIA.....	65
3 O SISTEMA DE GERAÇÃO.....	66
3.1 MÁQUINA PRIMÁRIA.....	66
3.2 GERADORES.....	66
4 FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	66
4.1 GERAÇÃO HIDRÁULICA.....	67
4.2 GERAÇÃO TERMOELÉTRICA.....	68
4.3 GERAÇÃO POR REAÇÃO NUCLEAR.....	69
4.4 TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA.....	70
4.4.1 Sistema elétrico	70
4.4.2 Redes de transmissão.....	71
4.4.3 Rede de sub-transmissão.....	72
4.4.4 Redes de distribuição.....	72
LEITURA COMPLEMENTAR.....	73
RESUMO DO TÓPICO 4.....	76
AUTOATIVIDADE	77
UNIDADE 2 - MÁQUINAS ELÉTRICAS	79
TÓPICO 1 - PRINCÍPIO DAS MÁQUINAS ELÉTRICAS	81
1 INTRODUÇÃO	81
2 DEFINIÇÃO DE MÁQUINA ELÉTRICA	82
3 PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE POR MEIO DO ELETROMAGNETISMO	83
3.1 MAGNETISMO	83
3.2 CAMPO MAGNÉTICO.....	83
3.3 FLUXO MAGNÉTICO (f).....	85
3.4 DENSIDADE DE FLUXO MAGNÉTICO (B).....	85
4 ELETROMAGNETISMO	86
4.1 USO DO MAGNETISMO PARA INDUZIR UMA CORRENTE ELÉTRICA	86
4.2 A DESCOBERTA DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA.....	87
4.3 FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA (FEMII).....	89
4.4 LEI DE LENZ.....	90
4.5 POLARIDADE DE UM CONDUTOR ISOLADO	92
4.6 CAMPO MAGNÉTICO GERADO NO CENTRO DE UMA BOBINA LONGA OU SOLENOIDE.....	92
RESUMO DO TÓPICO 1.....	95
AUTOATIVIDADE	96
TÓPICO 2 - GERADORES ELÉTRICOS.....	97
1 INTRODUÇÃO	97
2 GERADORES DE CORRENTE ALTERNADA OU ALTERNADORES	98
2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	98
2.2 FREQUÊNCIA DA TENSÃO GERADA.....	102
2.3 POTÊNCIA MÉDIA.....	103
2.4 TENSÃO E CORRENTE EFETIVA.....	104
2.5 TIPOS DE ACIONAMENTOS	105
3 GERADORES EM PARALELO	106
3.1 ESPECIFICAÇÕES.....	106
RESUMO DO TÓPICO 2.....	108
AUTOATIVIDADE	109

TÓPICO 3 - TRANSFORMADORES.....	111
1 INTRODUÇÃO.....	111
2 DEFINIÇÃO.....	111
3 TIPOS DE TRANSFORMADORES.....	111
4 REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA.....	112
5 CARACTERÍSTICAS DE UM TRANSFORMADOR IDEAL.....	113
6 RAZÃO OU RELAÇÃO DE TENSÃO.....	114
6.1 RAZÃO OU RELAÇÃO DE CORRENTE.....	117
RESUMO DO TÓPICO 3.....	121
AUTOATIVIDADE.....	122
TÓPICO 4 - MOTORES ELÉTRICOS.....	123
1 INTRODUÇÃO.....	123
2 PRINCIPAIS COMPONENTES DOS MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA.....	123
2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR CC.....	126
2.2 TORQUE.....	129
2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UM MOTOR CC.....	129
3 MOTORES ACIONADOS POR CORRENTE ALTERNADA.....	130
3.1 MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA (CA).....	130
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES CA.....	130
3.3 COMPONENTES DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO DE CA.....	131
3.4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR CA.....	133
3.5 VELOCIDADE SÍNCRONA.....	138
LEITURA COMPLEMENTAR.....	139
RESUMO DO TÓPICO 4.....	142
AUTOATIVIDADE.....	143
UNIDADE 3 - ELETRÔNICA BÁSICA.....	145
TÓPICO 1 - DISJUNTOR, RELÉ, FUSÍVEL E INTERRUPTOR DE FUGA.....	147
1 INTRODUÇÃO.....	147
2 PROTEÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS.....	147
2.1 NECESSIDADE DE PROTEÇÃO EM CIRCUITOS.....	148
2.1.1 Corrente e temperatura.....	148
2.1.2 Corrente Nominal (I_N).....	149
2.1.3 Sobrecarga.....	149
2.1.4 Sobrecorrentes.....	150
2.1.5 Curto-circuito.....	150
2.2 DISPOSITIVOS DE BAIXA E ALTA TENSÕES.....	152
2.3 DISJUNTORES.....	152
2.3.1 Principais componentes.....	153
2.3.2 Princípio de operação de um disjuntor.....	154
2.3.3 Classificação dos disjuntores.....	155
2.3.4 Funções básicas de um disjuntor.....	156
2.3.5 Curvas de tempo - corrente.....	156
2.4 FUSÍVEIS.....	157
2.4.1 Definição e princípio de operação dos fusíveis.....	158
2.4.2 Simbologia.....	158
2.4.3 Composição.....	159
2.4.4 Classificação dos fusíveis.....	160
2.4.5 Tipos de fusíveis.....	160
2.4.6 Dimensionamento de fusíveis.....	163

2.5 RELÉS	168
2.5.1 Princípio de funcionamento	169
2.5.2 Aplicações	170
2.5.3 Classificação dos relés	170
2.5.4 Relé de tempo	171
2.5.5 Os relés na prática	171
2.6 INTERRUPTOR DE FUGA OU INTERRUPTOR DIFERENCIAL - DRs.....	172
2.6.1 Definição	172
2.6.2 Princípio de funcionamento.....	173
2.6.3 Componentes de um interruptor de fuga	173
2.6.4 Tipos construtivos	174
RESUMO DO TÓPICO 1.....	176
AUTOATIVIDADE	178
TÓPICO 2 - SISTEMAS DE ENERGIA ININTERRUPTA: NOBREAKS.....	181
1 INTRODUÇÃO	181
2 DEFINIÇÃO.....	181
2.1 ONDE SÃO UTILIZADOS OS NOBREAKS	182
2.2 DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM NOBREAK	182
RESUMO DO TÓPICO 2.....	184
AUTOATIVIDADE	185
TÓPICO 3 - SEMICONDUTORES E DÍODOS.....	187
1 INTRODUÇÃO.....	187
2 MATERIAIS SEMICONDUTORES.....	187
2.1 SEMICONDUTORES INTRÍNSECOS	190
2.2 SEMICONDUTORES EXTRÍNSECOS.....	191
2.3 DOPAGEM.....	191
2.4 DÍODO SEMICONDUTOR	193
2.4.1 Díodo semicondutor de junção.....	193
RESUMO DO TÓPICO 3.....	197
AUTOATIVIDADE	198
TÓPICO 4 - CIRCUITOS AMPLIFICADORES, TRANSISTORES E TIRISTORES.....	199
1 INTRODUÇÃO.....	199
2 FONTES DE ALIMENTAÇÃO.....	200
2.1 TRANSFORMADOR.....	200
2.2 CIRCUITOS RETIFICADORES.....	200
2.3 CIRCUITO REGULADOR DE TENSÃO.....	200
2.4 CAPACITOR DE FILTRAGEM.....	201
3 TRANSISTORES	201
3.1 DEFINIÇÃO.....	201
3.2 TRANSISTOR BIPOLAR	201
4 TIRISTORES.....	202
4.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	203
LEITURA COMPLEMENTAR.....	203
RESUMO DO TÓPICO 4.....	205
AUTOATIVIDADE	206
REFERÊNCIAS.....	207

PRINCÍPIOS ELÉTRICOS E GERAÇÃO DE ENERGIA

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Esta unidade tem por objetivos:

- compreender as grandezas elétricas (carga, tensão, corrente, potência), suas definições, unidades e relações;
- compreender as relações entre corrente e tensão em circuitos resistivos;
- calcular a resistência equivalente da associação de resistores;
- apresentar modelos típicos de: usinas de geração e energia elétrica (tipos, componentes, operação); sistemas de transmissão e sistemas de distribuição de energia elétrica.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em quatro tópicos. No final de cada um deles você encontrará atividades que favorecerão a fixação dos assuntos apresentados. Bons estudos!

TÓPICO 1 – CONCEITOS FUNDAMENTAIS

TÓPICO 2 – RESISTÊNCIA ELÉTRICA

TÓPICO 3 – CIRCUITOS ELÉTRICOS

TÓPICO 4 – GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CONCEITOS FUNDAMENTAIS

1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade, o homem tem contato com fenômenos elétricos. O primeiro registro do efeito eletricidade data dos anos 600 a.C., na Grécia antiga. Tales de Mileto observa que o âmbar atritado com pele de carneiro atrai pequenos pedaços de palha, tecidos, penas de aves e outros materiais. Surge aí o conceito de eletrização. Em meados de 1745 foi inventado o primeiro capacitor ou condensador, a chamada garrafa de Leiden. O jornalista, inventor e cientista norte-americano Benjamin Franklin (1752) realiza experimentos com raios, identificando a natureza elétrica destes e os dois tipos de carga elétrica, a positiva e a negativa. O francês André Marie Ampère, em 1820, realiza as primeiras experiências com a corrente elétrica. Depois disto, o matemático e físico alemão Georg Simon Ohm (1825-1827) estabelece as leis relativas à intensidade da corrente elétrica. A partir daí, estudos sobre os fenômenos elétricos avançaram e foram introduzidos novos conceitos, como carga, campo, tensão, corrente, potência e energia, fundamentais para o entendimento dos circuitos elétricos. São esses conceitos que vamos estudar nesta unidade.

2 ÁTOMO

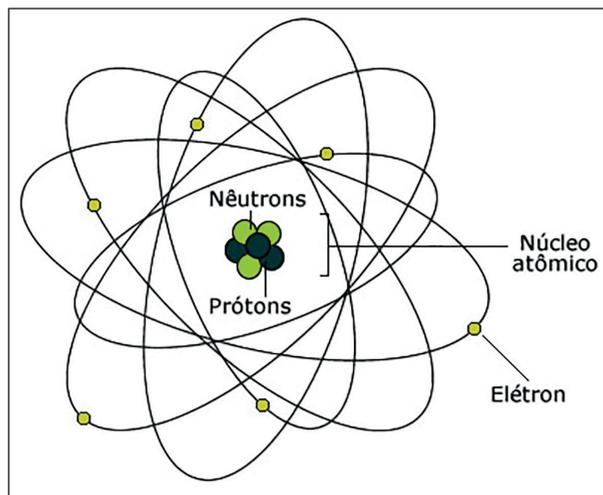
Toda matéria é constituída por átomos. Os átomos são constituídos por partículas subatômicas chamadas: prótons (carga elétrica positiva), nêutrons (não possuem carga) e os elétrons (carga elétrica negativa).

Os prótons e os nêutrons são encontrados no núcleo atômico, enquanto que os elétrons giram em torno do núcleo em uma região denominada eletrosfera (imagine o núcleo ser o Sol e os elétrons os planetas, girando em torno do Sol) (FELTRE, 2004). A Figura 1 apresenta a constituição do átomo.



As propriedades do átomo são de grande interesse em nosso estudo de eletricidade, como veremos mais adiante, por isto, fique atento!

FIGURA 1 – CONSTITUIÇÃO DO ÁTOMO



FONTE: Disponível em: <<https://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi&ei=xgcmV4jVDIORsAGp2LfAAQ&ved=0EKouCBQoAQ>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2016.

Como você pode observar na figura, os elétrons estão dispostos em uma região denominada eletrosfera. Esta eletrosfera tem diversas camadas eletrônicas, as quais possuem diferentes níveis de energia. Quanto mais afastado do núcleo o elétron estiver, maior é a sua energia, porém mais fracamente este elétron está ligado ao átomo. Os elétrons situados na camada mais externa da eletrosfera são denominados elétrons de valência. Estes elétrons de valência, quando recebem do meio externo certa quantidade de energia, podem desprender-se do átomo de origem, passando a se chamar *elétrons livres*. Se isto ocorrer, diz-se que o átomo está em um estado excitado e, portanto, instável (SOUZA, 2009).

Um átomo é dito estável quando o número de prótons é igual ao número de elétrons.

2.1 CARGA ELÉTRICA (Q)

Como dito, existem dois tipos de carga em um átomo: as positivas (prótons) e as negativas (elétrons). Estas cargas elétricas possuem a mesma intensidade, porém com sinais contrários. A carga elétrica elementar, ou seja, a carga elétrica de um próton ou de um elétron, vale: $|e| = 1,6 \times 10^{(-19)} C$.



Lembre-se! O símbolo matemático $| \cdot |$ significa módulo. Módulo é o valor absoluto da grandeza. É apenas o algarismo que representa tal grandeza, sem o sinal. Assim, por exemplo: $|-6| = 6$.

Agora que já sabemos a magnitude da carga de um elétron ou de um próton, podemos determinar o valor da carga total de um corpo. Para determinar o valor da carga elétrica de um corpo, basta fazer a diferença entre o número de prótons e o número de elétrons que este possui. Se em determinado corpo essa diferença for, por exemplo, igual a N , a carga total será dada pelo produto $N \times e$ (AFONSO; FILANI, 2011).

A equação (1) abaixo mostra como calcular a quantidade de carga total de um corpo.

$$Q = N \times e \qquad \text{Equação (1)}$$

Onde,

$Q = \text{carga elétrica}$

$$|e| = \text{carga elétrica elementar} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

EXEMPLO

1) Qual é o número de elétrons que um corpo neutro deve perder para que este passe a ter carga elétrica total igual a 2 C?

Solução: Variáveis conhecidas: $Q = 2 \text{ C}$; $|e| = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Variável desconhecida = N ?

Utilizando a equação (1) tem-se:

$$Q = N \times e$$

Vamos, então, isolar a variável desconhecida:

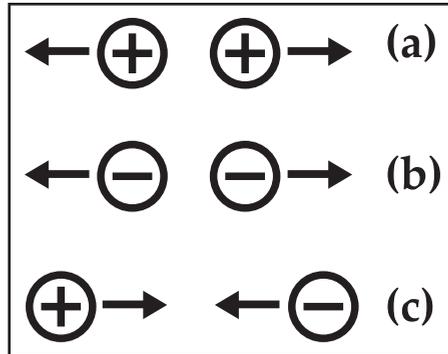
$$N = \frac{Q}{e}$$

$$N = \frac{2}{1,6 \times 10^{-19}} = 1,25 \times 10^{19} \text{ elétrons}$$

2.1.1 Lei das cargas elétricas

Quando um par de corpos contém a mesma carga, isto é, ambas positivas (+) ou ambas negativas (-), diz-se que os corpos têm cargas iguais. Quando um par de corpos contém cargas diferentes, isto é, um corpo é positivo (+) enquanto que o outro é negativo (-), diz-se que eles apresentam cargas elétricas desiguais ou opostas. A lei das cargas elétricas pode ser enunciada da seguinte forma: “Cargas com sinais iguais se repelem, e cargas com sinais opostos se atraem”. (GUSSOW, 1997, p. 4)

FIGURA 2 – FORÇAS ENTRE CARGAS



FONTE: Serafim (2009)



O coulomb, unidade base de carga, é também usado na definição das unidades base de outras grandezas elétricas, como a corrente e a tensão.

3 PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS MATERIAIS

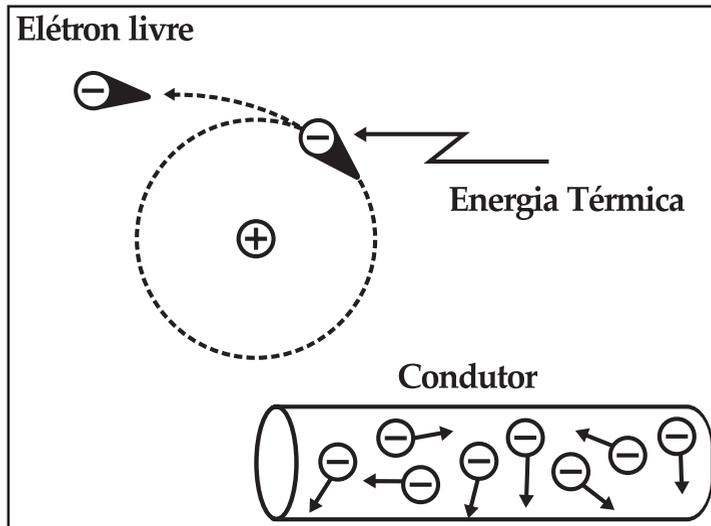
Existem diferentes tipos de materiais e estes, por sua vez, possuem comportamentos e propriedades diferentes sob determinadas condições. Estas propriedades os tornam utilizáveis em estruturas, máquinas, dispositivos ou produtos. Como exemplos de materiais com propriedades distintas temos: condutores (exemplo: cobre, alumínio e prata), os isolantes (exemplo: vidro, madeira, plástico) e os semicondutores (exemplo: silício, germânio).

Em nosso estudo, estamos interessados nas propriedades elétricas destes materiais, ou seja, na capacidade que estes materiais têm de permitir ou não a passagem de corrente elétrica.

3.1 CONDUTORES

Nos condutores metálicos os elétrons da camada de valência estão fracamente ligados ao núcleo do átomo e podem facilmente ser libertados, tornando-se *elétrons livres*. Isto significa que, nos condutores metálicos, a condução da eletricidade se dá basicamente pela movimentação dos elétrons (MARKUS, 2001). A Figura 3 ilustra um condutor metálico.

FIGURA 3 – CONDUTOR METÁLICO



FONTE: Markus (2001)

Algumas das principais propriedades dos condutores são:

- Grande facilidade de conduzir corrente elétrica.
- Têm baixa resistividade.
- Maior flexibilidade.
- Não são afetados pela corrosão devido ao ar, chuva ou calor.
- Custo relativamente baixo.

3.2 ISOLANTES

Diferentemente dos condutores, os isolantes são materiais que não conduzem bem a corrente elétrica. Alguns exemplos de isolantes são: vidro, cerâmica, plástico etc. Em condições normais, esses materiais não têm elétrons livres. A ausência de elétrons livres significa que a corrente elétrica não pode ser conduzida através do material.

Um exemplo de material isolante são os plásticos, que são formados a partir de longas cadeias de carbono e hidrogênio com poucos elétrons livres. Isto significa que os plásticos são excelentes isolantes.

3.3 SEMICONDUTORES

Os semicondutores são materiais cujo comportamento está entre o de um condutor e de um isolante (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014).

Materiais semicondutores tais como o silício podem ser utilizados para fabricar dispositivos que possuem características de condutores e isolantes.

4 GRANDEZAS ELÉTRICAS, UNIDADES, NOTAÇÃO E PREFIXOS

4.1 UNIDADES, NOTAÇÃO E PREFIXOS

No decorrer deste estudo vamos trabalhar com as grandezas elétricas expressas em unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI). Alguns exemplos das unidades das grandezas mais utilizadas em eletricidade são: volts, amperes, watts, ohms etc. A maioria delas leva o nome de grandes cientistas, por exemplo: V, para volt (em homenagem a Alessandro Volta); A, para ampère (André Marie Ampère); e W, para watt (James Watt). Você deve ter percebido que volt, ampère e watt são escritos em letras minúsculas, entretanto, o seu símbolo, como deriva de um nome próprio, é escrito em letra maiúscula.

Os símbolos das unidades são entidades matemáticas e não abreviações. Então, não devem ser seguidos de ponto, exceto se estiverem localizados no final da frase (Ex.: Escreve-se 75 cm de comprimento, e não 75 cm.). Os símbolos não variam no plural (Ex.: 1 W, 2 W, e não 2 Ws). Não se misturam símbolos com nomes de unidades numa mesma expressão, pois os nomes não são entidades matemáticas (Ex.: Coulomb por quilograma, e não Coulomb por kg). Serão usadas, ainda, potências de 10 para a descrição das grandezas, porque assim é possível trabalhar de maneira mais confortável com valores muito grandes ou muito pequenos (INMETRO, 2012).



Caro acadêmico, mais informações sobre unidades, grafia correta das unidades e seus símbolos podem ser encontradas no site do Inmetro: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/unidLegaisMed.asp>

Na Tabela 1 são apresentados os prefixos das unidades do SI. Todos os prefixos são relacionados uns aos outros por potências de 10, o que os torna muito fácil de usar.

TABELA 1 – PREFIXOS DAS UNIDADES DO SI

Prefixos SI			
Prefixo	Símbolo	Decimal	Potência de 10
tera	T	1 000 000 000 000	10^{12}
giga	G	1 000 000 000	10^9
mega	M	1 000 000	10^6
kilo	k	1 000	10^3
hecto	h	100	10^2
deca	da	10	10^1
deci	d	0,1	10^{-1}
centi	c	0,01	10^{-2}
mili	m	0,001	10^{-3}
micro	μ	0,000 001	10^{-6}
nano	n	0,000 000 001	10^{-9}
pico	p	0,000 000 000 001	10^{-12}

FONTE: Disponível em: <<http://www.npl.co.uk/training>>. Acesso em: 2 fev. 2016.



Observe que os números da Tabela 1 que são maiores que 1 estão associados a potências positivas de dez, enquanto os números menores que 1 estão associados a potências negativas de dez.

Segundo Boylestad (2004), um método prático para determinar a potência de 10 apropriada é fazer uma pequena marca à direita do numeral 1, não importando a sua localização; conte então o número de casas decimais para a direita ou para a esquerda até chegar à vírgula. Movimentações para a direita indicam que a potência de dez será positiva; se o deslocamento for para a esquerda, a potência será negativa.

Exemplo:

$$10.000,0 = 10.000, = 10^{+4}$$

$$0,00001 = 0,00001 = 10^{-5}$$

Quando se escreve uma equação em textos matemáticos e técnicos, é comum utilizar letras do alfabeto grego. A Tabela 2 mostra o alfabeto grego e o nome de cada letra.

TABELA 2 – ALFABETO GREGO

Pronúncia	Minúscula	Maiúscula
<i>alfa</i>	α	A
<i>beta</i>	β	B
<i>gama</i>	γ	Γ
<i>delta</i>	δ	Δ
<i>épsilon</i>	ϵ	E
<i>dzeta ou zeta</i>	ζ	Z
<i>eta</i>	η	H
<i>teta</i>	θ	Θ
<i>lota</i>	ι	I
<i>capa</i>	κ	K
<i>lambda</i>	λ	Λ
<i>mi</i>	μ	M
<i>ni</i>	ν	N
<i>csi</i>	ξ	Ξ
<i>ômicron</i>	\omicron	O
<i>pi</i>	π	Π
<i>rô</i>	ρ	P
<i>sigma</i>	σ	Σ
<i>tau</i>	τ	T
<i>ipsilon</i>	υ	Y
<i>fi</i>	ϕ	Φ
<i>psi</i>	ψ	Ψ
<i>ômega</i>	ω	Ω

FONTE: Afonso e Filani (2011)

5 TENSÃO ELÉTRICA

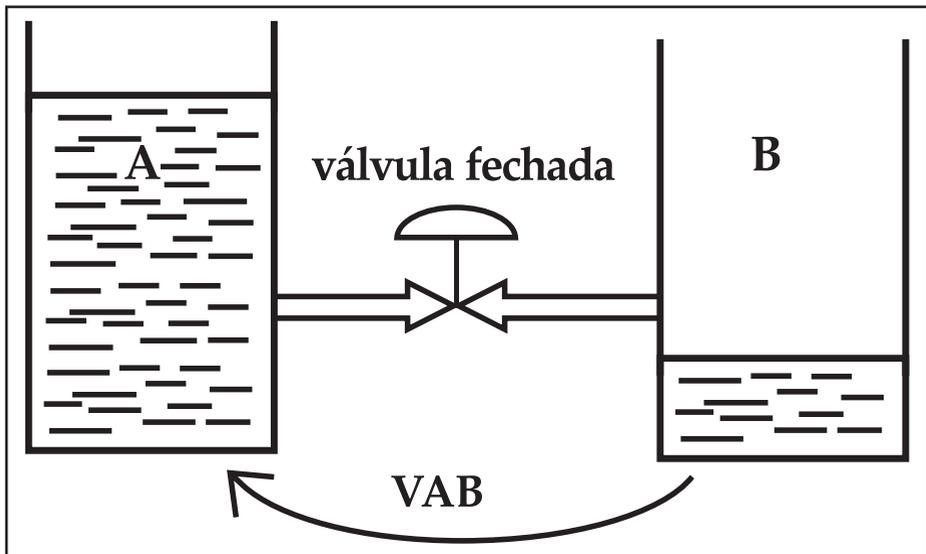
Segundo Gussow (1997, p. 4), tensão elétrica é a força que impulsiona os elétrons através de um condutor, realizando trabalho.

A tensão elétrica é uma grandeza elétrica, também denominada de diferença de potencial (ddp), força eletromotriz (fem) e queda de tensão. Quando entre dois corpos ou entre dois pontos existir uma diferença de quantidade de cargas, diz-se que existe uma diferença de potencial (ddp), ou uma tensão elétrica (V) (FREITAS; ZANCAN, 2011, p. 4).

Até aqui você conseguiu entender o significado de tensão elétrica?

Para entender melhor a definição de tensão elétrica, vamos fazer uma analogia entre tensão elétrica e um sistema hidráulico. Imagine dois reservatórios ligados entre si por uma válvula, conforme mostra a Figura 4. O reservatório A contém uma quantidade de água maior que o reservatório B.

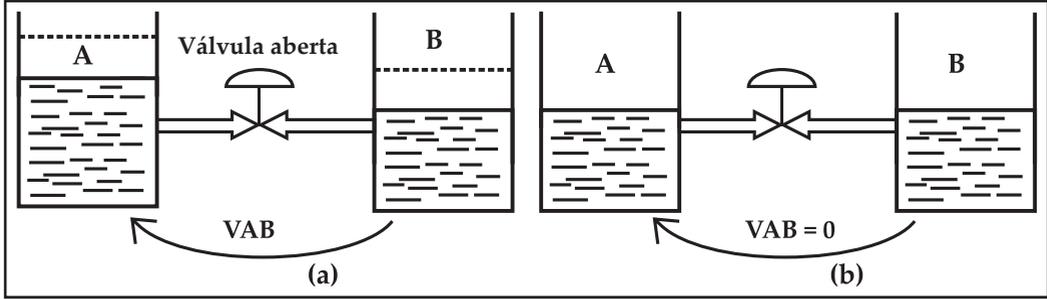
FIGURA 4 - RESERVATÓRIO CHEIO (A) E VAZIO (B)



FONTE: Adaptado de Afonso e Filani (2011)

Perceba que entre os dois tanques há uma diferença de potencial (diferença de pressão). O lado esquerdo da válvula está sujeito à pressão da coluna de água no reservatório A. Se a válvula de interligação entre os dois tanques for aberta, a água flui do tanque A para o tanque B até que o nível de água nos dois reservatórios fique exatamente o mesmo (AFONSO; FILANI, 2011). A Figura 5 mostra o fluxo de água do reservatório A para o reservatório B.

FIGURA 5 - (A) FLUXO DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO A PARA O B. (B) NIVELAMENTO DOS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA



FONTE: Adaptado de Afonso e Filani (2011)



É importante notar que não foi a pressão do tanque A que ocasionou o fluxo de água e, sim, a diferença de pressão entre o reservatório A e B.

Essa comparação ilustra o princípio de que os elétrons se movem, quando um caminho está disponível, a partir de um ponto de elétrons (com maior energia potencial) para um ponto deficiente em elétrons (energia potencial inferior). A força que faz com que estes elétrons se movimentem é a diferença de potencial entre os dois pontos. Esta força é chamada de tensão elétrica (V) ou diferença de potencial (ddp) ou a força eletromotriz (fem) (Disponível em: <[www.faa.gov/ Ch10.pdf](http://www.faa.gov/Ch10.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2016).

Tensão é a força que impulsiona os elétrons através de um condutor, realizando trabalho. Sua unidade é o Volt, que é definido como a diferença de potencial (ddp) entre dois pontos necessária para realizar um trabalho de 1 Joule, transferindo uma carga de 1 Coulomb de um ponto a outro: $1\text{ V} = 1\text{ J/C}$ (FREITAS, 2010, p. 29).

A Tabela 3 apresenta outras formas de se expressar a tensão:

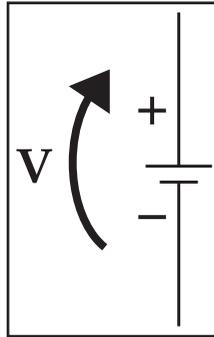
TABELA 3 - FORMAS DE EXPRESSAR A TENSÃO

Quantidade	Símbolo	Decimal
1 milivolt	1 mV	1/1000 volt
1 volt	1 V	1 volt
1 kilovolt	1 kV	1000 volts

FONTE: Adaptado de Braga (2013).

A simbologia utilizada em circuitos elétricos para representar a tensão é apresentada na Figura 6, onde a linha vertical mais longa indica o ponto de maior potencial (terminal positivo +).

FIGURA 6 – SÍMBOLO DE UM GERADOR DE TENSÃO



FONTE: Afonso e Filani (2011)



A tensão elétrica é uma grandeza mensurável. Para medir a tensão elétrica você utiliza um instrumento chamado voltímetro.

6 CORRENTE ELÉTRICA

Dizemos que existe uma corrente elétrica quando há movimento ou fluxo de elétrons (é análogo ao fluxo de água entre os reservatórios A e B sob a ação da diferença de pressão entre eles). Para produzir a corrente, os elétrons devem se deslocar pelo efeito de uma diferença de potencial (ddp).

No sistema internacional (SI), a unidade de corrente elétrica é o ampère (A). Utilizaremos a letra i ou I para simbolizar a corrente elétrica. Um ampère de corrente é definido como o deslocamento de um coulomb através de um ponto qualquer de um condutor durante um intervalo de tempo de um segundo (GUSSOW, 1997).

$$\frac{\text{coulomb (C)}}{\text{segundo (S)}} = \text{ampère (A)}$$

Entende-se por intensidade de corrente elétrica a quantidade de elétrons que fluem através de um condutor durante certo intervalo de tempo. A definição matemática da intensidade da corrente elétrica é dada pela Equação (2):

$$I = \frac{Q}{t} \qquad \text{Equação(2)}$$

Onde,

- I = Corrente, A (ampére)
- Q = Carga, C (coulomb)
- t = Tempo, s (segundos)

A partir da equação (2) podemos derivar mais duas. Basta aplicarmos regras matemáticas para isolar as variáveis de interesse. Portanto:

- Para calcular a variação do tempo (conhecendo os valores de carga e corrente):

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

- Para calcular a variação da carga (conhecendo os valores de corrente e tempo):

$$Q = I \times t$$

A corrente elétrica também é uma grandeza mensurável, para medi-la utiliza-se um instrumento chamado “Amperímetro”.

EXEMPLOS

- 1) Em uma seção transversal de um fio condutor circula uma carga de 20 C a cada 2 s. Qual a intensidade de corrente através deste condutor?

Valores conhecidos: Q = 20C e t = 2s
 Incógnita: I ?

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{20C}{2s} = 10 A$$

- 2) Em um fio de cobre flui uma corrente de 2 A que deve conduzir através da sua seção transversal uma carga de 3,6 C. Qual o tempo necessário para a carga fluir pelo condutor?

Valores conhecidos: $I = 2 \text{ A}$ e $Q = 3,6 \text{ C}$

Incógnita: t ?

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{3,6 \text{ C}}{2 \text{ A}} = 1,8 \text{ s}$$

3) Qual a carga acumulada quando uma corrente de 20 A carrega um isolante num intervalo de tempo de 5 s ?

Valores conhecidos: $I = 20 \text{ A}$ e $t = 5 \text{ s}$

Incógnita: Q ?

$$Q = I \times t = 20 \text{ A} \times 5 \text{ s} = 100 \text{ C}$$

4) Uma corrente de 20 mA percorre um condutor durante 60 segundos.

a. Determine o valor da carga (Q) que passa através de uma seção transversal do condutor.

b. Determine a quantidade de elétrons relativa a esta carga.

Solução:

Variáveis conhecidas: $I = 20 \text{ mA}$; $\Delta t = 60 \text{ s}$

$$Q = I \times t = 0,02 \times 60 = 1,2 \text{ C}$$



Não esqueça de transformar a unidade de corrente de mA para A .
Basta dividir por 1000 .

Para calcular a quantidade de elétrons relativa a esta carga, vamos utilizar a equação da carga elétrica.

$$Q = N \times e \quad \text{onde } e = 1,6 \times 10^{-19}$$

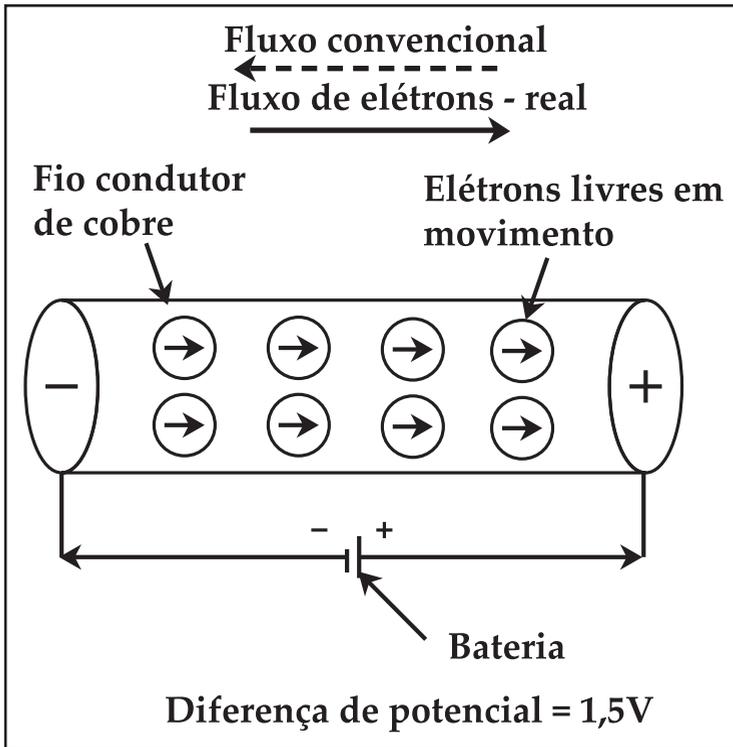
$$N = \frac{Q}{e} = \frac{1,2 \text{ C}}{1,6 \times 10^{-19}} = 7,5 \times 10^{18} \text{ elétrons}$$

6.1 SENTIDO DA CORRENTE ELÉTRICA

Como dito anteriormente, existe uma corrente elétrica quando há fluxo de elétrons. Agora precisamos saber qual é o sentido destes elétrons.

Para entender melhor o sentido da corrente elétrica, imagine um condutor (ex.: um fio de cobre), os elétrons livres são cargas que podem ser deslocadas com relativa facilidade ao ser aplicada uma diferença de potencial. Se ligarmos às duas extremidades de um fio de cobre uma diferença de potencial, isto fará com que os elétrons se desloquem (Figura 7).

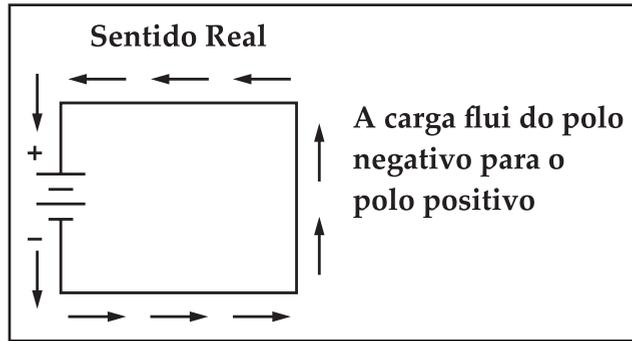
FIGURA 7 – SENTIDO DA CORRENTE ELÉTRICA



FONTE: Gussow (1997)

Essa corrente consiste em um movimento de elétrons a partir do ponto de carga negativa, numa das extremidades do fio, seguindo através do fio, e voltado para a carga positiva, na outra extremidade. O sentido do fluxo de elétrons é de um ponto potencial negativo para um ponto potencial positivo (GUSSOW, 1997). Este é o sentido REAL da corrente elétrica. Veja a figura a seguir:

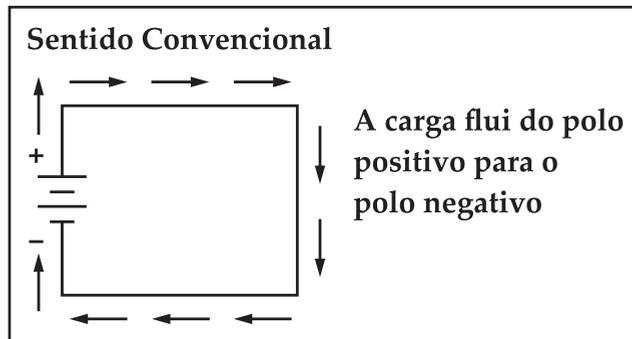
FIGURA 8 - SENTIDO REAL DA CORRENTE ELÉTRICA



FONTE: Gussow (1997)

Na prática, porém, adota-se o sentido CONVENCIONAL de corrente, que é o sentido oposto do sentido real, ou seja, sai do ponto potencial positivo em direção ao ponto potencial negativo. Este é o sentido convencional da corrente elétrica. Isso ocorre porque, no passado, acreditava-se que as cargas positivas eram as que se moviam, ideia eliminada com o avanço das pesquisas na área (AFONSO; FILANI, 2011).

FIGURA 9 - SENTIDO CONVENCIONAL DA CORRENTE ELÉTRICA



FONTE: Gussow (1997)

Qualquer circuito elétrico pode ser analisado tanto no sentido real do fluxo de elétrons quanto no sentido convencional.

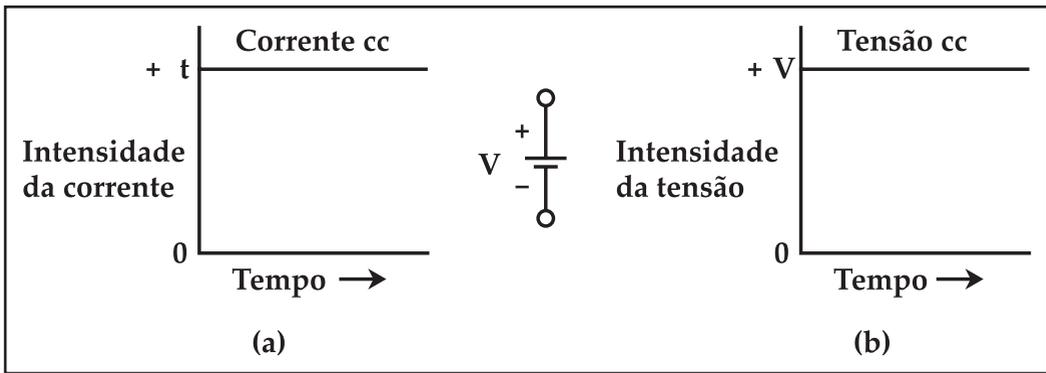


Neste estudo, a corrente será sempre considerada de acordo com o sentido convencional, porque é o mais utilizado.

6.2 CORRENTES E TENSÕES CONTÍNUAS E ALTERNADAS

Os sinais das tensões e correntes podem ser classificados em contínuos e alternados. A corrente contínua é aquela que passa através de um condutor ou de um circuito em um mesmo sentido. A razão para esta corrente fluir em um único sentido se deve ao fato das fontes de tensão, como as pilhas e baterias, manterem a mesma polaridade da tensão de saída. A tensão fornecida por estas fontes é chamada de tensão de corrente contínua (CC) (GUSSOW, 1997). Este é o tipo de eletricidade produzida por uma bateria (com terminais positivo e negativo), ou do tipo de carga gerada pela fricção de certos tipos de materiais uns contra os outros. A Figura 10 apresenta um exemplo de corrente e tensão contínua.

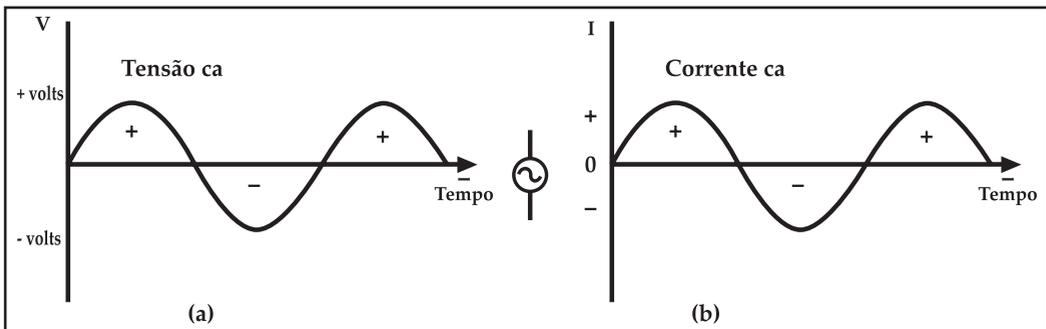
FIGURA 10 – EXEMPLO DE UMA CORRENTE CC (A) E UMA TENSÃO CC (B)



FONTE: Gussow (1997)

Certas fontes de eletricidade (por exemplo, geradores) produzem naturalmente tensões alternadas. Uma fonte de tensão alternada (tensão ca) inverte ou alterna periodicamente o seu sinal. Com isto, o sentido da corrente alternada também é invertido periodicamente (Figura 11). Quando o gerador inverte a sua polaridade, a corrente inverte também o seu sentido (KUPHALDT, 2007). Encontramos este tipo de corrente nas nossas residências, nas indústrias, nas centrais elétricas, nos alternadores dos automóveis, entre outros.

FIGURA 11 – EXEMPLO DE UMA TENSÃO CA (A) E UMA CORRENTE CA (B)



FONTE: Gussow (1997)

7 POTÊNCIA E ENERGIA

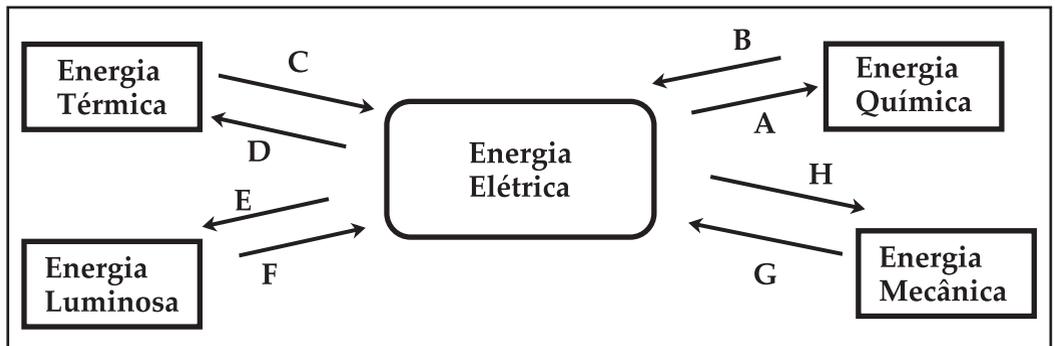
Veremos agora os conceitos de Potência e Energia.

7.1 ENERGIA

Energia pode ser definida como a capacidade de se produzir um efeito, ou seja, a capacidade de realizar trabalho (SONNTAG et al., 1999).

A energia pode ser convertida em diferentes formas, incluindo a energia térmica, energia cinética, energia potencial e energia eletromagnética. A Figura 12 mostra algumas formas de energia e suas possíveis transformações, tomando como referência a energia elétrica.

FIGURA 12 – FORMAS DE ENERGIA E SUAS POSSÍVEIS TRANSFORMAÇÕES



FONTE: Markus (2001)

Um dos processos de transformação de energia elétrica em energia química é denominado de eletrólise. Os demais processos podem ser realizados por diversos dispositivos (MARKUS, 2001). Alguns exemplos destes processos são listados abaixo:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| A= eletrólise | B = pilha elétrica |
| C = sensor termoeletrico | D = resistência elétrica |
| E = lâmpada elétrica | F = sensor fotoelétrico |
| G = dínamo | H = motor elétrico |

7.2 POTÊNCIA

Potência (P) é a taxa de consumo ou produção de energia W (e/ou trabalho) realizada em um intervalo de tempo (Δt).

Matematicamente, a potência pode ser expressa de acordo com a equação:

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

Onde,

$P = \text{Potência} - \text{unidade watt} (W)$

$W = \text{trabalho ou energia} - \text{unidade joule} (J)$

$\Delta t = \text{intervalo de tempo} - \text{unidade segundos} (s)$



Fique atento! 1 watt é igual a 1 J/s

Em empresas de energia elétrica e sistemas eletrônicos a quantidade mais comumente utilizada é a potência, pois tais sistemas envolvem a transmissão de energia de um ponto a outro. Além disso, todos os dispositivos elétricos industriais e domésticos, como lâmpadas, ferro, micro-ondas, televisores, computadores pessoais etc., têm uma potência nominal que indica a potência exigida pelo equipamento. Exceder a potência pode causar danos permanentes a um dispositivo elétrico (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014).

EXEMPLOS

- 1) Determine qual é a potência consumida por um forno micro-ondas quando são gastos 800 J de energia em 10 minutos.

Solução:

Primeiramente vamos transformar o tempo em minutos para segundos:
 10 min = 600 s

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{800 J}{600 s} = 1,33 W$$



Não esqueça! $1 \text{ J/s (Joule/segundo)} = 1 \text{ W (watt)}$

2) Qual a energia consumida por uma lâmpada de 60 W durante duas horas?

Solução:

Antes de substituir os valores na equação, vamos transformar o tempo de duas horas para segundos: $2 \text{ horas} = 7200 \text{ s}$

$$P = \frac{W}{\Delta t} \rightarrow W = P \times \Delta t$$

$$W = 60 \times 7200 = 432000 \text{ J} \quad \text{ou dividindo por } 1000 \quad 432 \text{ kJ}$$



Consulte a tabela de potências de 10 para poder transformar as unidades.

RESUMO DO TÓPICO 1

Nesse tópico, você aprendeu que:

- Cargas produzem forças umas sobre as outras. Cargas com o mesmo sinal se repelem e cargas com sinais opostos se atraem. A unidade de carga elétrica no Sistema Internacional (SI) é o *Coulomb* (C).
- Existem diferentes tipos de materiais que podem ser encontrados. De modo geral, os materiais podem ser divididos em três categorias: Condutores, Semicondutores e Isolantes.
- Tensão elétrica é a força que impulsiona os elétrons através de um condutor, realizando trabalho. O símbolo para tensão elétrica é o **V** ou **U**. Sua unidade é o Volt (V).
- Corrente elétrica (*I*) é o movimento ou o fluxo de elétrons. No Sistema Internacional, a unidade de corrente elétrica é o ampère (A).
- Intensidade de corrente elétrica é a quantidade de elétrons que fluem através de um condutor durante certo intervalo de tempo.

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

- A corrente contínua (**cc**) é a corrente que permanece constante no tempo. A corrente alternada (**ca**) é a corrente que varia periodicamente no tempo, ora em um sentido, ora no outro.



- 1 Determine qual é a corrente necessária para carregar um dielétrico para que o mesmo acumule uma carga de 30 C após um intervalo de tempo de 6 s.
- 2 (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014) A unidade de corrente é:
 - a) () coulombs
 - b) () ampères
 - c) () volts
 - d) () joules
- 3 (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014) Tensão é medida em:
 - a) () watts
 - b) () ampères
 - c) () volts
 - d) () joules por segundo
- 4 Classifique os seguintes materiais em: (C) condutores, (I) isolantes e (S) semicondutores.

a) () ouro	b) () vidro	c) () germânio
d) () prata	e) () borracha	f) () mica
g) () chumbo	h) () cobre	i) () papel
- 5 Uma corrente de 15 mA percorre um condutor durante 70 segundos.
 - a) Determine o valor da carga (Q) que passa através de uma seção transversal do condutor.
 - b) Determine a quantidade de elétrons relativa a esta carga.
- 6 Por um fio condutor passam $3,12 \times 10^{18}$ elétrons a cada 2 minutos e 5 segundos. Determine a corrente elétrica (I) no condutor.
- 7 Qual a corrente elétrica (I) sabendo que 32,5 C atravessam a seção transversal de um condutor durante 15 s.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

1 INTRODUÇÃO

No Tópico 1, estudamos duas propriedades fundamentais para o entendimento da produção de energia elétrica: corrente e tensão. Neste tópico, vamos entender como estas duas propriedades está relacionada com um a terceira propriedade conhecida como resistência.

Para seu melhor entendimento, vamos imaginar que você está em um *shopping*, em plena época de natal, tentando comprar seus últimos presentes. É sempre a mesma situação: o local fica cheio e você tem que disputar com uma multidão para ir de loja em loja. Talvez, esta pareça ser uma estranha forma de iniciar uma discussão sobre a resistência elétrica, mas os dois cenários são realmente muito semelhantes.

Agora, imagine um elétron tentando fazer o seu caminho através de um condutor, é muito semelhante a você tentando fazer o seu caminho no shopping entre a multidão.

Em geral, a palavra “resistência” é usada para descrever uma força de impedimento que age contra um objeto quando este tenta fazer alguma coisa. Quando você estava no *shopping* tentando fazer o seu caminho através da multidão, deve ter se esbarrado nas pessoas. Cada uma destas pequenas colisões levou um pouco de energia de você.

Resistência elétrica é quando os átomos de um condutor tentam impedir o fluxo de elétrons.

Um elétron que flui através de um condutor enfrenta os mesmos desafios, mas em vez de pessoas, é impedido pelos átomos do material. A resistência com que um objeto impede uma corrente elétrica, que é o fluxo de elétrons, é denominada resistência elétrica, e é medida em ohms (Ω).

A resistência total de um objeto é influenciada por vários fatores como: tipo de material, suas dimensões e sua temperatura.

2 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

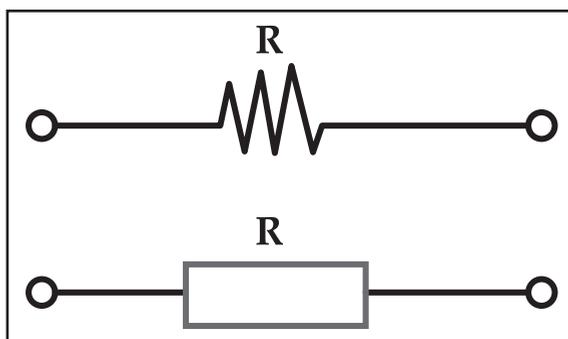
Materiais, em geral, têm um comportamento característico de se opor ao fluxo de corrente elétrica. Esta característica depende da estrutura atômica do material, por exemplo: um condutor possui muitos elétrons livres, o que facilita o fluxo de elétrons e, portanto, diminui a resistência elétrica. Já nos isolantes é o inverso, são materiais que têm poucos elétrons livres, apresentando assim uma alta resistência elétrica (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014).

A resistência elétrica é definida como a capacidade que cada material possui em resistir à passagem de corrente elétrica. Esta propriedade física é representada pelo símbolo R .

A unidade de resistência elétrica é o Ohm, simbolizado pela letra (Ω), onde $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$ (volt/ampère).

O símbolo para resistência ou resistor é mostrado na Figura 13, na qual R representa a resistência do resistor.

FIGURA 13 - SÍMBOLO ELÉTRICO PARA A RESISTÊNCIA



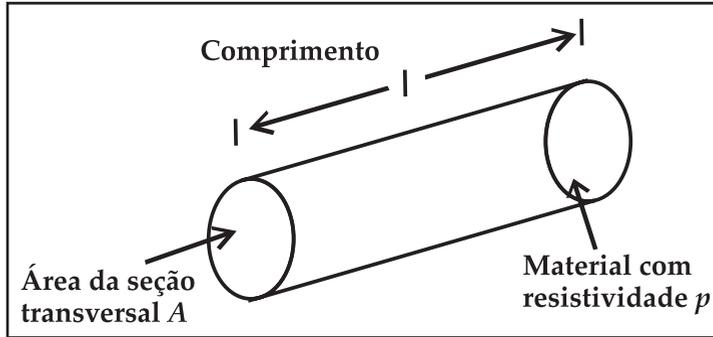
FONTE: Afonso e Filani (2011)

De acordo com Sadiku, Musa e Alexander (2014), a resistência elétrica (R) de qualquer material depende de quatro fatores: comprimento, área, tipo de material e da temperatura.

1. Comprimento - quanto maior for o comprimento, maior será a probabilidade de colisões entre os elétrons e, por isso, maior a resistência;
2. Área - quanto maior a área A , mais fácil será para os elétrons fluírem, por isso, menor será a resistência;
3. Tipo de material - cada material irá se opor ao fluxo de corrente de um modo diferente;
4. Temperatura - tipicamente, para os metais, à medida que a temperatura aumenta, a resistência aumenta.

Portanto, a resistência elétrica (R) para qualquer material com área de seção transversal uniforme (A) e comprimento l (como mostrado na Figura 14) é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área da seção transversal.

FIGURA 14 – EXEMPLO DE UM CONDUTOR COM SEÇÃO TRANSVERSAL UNIFORME



FONTE: O autor

Matematicamente, podemos definir a resistência de um material de acordo com a Equação 3:

$$R = \rho \times \frac{l}{A} \quad \text{Equação (3)}$$

ρ = resistividade é dada em Ωm (ohm x metro).

A = área de seção transversal do fio (m^2)

l = comprimento (m)

A seção transversal do elemento pode ser circular, quadrada, retangular, e assim por diante. Como a maioria dos condutores têm seção transversal circular, a área de seção transversal pode ser determinada em termos do raio r ou do diâmetro d do condutor, de acordo com a Equação (4) mostrada a seguir (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014):

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d^2}{4} \right) \quad \text{Equação (4)}$$

A grandeza resistividade, definida pela letra grega ρ (rô), é uma propriedade específica de cada tipo de material, em relação à sua constituição atômica. Dependendo do tipo de material a resistividade é diferente, e é um dos fatores que determinam a maior ou menor resistência do material à passagem de corrente elétrica.

A resistividade de alguns materiais comuns é apresentada na Tabela 4, a seguir:

TABELA 4 – RESISTIVIDADE DE ALGUNS CONDUTORES MAIS COMUNS

MATERIAIS CONDUTORES	RESISTIVIDADE ($\Omega.m$)	Uso
Alumínio	$2,8 \times 10^{-8}$	Condutor
Ferro	$1,23 \times 10^{-7}$	Condutor
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$	Condutor
Prata	$1,64 \times 10^{-8}$	Condutor
Ouro	$2,45 \times 10^{-8}$	Condutor
Chumbo	$2,2 \times 10^{-7}$	Condutor
Germânio	$4,7 \times 10^{-1}$	Semicondutor
Silício	$6,4 \times 10^2$	Semicondutor
Mica	5×10^{11}	Isolante
Vidro	10^{12}	Isolante
Teflon	3×10^{12}	Isolante
Papel	10^{10}	Isolante

FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

Para aumentar a resistência de um circuito são utilizados componentes elétricos chamados resistores. Um resistor é um dispositivo cuja resistência ao fluxo da corrente elétrica tem um valor conhecido e bem determinado. Os resistores são elementos comuns na maioria dos dispositivos elétricos e eletrônicos. Algumas das aplicações frequentes dos resistores são: estabelecer o valor adequado da tensão do circuito, limitar a corrente e constituir-se numa carga (GUSSOW, 1997).

EXEMPLOS

- 1) Determine a resistência de um fio de cobre que possui um diâmetro de 2 mm e um comprimento de 30 m.

Solução:

Primeiramente, calculamos a área da seção transversal. Como o diâmetro foi dado em milímetros, precisamos transformar para metros:

$$2\text{mm} = 0,002 \text{ m}$$

$$A = \pi \left(\frac{d^2}{4} \right) = \pi \frac{(0,002^2)}{4} = 3,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Da Tabela (3) obtemos a resistência do cobre como $1,72 \times 10^{-8} \Omega.m$. Assim,

$$R = \rho \frac{l}{A} = 1,72 \times 10^{-8} \times \frac{30}{3,14 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,164 \Omega$$

- 2) Nos faróis dos carros existe um filamento que é fabricado de tungstênio. A resistividade do tungstênio é tabelada e seu valor é $\rho = 5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$. Este filamento tem uma resistência de $0,250 \Omega$ e 6 cm de comprimento (que pode ser enrolado para poupar espaço), qual é o seu diâmetro?

Solução:

Variáveis conhecidas - $\rho = 5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$; $R = 0,250 \Omega$ e $l = 0,06 m$

Podemos reorganizar a equação $R = \rho \times \frac{l}{A}$ para calcular a área de seção transversal do filamento (fio), a partir das informações fornecidas no enunciado. Em seguida, o seu diâmetro pode ser determinado assumindo que este tem uma área de seção transversal circular.

$$A = \frac{\rho \times l}{R}$$

Substituindo-se os valores na equação, tem-se:

$$A = \frac{5,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m \times 0,06 m}{0,250 \Omega} = 1,34 \times 10^{-8} m^2$$

A área de um círculo está relacionada com o diâmetro da seguinte forma:

$$A = \pi \times \frac{d^2}{4}$$

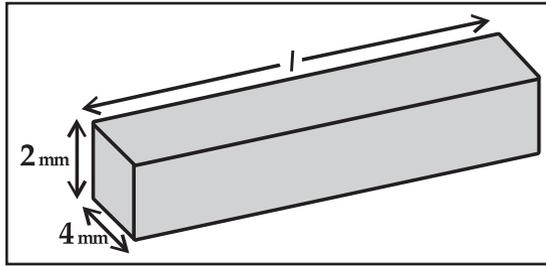
Para calcular o diâmetro vamos isolar d da equação:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,34 \times 10^{-8}}{3,1416}}$$

$$d = 1,31 \times 10^{-4} m$$

- 3) Uma barra de ferro como a mostrada na figura a seguir possui uma resistência de $0,5 \Omega$. Calcule o comprimento da barra.

FIGURA 15 – BARRA DE FERRO



FONTE: O autor

Solução:

A barra possui uma seção transversal uniforme retangular, então a área de seção transversal é:

$$A = largura \times altura$$

$$A = 0,004 \times 0,002 = 8 \times 10^{-6} m^2$$

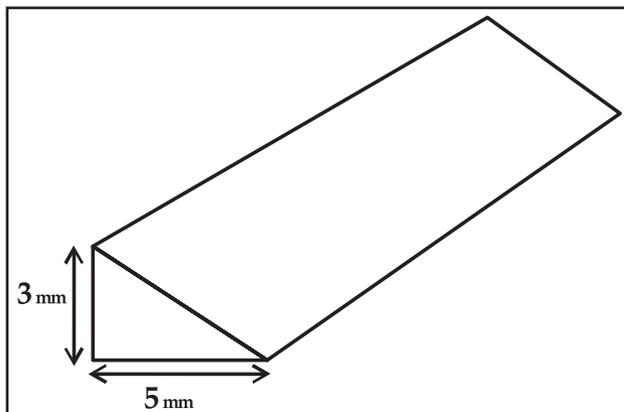
Da Tabela (3), a resistividade do ferro é obtida como sendo $1,23 \times 10^{-7} \Omega m$. Assim,

$$R = \rho \frac{l}{A} \rightarrow l = \frac{RA}{\rho}$$

$$l = \frac{0,5 \times 8 \times 10^{-6}}{1,23 \times 10^{-7}} = 32,5 m$$

- 4) Uma barra condutora de chumbo com seção transversal triangular é mostrada na figura abaixo. Determine o comprimento da barra que irá produzir uma resistência de $0,25 \Omega$.

FIGURA 16 – BARRA DE CHUMBO



FONTE: O autor

Solução:

A barra possui uma seção transversal triangular, então a área de seção transversal é:

$$A = \frac{\text{base} \times \text{altura}}{2}$$

$$A = \frac{5 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^{-3}}{2} = 7,5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Da Tabela (3), a resistividade do chumbo é obtida como sendo $2,2 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$. Assim,

$$R = \rho \frac{l}{A} \rightarrow l = \frac{RA}{\rho}$$

$$l = \frac{0,25 \times 7,5 \times 10^{-6}}{2,2 \times 10^{-7}} = 8,523 \text{ m}$$

3 1ª LEI DE OHM

O físico alemão George Simon Ohm definiu a relação entre a tensão (V), a intensidade da corrente elétrica (I) e a resistência elétrica (R), a qual é reconhecida como Lei de Ohm. Segundo Gussow (1997, p. 23), há três formas de expressar matematicamente a Lei de Ohm:

1. A corrente num circuito é igual à tensão aplicada ao circuito dividida pela resistência do circuito:

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

2. A resistência de um circuito é igual à tensão aplicada sobre ele dividida pela corrente que passa pelo circuito:

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

3. A tensão aplicada a um circuito é igual ao produto da corrente pela resistência do circuito:

$$V = I \times R$$

Onde:

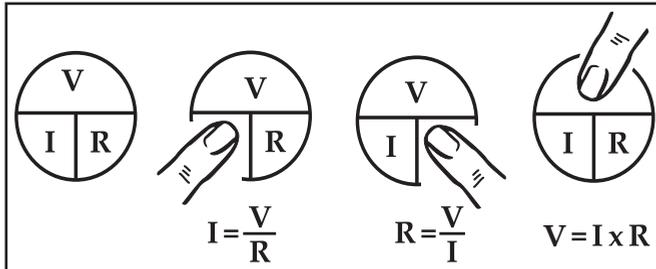
I = corrente em ampéres (A)

R = resistência em Ohms (Ω)

V = tensão em volts (V)

As equações da Lei de Ohm podem ser memorizadas utilizando-se o círculo da Lei de Ohm (Figura 17). Quando forem conhecidas duas quantidades, para se determinar a equação para V , I ou R , cubra a terceira quantidade com o dedo (GUSSOW, 1997).

FIGURA 17 - O CÍRCULO DA LEI DE OHM



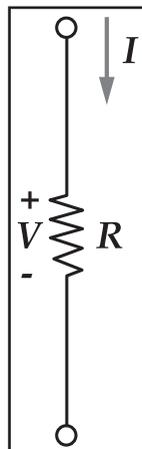
FONTE: Gussow (1997)



As duas outras variáveis do círculo indicarão como a quantidade coberta pode ser determinada.

Para aplicar a lei de Ohm, como indicado na Equação $V = I \times R$, por exemplo, devemos prestar atenção no sentido da corrente e na polaridade da tensão. O sentido da corrente I e a polaridade da tensão V devem estar em conformidade com a convenção mostrada na Figura 18, implicando que a corrente flui do maior potencial para o menor potencial (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014).

FIGURA 18 - SENTIDO DA CORRENTE I E POLARIDADE DA TENSÃO V NO RESISTOR R



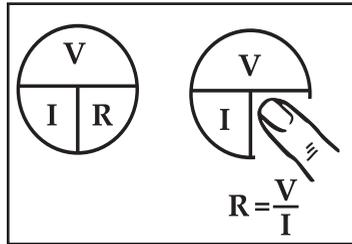
FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

EXEMPLOS

- 1) Uma lâmpada consome 2 A operando em um circuito de 120 V. Qual a resistência do filamento da lâmpada?

Solução:

Incógnita R



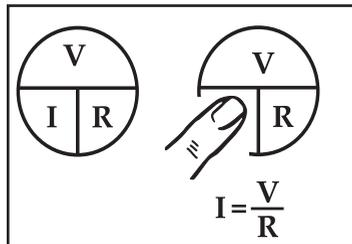
$$R = \frac{V}{I} = \frac{220V}{2A} = 110\Omega$$

Obs.: $1\Omega = 1V / A$

- 2) O componente essencial em uma torradeira é um elemento elétrico (um resistor) que converte energia elétrica em energia térmica. Quanta corrente é consumida pela torradeira com resistência de 22Ω em 110 V?

Solução:

Incógnita I (corrente)



$$I = \frac{110}{22} = 5A$$

- 3) Encontre a tensão de uma fonte que produz uma corrente de 15 mA em um resistor de 50Ω .

Solução:

Valores conhecidos:

Corrente: $I = 15 \times 10^{-3} A$; Resistência: 50Ω

$$V = I \times R$$

$$V = 15 \times 10^{-3} A \times 50\Omega = 0,75 V$$

4 POTÊNCIA DISSIPADA EM UMA RESISTÊNCIA

Podemos também determinar a potência consumida por um sistema ou dispositivo elétrico em função dos valores de corrente (I) e tensão (V) (BOYLESTAD, 2004), como mostra a equação a seguir (5):

$$P = V \times I \quad \text{Equação (5)}$$

Onde,

$$\begin{aligned} P &= \text{Potência, W (unidade Watts)} \\ V &= \text{Tensão, V} \\ I &= \text{corrente, A} \end{aligned}$$

Se conhecermos a corrente I e a resistência R , mas não a tensão, podemos determinar a potência P de um determinado sistema elétrico utilizando a Lei de Ohm para a tensão:

$$V = I \times R \quad \text{Equação (6)}$$

Substituindo a Equação (6) na Equação (5) para o cálculo da potência, temos:

$$P = IR \times I = I^2 \times R \quad \text{Equação (7)}$$

Do mesmo modo, se for conhecida a resistência R e a tensão V , mas não a corrente, podemos determinar a potência P utilizando a Lei de Ohm para a corrente:

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{Equação (8)}$$

Substituindo a Equação (8) na definição de potência, temos:

$$P = V \times I = V \times \frac{V}{R}$$

Portanto,

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{Equação (9)}$$

A potência elétrica determina a energia dissipada (perdida) por um resistor em um determinado tempo. Para se calcular a energia gasta durante este intervalo de tempo basta multiplicar a potência dissipada durante este tempo pelo intervalo de tempo, ou seja:

$$\text{Energia} = \text{potência} \times \text{tempo}$$

Onde,

energia - é expressa em Joule, J;
potência - é dada em watts, W
tempo - em segundos, s

EXEMPLOS

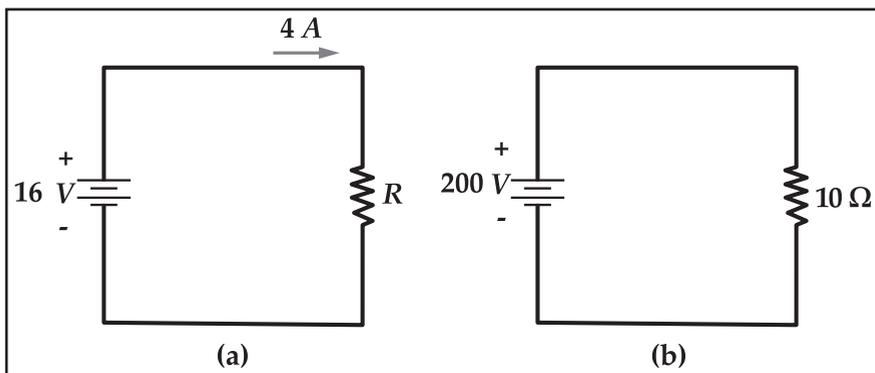
- 1) Uma residência possui uma lâmpada de 120 W e a mesma fica ligada durante um tempo de 16 horas. Quantos quilowatts-hora são consumidos por esta lâmpada? Quanto custará a operação da lâmpada por esse tempo se o custo da eletricidade é 6,5 centavos/kWh?

Solução:

$$\begin{aligned} \text{energia} &= \text{potência} \times \text{tempo} \\ \text{energia} &= 120\text{W} \times 16\text{h} = 1920\text{Wh} = 1,92\text{kWh} \\ \text{custo} &= 1,92 \times 6,5 = 12,5 \text{ centavos} \end{aligned}$$

- 2) Determine a potência elétrica em cada circuito mostrado na figura abaixo.

FIGURA 19 – EXEMPLOS DE CIRCUITOS EM PARALELO



FORNTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

Solução:

Circuito da Figura (a)

$$P = V \times I = 16 \times 4 = 64\text{W}$$

Circuito da Figura (b)

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(200)^2}{10} = 4000\text{W} = 4\text{kW}$$

3) A corrente que circula através de um resistor de 150Ω para ser usada em um circuito elétrico é de $0,15 \text{ A}$. Calcule a potência dissipada pelo resistor.

Solução:

$$P = I^2 \times R$$

$$P = (0,15 \text{ A})^2 \times 150 \Omega$$

$$P = 3,375 \text{ W}$$

4) Determine a corrente através de um resistor de 50Ω quando a potência dissipada por ele for de 20 mW .

Solução:

A partir da equação (7) $P = I^2 \times R$ vamos isolar a variável a ser calculada (corrente I):

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{20 \times 10^{-3} \text{ W}}{50 \Omega}} = \sqrt{4 \times 10^{-4}}$$

$$I = 2 \times 10^{-2} \text{ A}$$

5 CONDUTÂNCIA

A condutância (G) é outra característica dos materiais. É o inverso da resistência, ou seja, é a habilidade que um material possui em conduzir a corrente elétrica (I). A unidade da condutância no Sistema Internacional é o Siemens (S), em homenagem a Werner von Siemens (MARKUS, 2001).

A condutância, assim como a resistência, é uma quantidade útil na análise de circuitos elétricos (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014).

$$1 \text{ S (Siemens)} = 1 \text{ A (Ampère)} / \text{V (Volt)}$$

Matematicamente podemos expressar a condutância através da equação:

$$G = \frac{1}{R}$$



Quando não é conhecido o valor da resistência, mas sim da corrente e da tensão, você poderá utilizar a Lei de Ohm para calcular a condutância.



Vale lembrar: a Lei de Ohm para a corrente é definida como:

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

Portanto, a resistência em termos de tensão e corrente pode ser definida como:

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

Substituindo a resistência (R) na definição de condutância, temos:

$$G = \frac{I}{V}$$

EXEMPLOS

1) Encontre a condutância dos seguintes resistores: (a) 325 Ω (b) 120 Ω .

Solução (a):

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{325} = 0,0031S \text{ ou } 3,1mS$$

Solução (b):

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{120} = 0,00833S \text{ ou } 8,33mS$$

6 RESISTORES

Resistores elétricos são os dispositivos mais usados em circuitos elétricos. Estes dispositivos desempenham duas funções básicas:

- Transformam energia elétrica em energia térmica (Efeito Joule);
- Limitam a quantidade de corrente elétrica em um circuito, ou seja, oferecem resistência à passagem dos elétrons. Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/resistores>>. Acesso em: 2 fev. 2016.



O efeito Joule é a emissão de calor do componente causada pela passagem de corrente. Um exemplo de efeito Joule é a lâmpada incandescente, que, à medida que recebe corrente elétrica, aquece-se, emitindo luz.

Alguns exemplos de aplicações de resistores no nosso cotidiano são: aquecedor de um chuveiro elétrico, ferro elétrico, filamento de uma lâmpada incandescente etc.

RESUMO DO TÓPICO 2

Nesse tópico, você aprendeu que:

- A resistência elétrica é definida como a capacidade que cada material possui em resistir à passagem de corrente elétrica. Esta propriedade física é representada pelo símbolo R .
- A unidade de resistência elétrica é o Ohm, simbolizado pela letra (Ω), onde $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$ (volt/ampère).
- A resistência elétrica (R) de qualquer material depende de quatro fatores: comprimento, área, tipo de material e da temperatura.
- Um resistor é um elemento que obedece à Lei de Ohm:

$$V = I \times R$$

- A resistência R de um material pode ser avaliada como a resistividade ρ vezes o comprimento l dividido pela área da seção transversal A , isto é:

$$R = \frac{\rho \times l}{A}$$

- Para aumentar a resistência de um circuito são utilizados componentes elétricos chamados resistores.
- Os resistores são elementos comuns na maioria dos dispositivos elétricos e eletrônicos.
- Algumas das aplicações frequentes dos resistores são: estabelecer o valor adequado da tensão do circuito, limitar a corrente e constituir-se numa carga.
- A potência consumida por um sistema ou dispositivo elétrico pode ser determinada em função dos valores de corrente (I) e tensão (V), isto é:

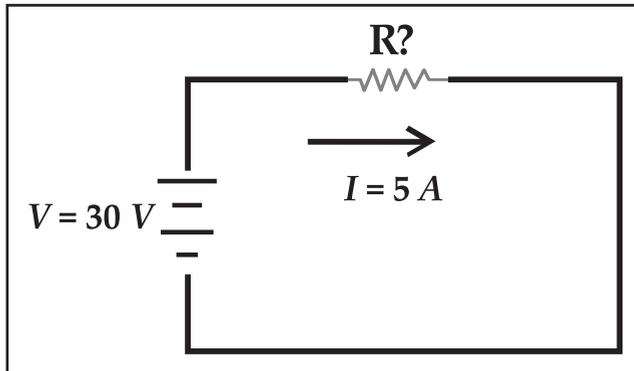
$$P = V \times I$$

- A condutância (G) é a habilidade que um material possui em conduzir a corrente elétrica (I). A unidade da condutância no Sistema Internacional é o Siemens (S).

AUTOATIVIDADE



- 1 No circuito elétrico indicado, o resistor limita a corrente a um valor de 5 A quando ligado a uma bateria de 30V. Determine a sua resistência.



FONTE: Adaptada de Gussow (1997)

- 2 Uma lâmpada de 40 W está conectada a uma fonte de 220 V. Qual é a corrente que circula pela lâmpada?
- 3 Um cabo de cobre com diâmetro (seção transversal) de 3,26 mm com 200 m de comprimento foi utilizado entre dois pontos em uma instalação elétrica. Qual a resistência deste condutor? ($\rho_{\text{cobre}} = 1,72 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$).
- 4 Calcule a resistência de uma bobina de cabo de alumínio com diâmetro de 7,64 mm com 600 m de comprimento. ($\rho_{\text{alumínio}} = 2,82 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$).
- 5 Um cabo de cobre com diâmetro de 3,76 mm apresenta resistência de 1000 Ω . Determine o comprimento do cabo ($\rho_{\text{cobre}} = 1,72 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$).
- 6 Em um sistema de distribuição de energia elétrica é utilizado um condutor de alumínio com diâmetro de 7,51 mm, que irá interligar um transformador a uma determinada residência apresentando resistência de 102.975 Ω . Qual a distância entre o transformador e a residência? $\rho_{\text{alumínio}} = 2,82 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$

CIRCUITOS ELÉTRICOS

1 INTRODUÇÃO

Neste tópico, são apresentadas as relações elétricas em circuitos de corrente contínua (cc). Embora a corrente alternada seja a mais utilizada em sistemas elétricos, a corrente contínua tem a vantagem de sempre fluir em uma direção. A corrente contínua é utilizada, por exemplo, para carregar as baterias de armazenamento, para operações de chapeamento, para a refinação de alumínio, alguns motores de corrente contínua com controle de velocidade etc. Neste estudo, a análise de circuitos elétricos será em corrente contínua.

2 DEFINIÇÃO DE CIRCUITO ELÉTRICO

Um circuito elétrico é um conjunto de dispositivos unidos por seus terminais, estabelecendo pelo menos um caminho fechado através do qual permite a circulação da corrente elétrica (BOYLESTAD, 2004). O circuito elétrico é composto por:

- Fonte de tensão: responsável em fornecer energia para o sistema (ex.: bateria);
- Condutores: são os fios que ligam as várias partes do circuito e conduzem a corrente elétrica;
- Carga: é o resistor;
- Dispositivos de controle: sistema responsável em garantir a segurança da instalação e/ou dos usuários. Quando ocorrer um evento não permitido no sistema, ele desliga automaticamente o circuito (ex.: chaves, disjuntor, fusíveis etc.) (SOUZA, 2009).

Uma etapa importante na análise de qualquer circuito consiste em desenhar um diagrama esquemático do circuito elétrico. Um diagrama esquemático é um diagrama que mostra através de símbolos gráficos as ligações e funções das diferentes partes do circuito. A Tabela 5 mostra os símbolos geralmente empregados nesses diagramas (GUSSOW, 1997, p. 40).

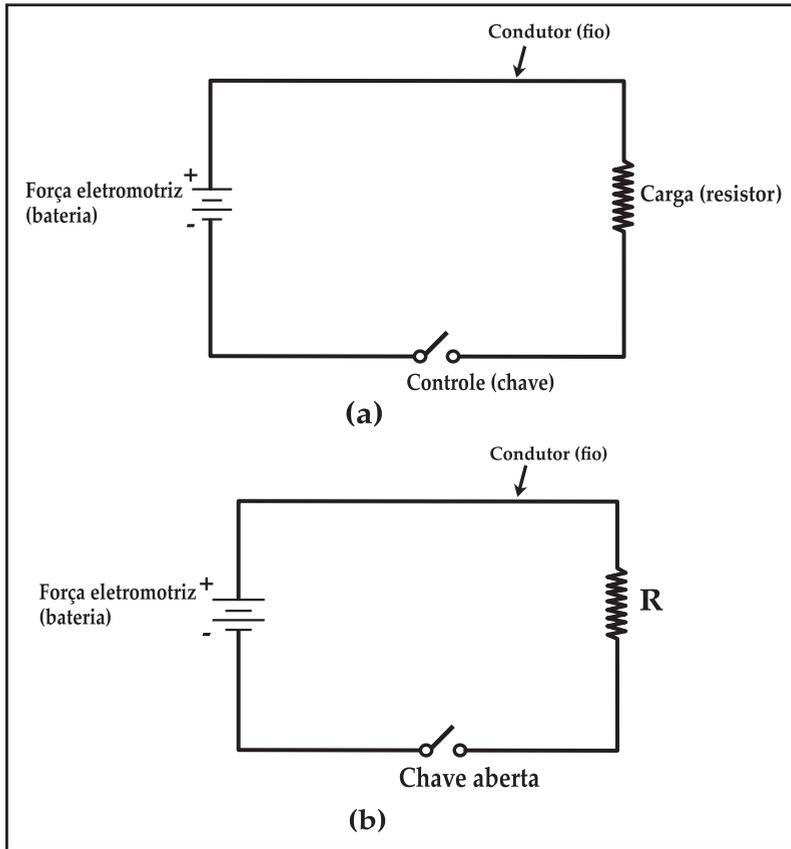
TABELA 5 – SÍMBOLOS EMPREGADOS NO DIAGRAMA DE UM CIRCUITO ELÉTRICO

Símbolos	Definição
	Condutor com resistência desprezível
	Resistor
	Fonte de tensão (a linha vertical mais longa indica o terminal positivo, geralmente o potencial mais elevado)
	Voltímetro (mede uma diferença de potencial entre seus terminais)
	Amperímetro (mede uma corrente que passa através do circuito)
	Fusível (Dispositivo de controle)
	Fios ligados
	Fios não ligados
	Chave (Dispositivo de controle)

FONTE: Adaptado de Gussow (1997)

Um circuito fechado ou completo (Figura 20a) consiste em um percurso sem interrupção para a corrente, saindo da fonte de tensão, passando pela carga e voltando à fonte. Um circuito é chamado incompleto ou aberto (Figura 20b) se houver uma interrupção no circuito que impeça a corrente de completar seu percurso (GUSSOW, 1997).

FIGURA 20 - (A) CIRCUITO ELÉTRICO FECHADO E SEUS DISPOSITIVOS. (B) CIRCUITO ABERTO



FONTE: Gussow (1997)

3 ELEMENTOS DE UM CIRCUITO ELÉTRICO

Os elementos de um circuito elétrico podem ser classificados em duas categorias gerais: elementos ativos e elementos passivos.

- Elementos ativos: se a energia é fornecida por eles;
- Elementos passivos: se a energia é fornecida para eles.

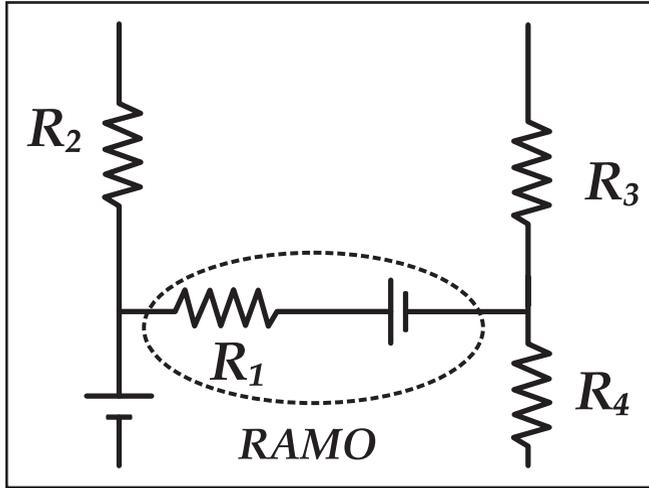
Alguns exemplos de elementos passivos são os resistores, capacitores e indutores; já elementos ativos são geradores, baterias e circuitos eletrônicos que requerem uma fonte de alimentação (SAMBAQUI, 2014).

Como os elementos de um circuito elétrico podem ser interconectados de diferentes modos, é preciso entender alguns conceitos básicos da topologia dos circuitos. Entende-se por topologia dos circuitos as propriedades relacionadas à disposição dos elementos no circuito e à configuração geométrica do circuito. Tais propriedades incluem os nós, os ramos e os laços (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014).

• Ramo

Qualquer parte de um circuito elétrico composto por um ou mais dispositivos ligados em série é denominada **ramo** (MARKUS, 2001). A Figura 21 apresenta um exemplo de ramo.

FIGURA 21- EXEMPLO DE UM RAMO EM UM CIRCUITO

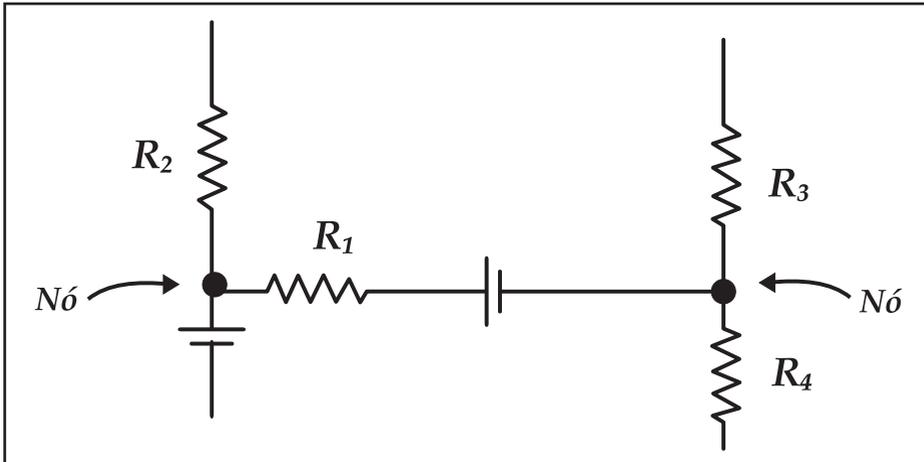


FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

• Nó

Define-se **nó** como sendo o ponto do circuito onde a corrente se divide em duas ou mais correntes. Um nó é um ponto de interconexão entre dois ou mais ramos. Usualmente um nó é indicado por um ponto no circuito (•). A Figura 22 mostra um exemplo de nó em um circuito elétrico.

FIGURA 22 – EXEMPLO DE NÓ EM UM CIRCUITO ELÉTRICO

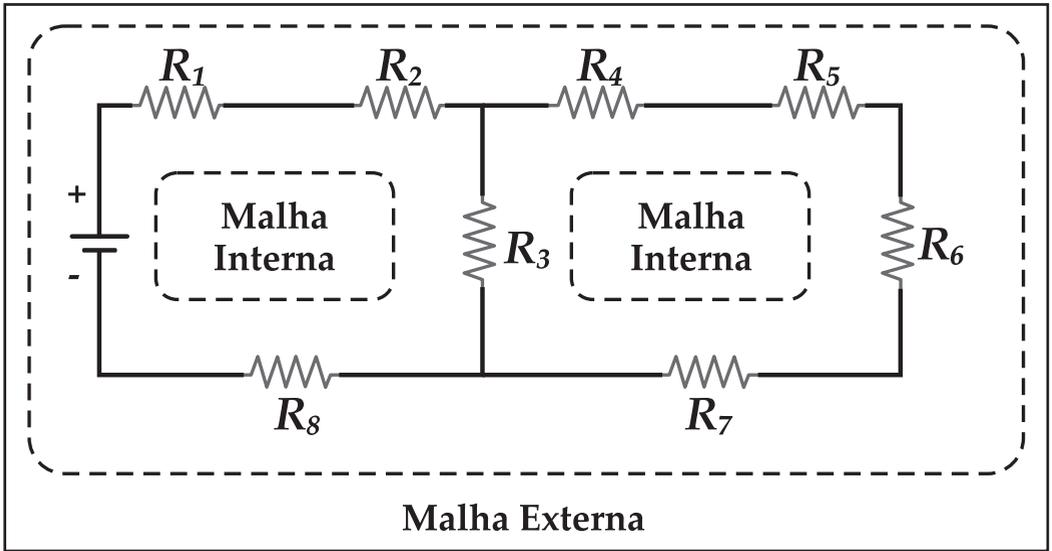


FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

- **Malha**

Malha é qualquer parte de um circuito elétrico cujos ramos formam um caminho fechado para a corrente elétrica (MARKUS, 2001). Na Figura 23 é apresentada uma malha em um circuito elétrico.

FIGURA 23 – MALHA EM UM CIRCUITO ELÉTRICO



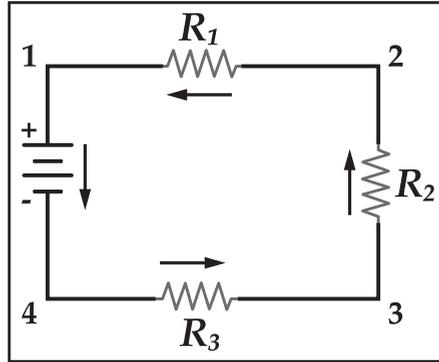
FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

Num circuito elétrico, os resistores podem estar ligados em série e/ou paralelo, em função das características dos dispositivos envolvidos no circuito, da necessidade de dividir uma tensão ou uma corrente, ou de obter uma resistência com um valor diferente dos valores encontrados comercialmente (MARKUS, 2001).

4 CIRCUITOS EM SÉRIE DE CORRENTE CONTÍNUA

Um **circuito em série** é aquele em que os resistores estão conectados um atrás do outro e a mesma corrente flui através dos resistores (BOYLESTAD, 2004). A Figura 24 apresenta um exemplo de um circuito conectado em série.

FIGURA 24 – CIRCUITO CONECTADO EM SÉRIE



FONTE: Boylestad (2004)

Aqui, nós temos três resistores (marcados por R_1 , R_2 , e R_3), ligados numa cadeia longa de um terminal da bateria para o outro. A característica definidora de um circuito em série é que só existe um caminho para o fluxo de elétrons. Neste circuito, os elétrons fluem no sentido anti-horário, a partir do ponto 4 do ponto 3 do ponto 2 ao ponto 1 e volta para o ponto 4.



Lembre-se: o sentido da corrente elétrica é o sentido convencional, ou seja, sai do ponto potencial positivo em direção ao ponto potencial negativo.

Quando as resistências estão ligadas em série, a resistência total do circuito é igual à soma das resistências individuais (GUSSOW, 1997), ou seja:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

Onde,

$$R_T = \text{resistência total em } \Omega$$

$$R_1, R_2, \text{ e } R_3 = \text{resistência total em série, } \Omega$$

Para N resistores em série, a resistência total é expressa como:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_N$$

Como é a mesma corrente I que flui através de cada resistor, podemos calcular a tensão sobre cada resistor (utilizando a Lei de Ohm) e a potência absorvida por eles, individualmente (BOYLESTAD, 2004):

$$V_1 = I \times R_1,$$

$$P_1 = I \times V_1 = I^2 \times R_1$$

$$V_2 = I \times R_2$$

$$P_2 = I \times V_2 = I^2 \times R_2$$

•

•

•

•

•

•

$$V_N = I \times R_N,$$

$$P_N = I \times V_N = I^2 \times R_N$$

A tensão total através de um circuito em série é igual à soma das tensões nos terminais de cada resistência do circuito, ou seja:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \dots \dots V_N$$

Para se calcular a tensão total através de um circuito em série, multiplique-se a corrente pela resistência total (GUSSOW, 1997), ou seja:

$$V_T = I \times R_T$$

Equação

Onde,

V_T = tensão total, V

I = corrente, A

R_T = resistência total, Ω

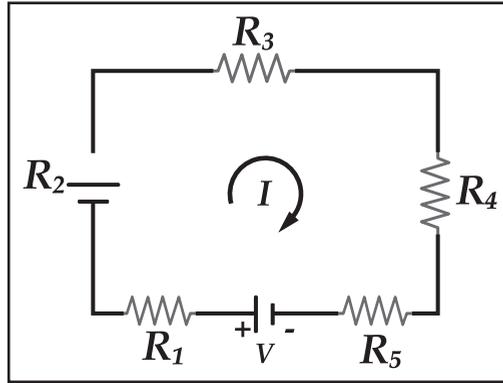


Lembre-se de que em um circuito em série passa a mesma corrente em qualquer parte do circuito. Não some as correntes em cada parte do circuito para obter I .

EXEMPLOS

- Um circuito elétrico em série mostrado na figura a seguir é formado por resistores de 50 Ω , 75 Ω , 100 Ω , 130 Ω e 150 Ω . Calcule a resistência total do circuito.

FIGURA 25 – CIRCUITO ELÉTRICO EM SÉRIE



FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

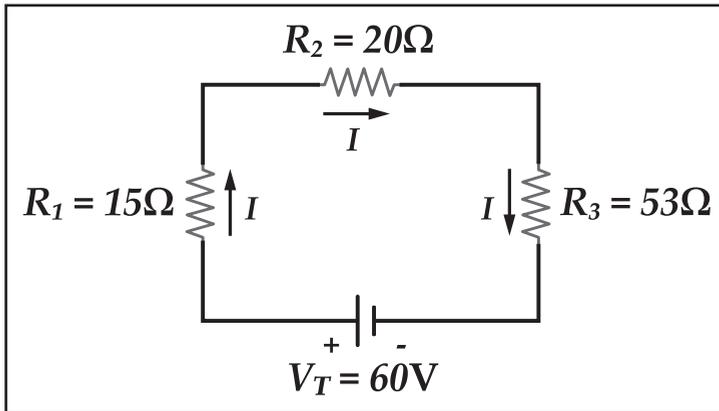
Solução:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 50 \Omega + 75 \Omega + 100 \Omega + 130 \Omega + 150 \Omega$$

$$R_T = 505 \Omega$$

2) Considere o seguinte circuito em série:

FIGURA 26 – CIRCUITO EM SÉRIE



FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

Encontre:

- (a) A resistência total
- (b) A corrente I
- (c) A tensão sobre R_1 , R_2 e R_3
- (d) A potência absorvida por R_1 , R_2 e R_3

Solução:

(a) A resistência total é

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 15 + 20 + 53 = 88 \Omega$$

(b) Utilizando a Lei de Ohm para calcular a corrente que flui pelo circuito elétrico

$$I = \frac{V_T}{R_T} = \frac{60V}{88\Omega} = 0,682 A$$

(c) As tensões sobre resistores são:

$$V_1 = I \times R_1 = 0,682 \times 15 = 10,23V$$

$$V_2 = I \times R_2 = 0,682 \times 20 = 13,64V$$

$$V_3 = I \times R_3 = 0,682 \times 53 = 36,15V$$

A fonte de tensão (neste caso, $V_T = 60V$) é compartilhada pelos três resistores na proporção de suas resistências.

(d) A potência absorvida pelos resistores é:

$$P_1 = I \times V_1 = 0,682 \times 10,23 = 6,98W$$

$$P_2 = I \times V_2 = 0,682 \times 13,64 = 9,30W$$

$$P_3 = I \times V_3 = 0,682 \times 36,15 = 24,65W$$

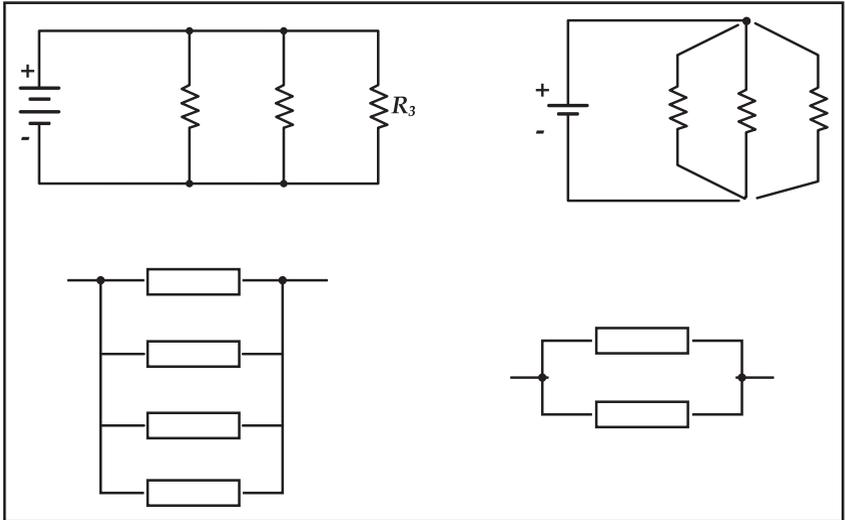
A potência total absorvida pelos resistores é:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 6,98W + 9,30W + 24,65W = 40,93W$$

5 CIRCUITOS EM PARALELO DE CORRENTE CONTÍNUA

Um **circuito em paralelo** consiste em resistores (ou elementos) que têm dois nós em comum; portanto, a mesma tensão aparece através de cada resistor (SADIKU; MUSA; ALEXANDER, 2014). Alguns exemplos de circuitos em paralelo são mostrados na Figura 27.

FIGURA 27 – EXEMPLOS DE CIRCUITOS EM PARALELO



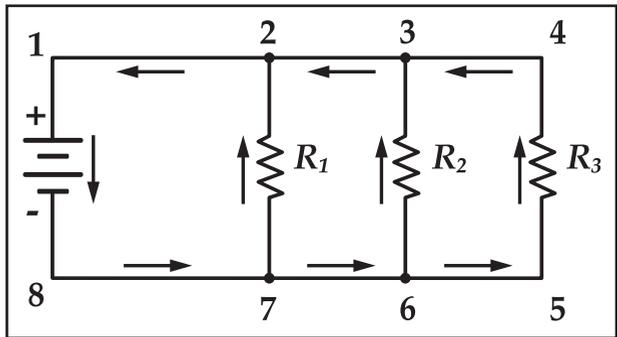
FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

As características principais de um circuito em paralelo são:

1. Cada elemento está ligado a dois nós como os demais elementos.
2. Existem dois ou mais caminhos para a corrente fluir.
3. A tensão sobre cada elemento em paralelo é a mesma.

Veja a seguir como você pode identificar um circuito em paralelo.

FIGURA 28 – CIRCUITO ELÉTRICO COM CONFIGURAÇÃO EM PARALELO



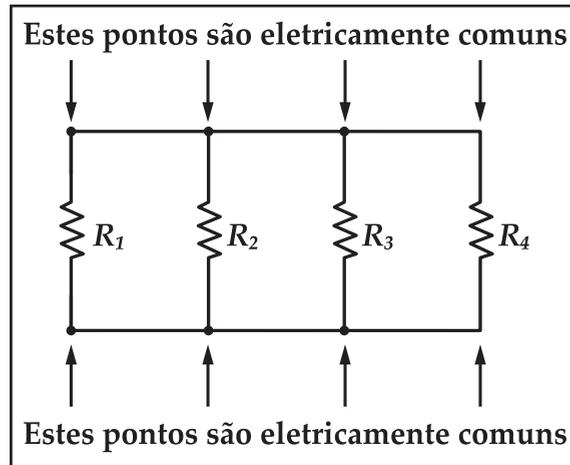
FONTE: Disponível em: <https://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/DC/DC_5.html>. Acesso em: 20 fev. 2016.

Novamente, temos três resistores, mas desta vez eles formam mais de um caminho contínuo para que os elétrons possam fluir. Há um caminho de 8 - 7 para 2 - 1 e volta a 8 novamente. Há outro 8 - 7 para 6 - 3 para 2 - 1 e volta a 8 novamente. E depois há uma terceira via 8 - 7 para 6 - 5 para 4 - 3 para 2 - 1 e volta a 8 novamente. Cada caminho individual (através de R_1 , R_2 , e R_3) é chamado de um ramo.

A característica principal de um circuito em paralelo é que todos os componentes estão ligados entre o mesmo conjunto de pontos eletricamente

comuns (ou seja, estão diretamente ligados entre si por um fio condutor). Olhando para o diagrama esquemático abaixo, vemos que os pontos 1, 2, 3 e 4 são eletricamente comuns, assim como são os pontos 8, 7, 6 e 5. Note que todas as resistências, bem como a fonte de tensão (bateria), estão conectadas entre estes dois conjuntos de pontos.

FIGURA 29 - PONTOS ELETRICAMENTE COMUNS

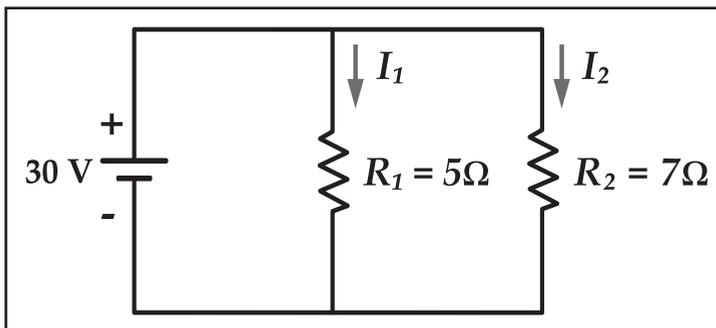


FONTE: Disponível em: <https://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/DC/DC_5.html>. Acesso em: 20 fev. 2016.

EXEMPLOS

Considere o seguinte circuito em paralelo, mostrado na Figura 30:

FIGURA 30 – CIRCUITO EM PARALELO



FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

Encontre os valores da corrente através de cada resistor e a potência absorvida por eles individualmente.

Solução:

Como os resistores estão em paralelo, eles estão sob a mesma tensão, então, utilizando a Lei de Ohm é possível calcular a corrente de cada resistor:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{30}{5} = 6 A$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{30}{7} = 4,3 A$$

A potência absorvida por R_1 é

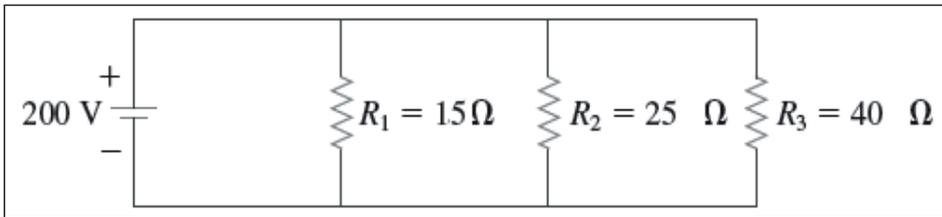
$$P_1 = V \times I_1 = 30 \times 6 = 180W$$

A potência absorvida por R_2 é

$$P_2 = V \times I_2 = 30 \times 4,3 = 129W$$

2) Calcule a corrente através dos resistores R_1 , R_2 e R_3 , do circuito em paralelo, mostrado na figura a seguir:

FIGURA 31 – CIRCUITO EM PARALELO



FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

Solução:

Utilizando a Lei de Ohm é possível calcular a corrente de cada resistor:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{200}{15} = 13,33 A$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{200}{25} = 8 A$$

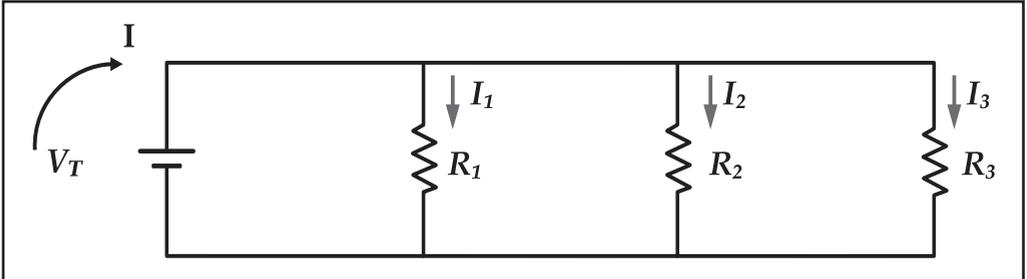
$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{200}{40} = 5 A$$

6 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM PARALELO

Como visto anteriormente, um circuito em paralelo tem como característica básica o fato da tensão (V) sobre cada resistor ser a mesma, igual à da fonte, com isto a corrente em cada resistor dependerá apenas de sua resistência, e a corrente total será igual à soma de todas as correntes.

A corrente proveniente da fonte de tensão é dividida em várias partes, tantas quantas forem os resistores ligados ao circuito. Considere o seguinte circuito elétrico com resistores em paralelo:

FIGURA 32 – CIRCUITO ELÉTRICO COM RESISTORES EM PARALELO



FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

$$V = R_T \times I_T = R_1 \times I_1 = R_2 \times I_2 = R_3 \times I_3 \quad (1)$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1}; \quad I_2 = \frac{V}{R_2}; \quad I_3 = \frac{V}{R_3} \quad (2)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (3)$$

Substituindo-se a equação (2) na equação (3), obtém-se:

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \quad (4)$$

Como a tensão (V) é a mesma em todos os resistores, podemos colocar em evidência V (da equação 4), assim, obtemos:

$$I = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{V}{R_T} \quad (5)$$

em que R_T é a resistência total dos resistores em paralelo

$$\frac{1}{R_T} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad (6)$$

Para o caso de se ter um circuito com N resistores em paralelo, podemos estender o resultado da Equação (6), assim, a resistência total (ou equivalente) para um circuito com N resistores será:

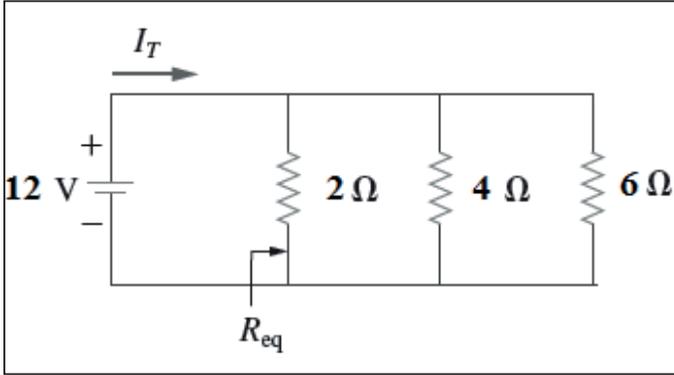
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \dots \dots \frac{1}{R_N} \quad (7)$$

Obs.: Resistência total (R_T) e resistência equivalente R_{eq} têm o mesmo significado, por isto, em alguns livros-texto você pode encontrar a resistência dos circuitos expressa tanto como resistência total (R_T) ou resistência equivalente R_{eq} .

EXEMPLOS

1) Para o circuito em paralelo mostrado a seguir, determine a resistência total R_T e a corrente total I_T .

FIGURA 33 – CIRCUITO EM PARALELO



FONTE: Sadiku, Musa e Alexander (2014)

Solução:

Escreva a fórmula para as três resistências em paralelo:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Substitua os valores das resistências

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6}$$

Some as frações

$$\frac{1}{R_T} = \frac{6}{12} + \frac{3}{12} + \frac{2}{12} = \frac{11}{12}$$



Antes de somar as frações é preciso tirar o m.m.c (mínimo múltiplo comum).

Inverta os dois lados da equação para obter o valor da resistência total (R_T).

$$R_T = \frac{12}{11} = 1,10\Omega$$

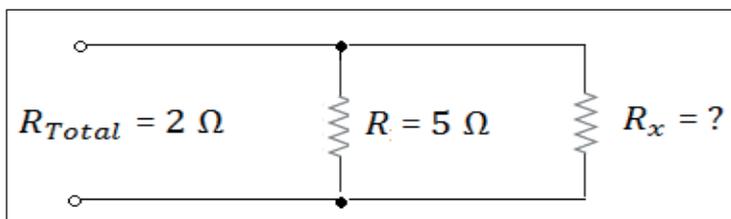


Observe que quando as resistências estão ligadas em paralelo, a Resistência total é sempre menor do que a resistência de qualquer ramo isoladamente. Neste caso, $R_T = 1,10\Omega$ é menor do que $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_3 = 6\Omega$.

Para calcular a corrente total I_T vamos utilizar a Lei de Ohm:

$$I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{1,10} = 10,9 A$$

2) Dado o circuito a seguir, encontre a resistência (R_x) que deve ser acrescentada em paralelo a um resistor de 5Ω para produzir uma resistência total de 2Ω .



FONTE: O autor

Solução:

São dados os valores da resistência total $R_T = 2\Omega$; e de um dos resistores $R = 5\Omega$.

Escreva a equação correspondente a resistores em paralelo e substitua os valores dados na equação.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_x}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{5} + \frac{1}{R_x}$$

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{2} - \frac{1}{5}$$

Obs.: Encontrar o m.m.c das frações

$$\frac{1}{R_x} = \frac{5}{10} - \frac{2}{10}$$

Subtrair as frações

$$\frac{1}{R_x} = \frac{3}{10}$$

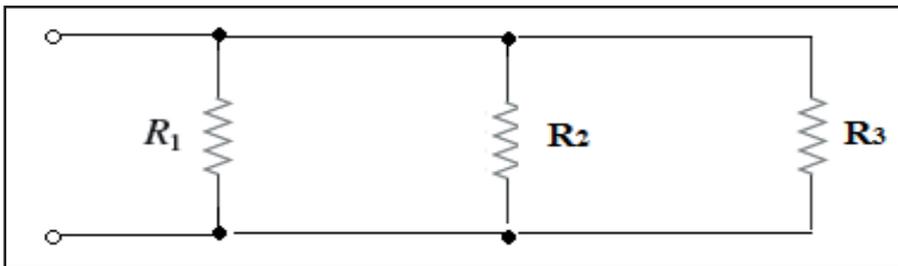
Inverta os dois lados da equação para obter o valor da resistência desconhecida

$$R_x = \frac{10}{3} = 3,33\Omega$$

7 ASSOCIAÇÃO DE N RESISTORES IGUAIS EM PARALELO

Suponha uma associação em paralelo, como mostrada na Figura 34, em que há N resistores, e todos possuem o mesmo valor.

FIGURA 34 - ASSOCIAÇÃO DE N RESISTORES IGUAIS EM PARALELO



$$R_1 = R_2 = R_3 = 4\Omega$$

FONTE: O autor

Vamos calcular a resistência total conforme proposto:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{3}{4}$$

$$R_T = \frac{4}{3} = 1,33\Omega$$

Quando houver N resistores iguais associados em paralelo, a resistência total pode ser obtida pela fórmula simplificada apresentada a seguir:

$$R_T = \frac{R}{N}$$

Onde,

R_T = resistência total ou equivalente do circuito, Ω

N = número de resistores do circuito

R = resistência, Ω

Ou seja, basta utilizar o valor de um dos resistores e dividir pelo número de componentes da associação (número de resistores do circuito).

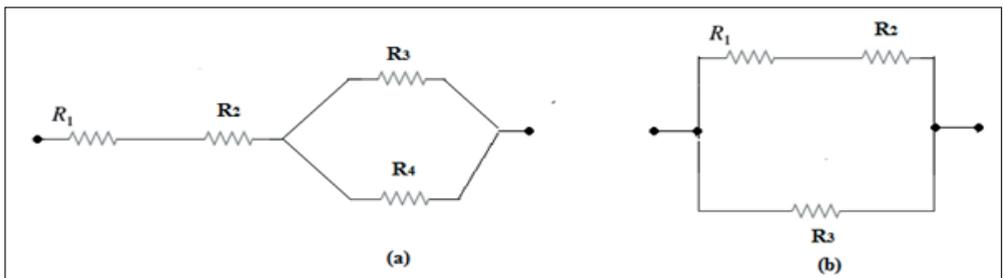
Para o circuito acima a resistência total (utilizando a fórmula simplificada) é:

$$R_T = \frac{4}{3} = 1,33\Omega$$

8 CIRCUITOS MISTOS

Um circuito elétrico é dito como misto quando associamos resistores em série e em paralelo no mesmo circuito. Na Figura 35 são apresentados alguns exemplos de circuitos mistos.

FIGURA 35 – EXEMPLOS DE UMA ASSOCIAÇÃO MISTA DE RESISTORES



FONTE: O autor

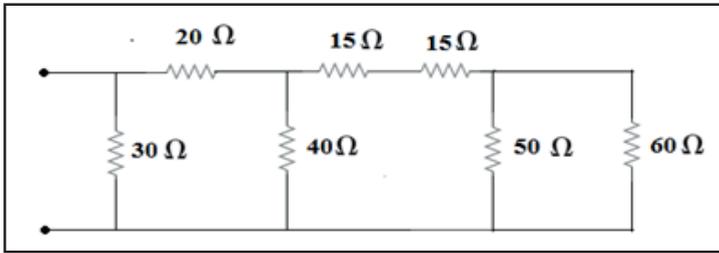
Na Figura (35a) os resistores R_1 e R_2 estão associados em série, enquanto que os resistores R_3 e R_4 estão associados em paralelo.

Não há uma fórmula específica para resolver uma associação mista. Para calcular a resistência equivalente em um circuito misto você deve considerar cada associação (série ou paralelo) separadamente, sendo que as equações e propriedades descritas anteriormente para as associações em série e em paralelo podem ser empregadas.

Os exemplos a seguir irão auxiliar no cálculo de associações mistas.

Exemplos

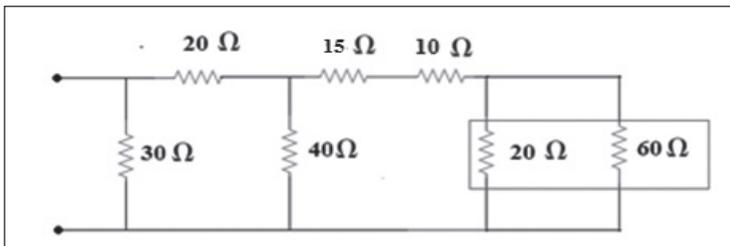
1) Considere o circuito misto apresentado abaixo:



Determine a sua resistência equivalente.

Solução:

Uma maneira de resolver este tipo de circuito é ir calculando por etapas, redesenhando o circuito com os resultados obtidos.



Os resistores destacados na figura estão em paralelo. Então, vamos calcular uma nova resistência para estes dois resistores em paralelo, transformando-os em um único resistor em série.

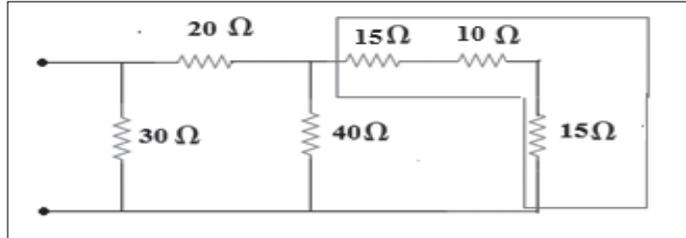
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{60}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{3}{60} + \frac{1}{60} = \frac{4}{60}$$

Invertendo os dois lados da equação tem-se:

$$R = \frac{60}{4} = 15\Omega$$

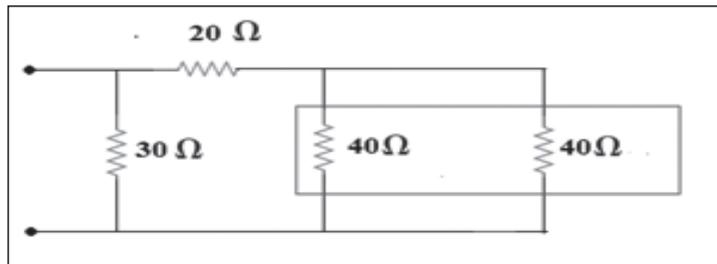
Assim, podemos substituir os resistores de 20Ω e 60Ω por um só de 15Ω . Portanto, o novo circuito será:



A parte do circuito destacada agora apresenta uma associação em série. A resistência equivalente a este circuito em série é:

$$R_{eq} = 15\Omega + 10\Omega + 15\Omega = 40\Omega$$

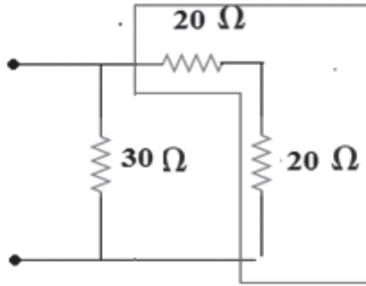
Substituindo no circuito o valor da associação equivalente dos três resistores em série, o circuito fica assim:



Agora, vamos resolver os dois resistores em paralelo (parte destacada do circuito). Aqui você pode utilizar a forma simplificada de associação em paralelo, já que os dois resistores possuem o mesmo valor.

$$R_{eq} = \frac{R}{N} = \frac{40}{2} = 20\Omega$$

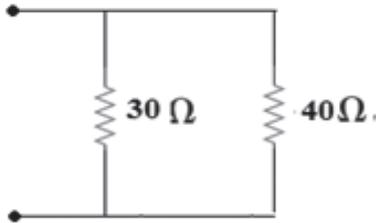
Substituindo a associação pelo equivalente, a nova configuração do circuito fica:



Resolvendo a associação em série temos:

$$R = 20\Omega + 20\Omega = 40\Omega$$

E o circuito fica:



Finalmente, resolvendo a associação em paralelo, chegamos à resistência equivalente do circuito completo, que é:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{40}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{4}{120} + \frac{3}{120} = \frac{7}{120}$$

Invertendo os dois lados da equação, tem-se:

$$R_{eq} = \frac{120}{7} = 17,14\Omega$$

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu que:

- Um circuito elétrico consiste em elementos elétricos interligados.
- Existem dois tipos de elementos encontrados nos circuitos elétricos: elementos *passivos* e elementos *ativos*. Um elemento ativo é capaz de gerar energia, enquanto o elemento passivo não.
- Um ramo é um simples elemento de dois terminais em um circuito elétrico. Um nó é o ponto de conexão entre dois ou mais ramos.
- Um **circuito em série** é aquele em que os resistores estão conectados um atrás do outro. Quando os elementos estão em série, a mesma corrente flui através deles.
- A resistência total (ou resistência equivalente) em um circuito em série é igual à soma das resistências individuais, isto é:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_N$$

- Dois elementos estão em paralelo se estiverem conectados aos mesmos dois nós.
- O circuito em paralelo tem como característica básica o fato da tensão (V) sobre cada resistor ser a mesma, com isto a corrente em cada resistor dependerá apenas de sua resistência, e a corrente total será igual à soma de todas as correntes.
- Em um circuito com N resistores em paralelo a resistência total (ou equivalente) será:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \frac{1}{R_N}$$

- Um circuito elétrico é dito como misto quando associamos resistores em série e em paralelo no mesmo circuito.
- Não há uma fórmula específica para resolver uma associação mista. Para calcular a resistência equivalente em um circuito misto você deve considerar cada associação (série ou paralelo) separadamente.

AUTOATIVIDADE

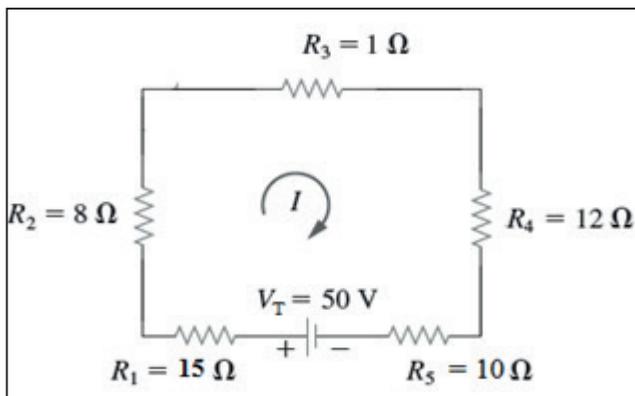


1 Três resistores de 20Ω , 30Ω , 15Ω , 25Ω estão conectados em paralelo. A resistência equivalente é de aproximadamente:

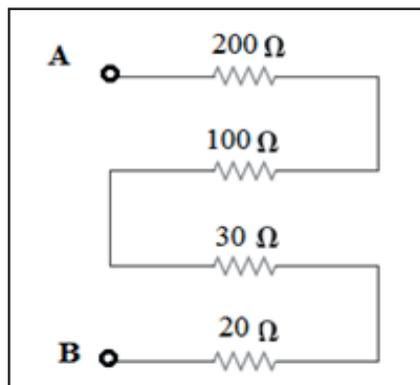
- a) () 5,26 c) () 7,54
b) () 12 d) () 52,6

2 Considere o circuito em série apresentado na figura a seguir. Encontre:

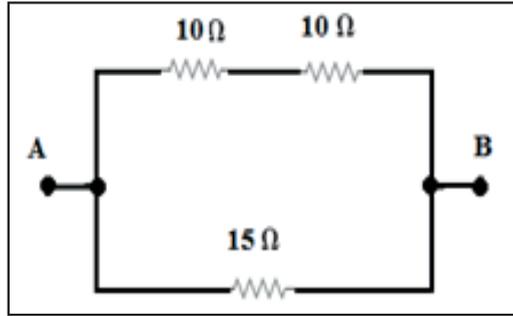
- a) A resistência total
b) A corrente I
c) A tensão sobre R_1 , R_2 , R_3 , R_4
d) A potência total absorvida por R_1 , R_2 , R_3 e R_4



3 Considere a sequência de quatro resistores conectados conforme mostra a figura. Calcule a resistência total entre os pontos A e B.



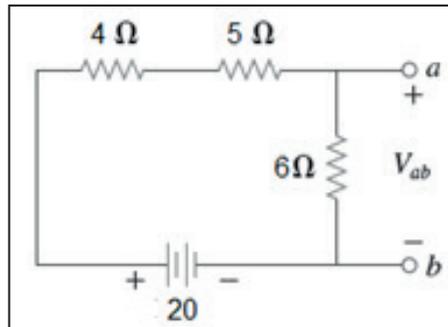
4 Calcule a resistência equivalente entre os pontos A e B da figura abaixo.



5 São dados os valores de $R_1 = 7,6\ \text{k}\Omega$, $R_2 = 47\ \text{k}\Omega$, $R_3 = 25\ \text{k}\Omega$ e $R_4 = 32\ \text{k}\Omega$, encontre a resistência total quando os resistores são conectados em série.

6 Três resistores R_1 , R_2 e R_3 são conectados em série a uma fonte de 220 V. A queda de tensão sobre R_1 e R_2 é 100 V, e a queda de tensão sobre R_2 e R_3 é 150 V. Se a resistência total é $12\ \Omega$, qual é a resistência de cada resistor?

7 Determine a tensão do V_{ab} do circuito indicado na figura:



GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade é fundamental para a nossa vida diária, mas a maioria das pessoas tem pouca compreensão do complexo processo que leva energia elétrica para nossas casas, escritórios, fábricas etc. Neste estudo vamos abordar como a energia elétrica é gerada, as principais formas de geração, transmissão e distribuição da energia.

2 GERAÇÃO DE ENERGIA

Como mencionado anteriormente, energia é a capacidade de realizar ou produzir trabalho. A principal característica da energia é que ela não pode ser criada, não pode ser destruída, só pode ser transformada. Sempre que uma quantidade de energia é necessária para alguma atividade, essa energia deve ser obtida através de transformações, a partir de outra forma já existente na natureza (calor do Sol, nas quedas d'água, nos ventos), ou seja, já está criada. A energia pode assumir diferentes formas: energia mecânica (cinética e potencial); energia elétrica; energia térmica; energia luminosa; energia sonora; energia química; energia atômica; energia eólica.

A geração de energia elétrica é a transformação de qualquer tipo de energia em energia elétrica. Esse processo ocorre em duas etapas. Na primeira etapa, uma máquina primária transforma qualquer tipo de energia, normalmente hidráulica ou térmica, em energia cinética de rotação. Em uma segunda etapa, um gerador elétrico acoplado à máquina primária transforma a energia cinética de rotação em energia elétrica (MODESTO, 2011, p. 10).

3 O SISTEMA DE GERAÇÃO

Para transformar um tipo de energia já existente em outro são necessários diferentes equipamentos. De acordo com Galdino (2011), o sistema de geração de energia é formado pelos seguintes equipamentos:

- Máquina primária.
- Geradores.
- Transformador e sistema de controle.
- Comando e proteção.

3.1 MÁQUINA PRIMÁRIA

Segundo Modesto (2011), uma máquina primária é aquela que faz a transformação de qualquer tipo de energia em energia cinética (movimento) de rotação para ser aproveitada pelo gerador. Por exemplo, a máquina que transforma a energia liberada pela combustão de um combustível fóssil (ex.: carvão) em energia cinética é a turbina a vapor. As principais máquinas primárias utilizadas hoje são motor diesel, turbina hidráulica, turbina a vapor, turbinas a gás e eólicas.

3.2 GERADORES

Os geradores são equipamentos que transformam a energia cinética de rotação das máquinas primárias em energia elétrica. Quando uma turbina está ligada ao gerador elétrico, a energia cinética (isto é, movimento) do vento, da água que cai, ou do vapor, empurra as pás da turbina, fazendo com que a turbina e, por conseguinte, o rotor ligado ao gerador elétrico, gire e produza eletricidade.

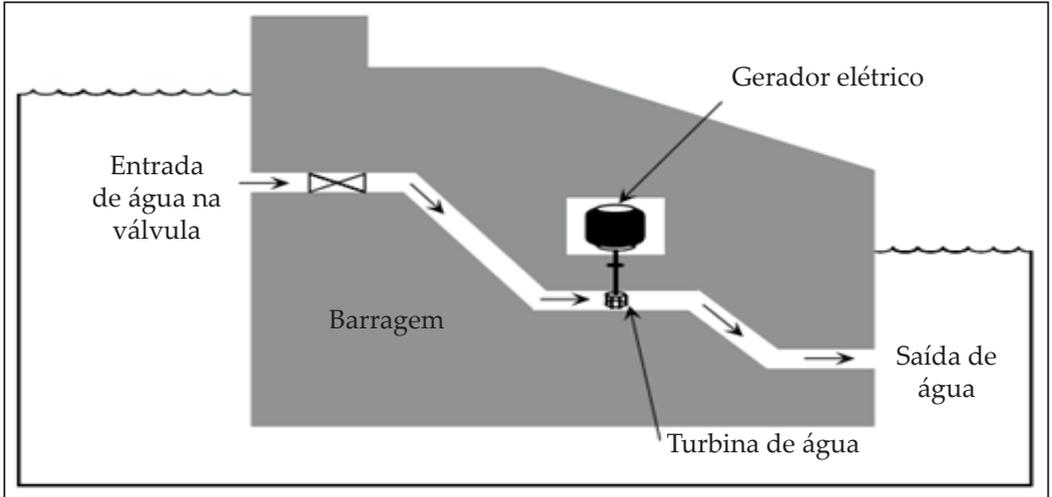
4 FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

As três formas mais comuns de se gerar energia elétrica são: geração hidroelétrica (queda d'água), geração termoeletrica (ex.: carvão, lenha, bagaço de cana etc.) e a geração por reação nuclear (elementos químicos radioativos).

4.1 GERAÇÃO HIDRÁULICA

No Brasil a forma mais utilizada de geração de energia é a hidráulica e também é a forma de geração mais econômica. Na Figura 36 está representado o funcionamento de uma usina hidrelétrica.

FIGURA 36 – GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRÁULICA



FONTE: Disponível em: <<http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/for-educators/01.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2016.

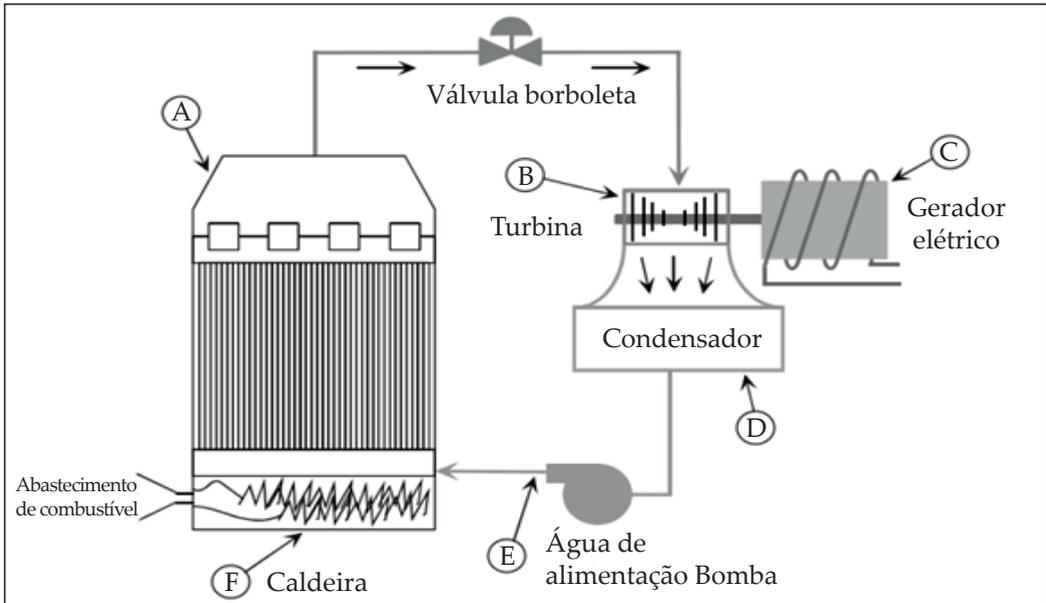
As hidrelétricas dependem das águas de um rio para gerar eletricidade. Os rios então são represados, formando imensos reservatórios que são chamados de barragens. Estes reservatórios atuam como uma bateria, armazenando a água para ser liberada conforme necessário para gerar energia.

Para gerar eletricidade a água deve estar em movimento. Esta é a energia cinética (movimento). A água passa através de um tubo (comporta) e cai por dezenas de metros, em alta velocidade. A água em movimento rápido empurra as pás da turbina, algo como um cata-vento. A força da água nas lâminas da turbina gira o rotor, a parte móvel do gerador que converte esta energia mecânica em energia elétrica – eletricidade.

4.2 GERAÇÃO TERMOELÉTRICA

Na geração termoelétrica a água é aquecida através da queima de um combustível sólido ou gasoso. Alguns exemplos de combustível sólido são: os minerais, geralmente o carvão, e os não minerais, a lenha, a serragem e o bagaço de cana-de-açúcar (GALDINO, 2011). Veja a seguir como funciona uma usina termoelétrica movida a combustíveis fósseis (carvão, petróleo ou gás natural).

FIGURA 37 – USINA TERMOELÉTRICA



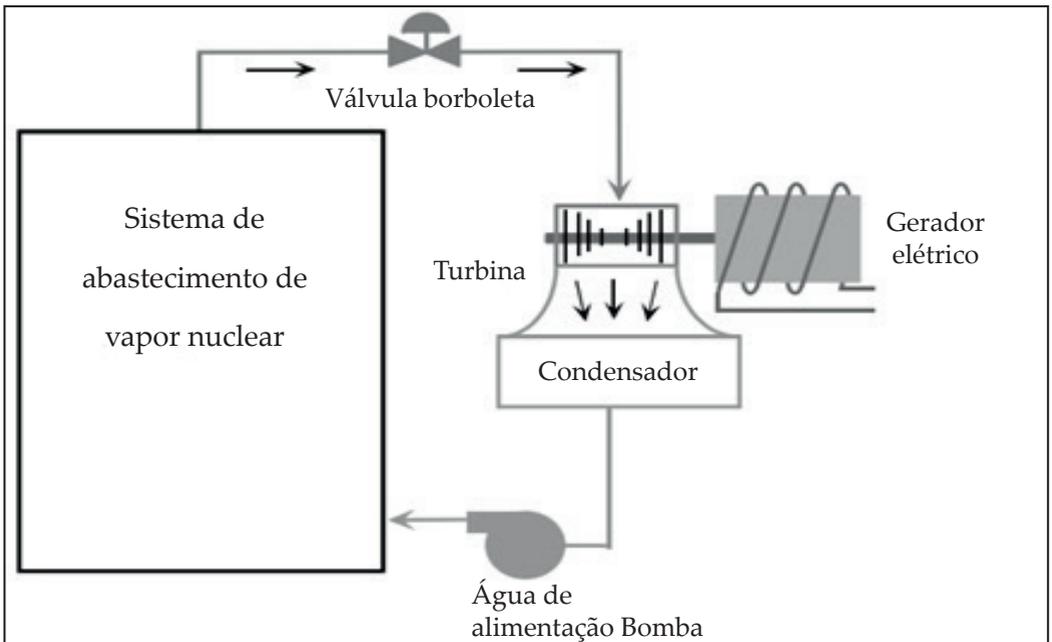
FONTE: Disponível em: <<http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/for-educators/01.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2016.

Em uma usina de energia movida a combustíveis fósseis, o calor fornecido, a partir da queima de carvão, petróleo ou gás natural, converte (ferve) a água em vapor (A), que é canalizado para a turbina (B). Na turbina, o vapor passa através das lâminas da turbina, que gira o gerador elétrico (C), resultando num fluxo de eletricidade. Depois de sair da turbina, o vapor é convertido (condensado) de volta para a água no condensador (D). A água é então bombeada (E) de volta para a caldeira (F) para ser reaquecida e convertida novamente em vapor.

4.3 GERAÇÃO POR REAÇÃO NUCLEAR

As usinas termonucleares funcionam utilizando praticamente os mesmos componentes das usinas térmicas, exceto que a caldeira é substituída por um sistema de abastecimento de vapor nuclear (reator nuclear). A Figura 38 apresenta um esquema do princípio de funcionamento de uma usina termonuclear.

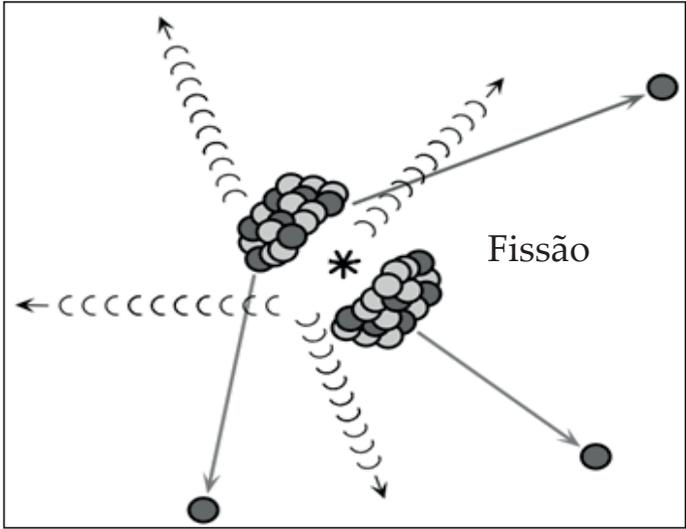
FIGURA 38 – DESENHO ESQUEMÁTICO DE UMA USINA TERMONUCLEAR



FONTE: Disponível em: <<http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/for-educators/01.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2016.

Uma usina termonuclear utiliza elementos químicos radioativos (ex.: urânio e plutônio) para produzir energia (calor). Esta energia é proveniente da quebra do núcleo dos átomos destes elementos químicos. Este processo é chamado de fissão nuclear (Figura 39).

FIGURA 39 – FISSÃO NUCLEAR



FONTE: Disponível em: <<http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/for-educators/01.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2016.

Após a produção do calor, pela quebra do núcleo dos átomos, esta energia é utilizada para aquecer a água que irá movimentar a turbina (energia cinética) e esta irá acionar o gerador elétrico, produzindo energia elétrica.

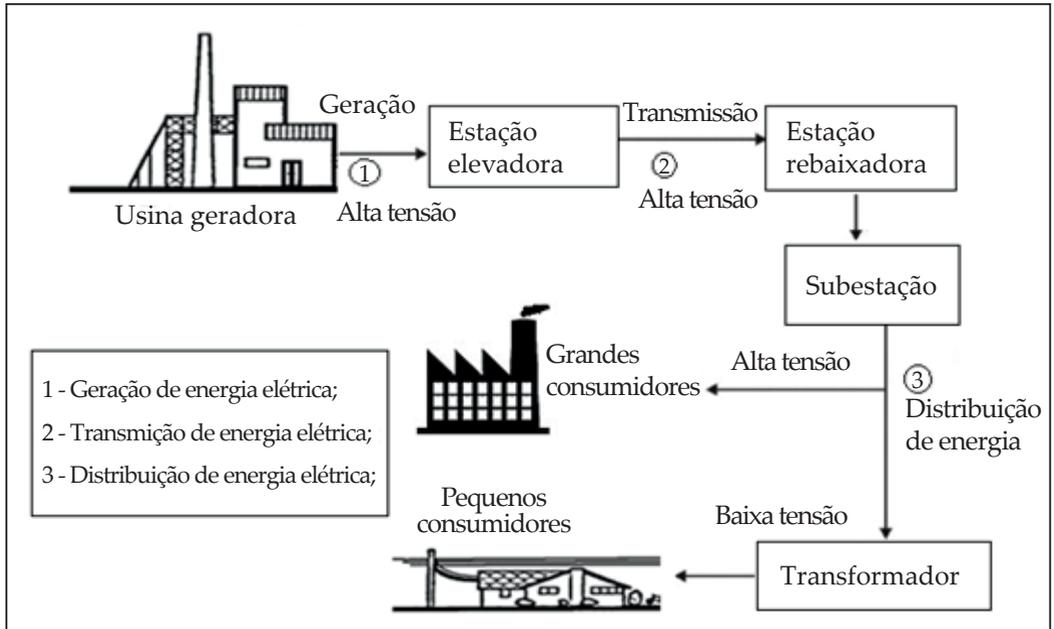
4.4 TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Uma vez que a eletricidade é produzida, esta deve ser entregue para onde ela é necessária: nossas casas, escolas, escritórios, indústrias etc. As usinas geradoras de eletricidade muitas vezes estão localizadas em lugares remotos e a energia deve ser então transportada através do sistema elétrico.

4.4.1 Sistema elétrico

O sistema elétrico é mais complexo e dinâmico do que outros sistemas de serviços públicos, como água ou gás natural. A energia elétrica produzida nas usinas geradoras, para chegar até às nossas residências, escolas, indústrias etc., passa através de transformadores, linhas de transmissão, subestações, linhas de distribuição e, finalmente, para os consumidores (LEÃO, 2009). A Figura 40 apresenta um esquema simplificado do sistema elétrico.

FIGURA 40 – ESQUEMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA ELÉTRICO



FONTE: Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?geração+transmissão+e+distribuição+de+energia+elétrica>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

4.4.2 Redes de transmissão

Ao sair das usinas e seus geradores, a eletricidade é transportada através de cabos aéreos revestidos por camadas de isolantes e fixados em grandes torres. Chamamos a todo esse conjunto de cabos e torres de rede de transmissão de energia elétrica.

Segundo Leão (2009), a rede elétrica consiste de duas estruturas separadas: o sistema de transmissão de tensão mais elevada e o sistema de distribuição de tensão mais baixa. Nas redes de transmissão, após deixar a usina, a energia elétrica trafega em tensão que varia de 88 kV (quilovolts é igual a mil volts) a 750 kV. Ao chegar às subestações das distribuidoras, a tensão é rebaixada e, por meio de um sistema composto por fios, postes e transformadores, chega à unidade final em 127 volts ou 220 volts.

As diferentes classes de tensão em linhas de transmissão são apresentadas na Tabela 6:

TABELA 6 – CLASSE DE TENSÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Sigla	Denominação	Valores típicos de tensão (linha)
LV	Baixa tensão	< 600 V
MV	Média tensão	13,8 kV 23 kV 34,5 kV 69 kV
HV	Alta tensão	115 kV 138 kV 230 kV
EHV	Extra alta tensão	345 kV 440 kV 500 kV 600 kV 765 kV
UHV	Ultra alta tensão	1100 kV

FONTE: Leão (2009)

4.4.3 Rede de sub-transmissão

De acordo com Fuchs (1997), as redes de sub-transmissão normalmente operam com tensões inferiores às das redes de transmissão, não sendo, no entanto, incomum operarem com uma tensão também existente nestes sistemas.

A rede de sub-transmissão recebe energia da rede de transmissão com objetivo de transportar energia elétrica a pequenas cidades ou importantes consumidores industriais. O nível de tensão está entre 35 kV e 160 kV.

A estrutura dessas redes é em geral em linhas aéreas. Por vezes, cabos subterrâneos próximos a centros urbanos fazem parte da rede. A permissão para novas linhas aéreas está cada vez mais demorada devido ao grande número de estudos de impacto ambiental e oposição social. Como resultado, é cada vez mais difícil e caro para as redes de sub-transmissão alcançarem áreas de alta densidade populacional (LEÃO, 2009).

4.4.4 Redes de distribuição

Segundo a Abradee (Instituto Abradee da Energia), as redes de distribuição são compostas por linhas de alta, média e baixa tensão. As linhas de distribuição de média e baixa tensão são também chamadas de redes primária e secundária, respectivamente. As linhas de média tensão são aquelas com tensão elétrica entre 2,3 kV e 44 kV, e são muito fáceis de serem vistas em ruas e avenidas das grandes cidades, frequentemente compostas por três fios condutores aéreos sustentados por cruzetas de madeira em postes de concreto. As redes de baixa tensão, com tensão elétrica que pode variar entre 110 e 440 V, são aquelas que, também afixadas nos mesmos postes de concreto que sustentam as redes de média tensão, localizam-se a uma altura inferior. As redes de baixa tensão levam energia elétrica até às residências e pequenos comércios/indústrias por meio dos chamados ramais de ligação. Os supermercados, comércios e indústrias de médio porte adquirem energia elétrica diretamente das redes de média tensão, devendo transformá-la internamente para níveis de tensão menores, sob sua responsabilidade. (Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 3 mar. 2016.



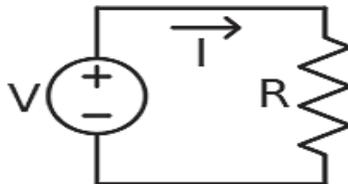
Caro acadêmico, seguem abaixo alguns *links* e artigos para que você possa fazer uma leitura sobre geração de energia eólica. Você deve estar lembrado do problema hídrico que o país enfrentou (grande seca no Estado de São Paulo). A saída para reduzir o custo da energia elétrica e ainda não agredir o meio ambiente é investir nas soluções inovadoras de captação de energia elétrica, e uma delas é a energia eólica, que transforma energia cinética (movimento) proveniente de grandes massas de ar (vento) para gerar energia.

- Martins F. R.; Guarnieri, R. A.; Pereira, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, 1304 (2008).
- <[http:// www.sbfisica.org](http://www.sbfisica.org)>
- <<http://www.paginasustentavel.com.br/>>
- <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)>

LEITURA COMPLEMENTAR

LEI DE OHM

No século XIX, um filósofo alemão, Georg Simon Ohm, demonstrou experimentalmente a constante de proporcionalidade entre a corrente elétrica, a tensão e a resistência. Essa relação é denominada Lei de Ohm.



A Lei de Ohm é expressa como: “A corrente em um circuito é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência do circuito”. Ou seja, se aumentarmos a tensão, aumentará a corrente. Se aumentarmos a resistência, irá diminuir a corrente. Aplicando, por exemplo, uma tensão de 1,5V em uma carga de 15Ω obteremos uma corrente de 0,1A. Agora dobrando a tensão em cima desta mesma carga, ou seja, 3V, obteremos uma corrente de 0,2 A.

Os condutores que obedecem a esta lei são denominados condutores ôhmicos. Porém, devemos lembrar que existem materiais que não obedecem à lei de Ohm e são chamados de condutores isolantes ou condutores não ôhmicos.

Portanto, alterando a tensão aplicada em um condutor isolante (borracha, vidro, madeira etc.), modifica-se também o valor da resistência.

O valor da resistência elétrica depende do tipo de material do condutor (ferro, cobre, alumínio etc.), da agitação térmica dos átomos e das dimensões do condutor. Quanto maior a secção de um condutor, menor a resistência elétrica, logo, maior a intensidade da corrente elétrica. Quanto maior o comprimento de um condutor, maior será sua resistência elétrica, logo, menor será a corrente elétrica.

GRANDEZAS	SÍMBOLOS	UNIDADE DE MEDIDA
Tensão elétrica	U	Volt (V)
Intensidade de Corrente elétrica	I	Ampére (A)
Resistência elétrica	R	Ohm (Ω)

Triângulo das deduções da fórmula da lei de Ohm: Se você pretende saber o valor da tensão, cubra a letra “U” no triângulo.



Se você pretende saber o valor da tensão, cubra a letra “U” no triângulo.

Fórmula: $I \times R$

Se você pretende saber o valor da Resistência, cubra a letra “R” no triângulo.

Fórmula: U/I

Se você pretende saber o valor da Corrente, cubra a letra “I” no triângulo.

Fórmula: U/R .

Obs.: Abaixo, mais alguns *links* para auxiliar no seu estudo.

1. <https://engmarcosprieto.files.wordpress.com/2010/05/04_lei-de-ohm-potencia-e-energia.pdf>
Neste *site* o assunto abordado é Lei de Ohm, potência e energia. Também existem exercícios para auxiliar na compreensão dos assuntos abordados.
2. <<http://www.supletivounicanto.com.br/supletivo/material/fis/3ano/correnele.pdf>>
O assunto aqui abordado é referente aos temas: CORRENTE ELÉTRICA, RESISTÊNCIA, DDP, 1ª E 2ª LEIS DE OHM. Também estão disponível alguns exercícios resolvidos para auxiliar nos seus estudos.
3. <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/associacao-resistores-paralelo.htm>>
Este *site* aborda os temas referentes a associação de resistores em série e em paralelo. Também constam exercícios resolvidos passo a passo.
4. <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/it744/CAP1.pdf>>
Este *site* contém um artigo referente ao tema geração de energia elétrica e fontes renováveis. Este artigo é referente ao tema: Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.

FONTE: Disponível em: <<http://www.crkautomacao.com.br/pt-br/artigos/lei-de-ohm>>. Acesso em: 7 jun.2016.

RESUMO DO TÓPICO 4

Nesse tópico, você aprendeu que:

- A geração de energia elétrica é a transformação de qualquer tipo de energia em energia elétrica. Para transformar um tipo de energia já existente em outro são necessários diferentes equipamentos.
- O sistema de geração de energia é formado pelos seguintes equipamentos: Máquina primária; Geradores; Transformador e sistema de controle; Comando e proteção.
- Máquina primária é aquela que faz a transformação de qualquer tipo de energia em energia cinética (movimento) de rotação para ser aproveitada pelo gerador.
- Os geradores são equipamentos que transformam a energia cinética de rotação das máquinas primárias em energia elétrica.
- As três formas mais comuns de se gerar energia elétrica são: geração hidroelétrica, geração termoelétrica e a geração por reação nuclear.
- As usinas geradoras de eletricidade muitas vezes estão localizadas em lugares remotos, e a energia deve ser então transportada através do sistema elétrico.
- A energia elétrica produzida nas usinas geradoras, para chegar até às nossas residências, escolas, indústrias etc., passa através de transformadores, linhas de transmissão, subestações, linhas de distribuição e, finalmente, para os consumidores.
- A eletricidade é transportada através de cabos aéreos fixados em grandes torres. Chamamos a esse conjunto de cabos e torres, de rede de transmissão de energia elétrica.
- As redes de sub-transmissão normalmente operam com tensões inferiores às das redes de transmissão. A estrutura dessas redes é em geral em linhas aéreas.
- As redes de distribuição são compostas por linhas de alta, média e baixa tensão.



- 1 Descreva a estrutura básica de um sistema elétrico.
- 2 Classifique as tensões nas linhas de transmissão (LTs).
- 3 Quais os principais componentes de uma central hidroelétrica?
- 4 Descreva as três formas de geração de energia elétrica, destacando o que elas têm em comum e as diferenças entre estas formas de geração de energia.
- 5 No Brasil, qual é a matriz energética utilizada para geração de energia elétrica? Quais são as tendências mundiais das formas de geração de energia elétrica? Você tem alguma ideia diferente das que existem hoje?
- 6 Segundo a Abradee (Instituto Abradee da Energia), as redes de distribuição são compostas por linhas de alta, média e baixa tensão. Quais são os valores médios de tensão para as linhas de distribuição de média e baixa tensão?

MÁQUINAS ELÉTRICAS

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Esta unidade tem por objetivos:

- explicar os princípios do campo magnético e do eletromagnetismo;
- discutir o princípio da indução eletromagnética;
- descrever algumas aplicações da indução eletromagnética;
- entender como variações de campo magnético podem gerar diferenças de potencial elétrico e aplicar este fenômeno para entender o funcionamento de geradores, transformadores e motores elétricos;
- entender o princípio pelo qual os geradores convertem a energia mecânica em energia elétrica;
- descrever as principais diferenças e semelhanças entre um gerador de corrente contínua e um motor de corrente contínua;
- apresentar as vantagens e desvantagens de motores de corrente contínua;
- conhecer as características dos motores de corrente alternada;
- indicar a finalidade de um transformador;
- explicar o princípio da indução mútua;
- determinar a tensão de saída de um transformador: se a tensão de entrada e relação de espiras é conhecida.

PLANO DE ESTUDOS

Nesta unidade, você encontrará noções sobre magnetismo e eletromagnetismo que auxiliarão o seu entendimento sobre as máquinas elétricas. Esta unidade está dividida em quatro tópicos. No final de cada um deles você encontrará atividades que favorecerão a fixação dos assuntos apresentados.

TÓPICO 1 – PRINCÍPIO DAS MÁQUINAS ELÉTRICAS

TÓPICO 2 – GERADORES ELÉTRICOS

TÓPICO 3 – TRANSFORMADORES

TÓPICO 4 – MOTORES ELÉTRICOS

PRINCÍPIO DAS MÁQUINAS
ELÉTRICAS

1 INTRODUÇÃO

Eletricidade e magnetismo foram considerados fenômenos distintos e independentes por um longo tempo. Nas primeiras décadas do século XIX, as experiências com corrente elétrica por Oersted, Ampère e alguns outros, estabeleceram o fato de que a eletricidade e o magnetismo estão inter-relacionados. Oersted observou que uma corrente elétrica era capaz de alterar a direção de uma agulha magnética de uma bússola. Ele sabia que o ponteiro da bússola era um ímã e que este só se deslocava na presença de um campo magnético. Assim enunciou a primeira lei do eletromagnetismo:

“Em torno de um condutor retilíneo conduzindo corrente elétrica sempre haverá um campo magnético”.

As experiências de Michael Faraday na Inglaterra e Joseph Henry nos EUA, conduzidas por volta de 1830, demonstraram conclusivamente que as correntes elétricas foram induzidas em bobinas fechadas quando submetidas a campos magnéticos variáveis. Neste capítulo, vamos estudar os fenômenos associados com a mudança de campos magnéticos e compreender os princípios subjacentes. O fenômeno no qual a corrente elétrica é gerada por campos magnéticos variáveis é chamado de indução eletromagnética. O fenômeno da indução eletromagnética não é meramente de interesse teórico ou acadêmico, mas também de utilidade prática. Imagine um mundo onde não existe eletricidade - não há luz elétrica, não há trens, nem telefones e nem computadores pessoais. Os experimentos pioneiros de Faraday e Henry levaram diretamente para o desenvolvimento de geradores modernos e transformadores. A civilização de hoje deve o seu progresso, em grande parte, à descoberta da indução eletromagnética.

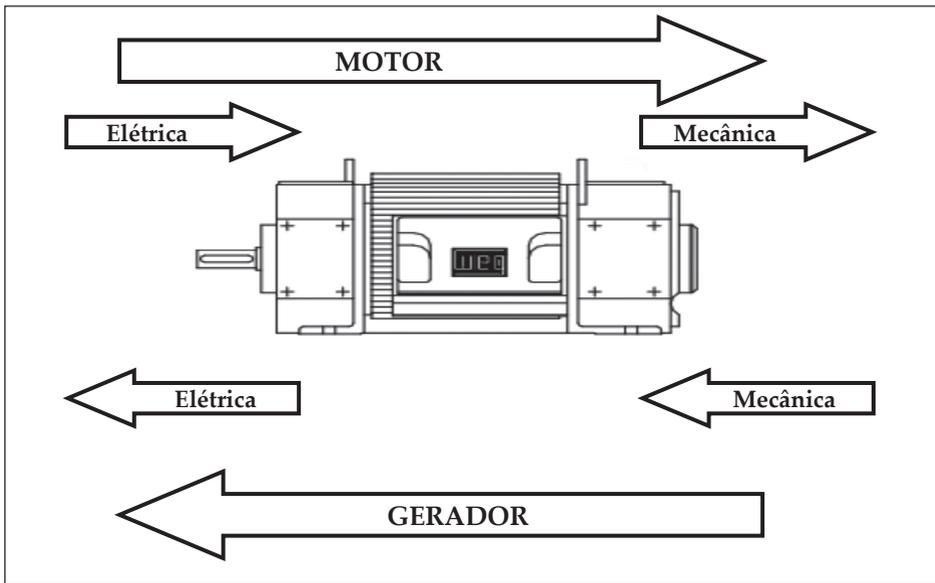
2 DEFINIÇÃO DE MÁQUINA ELÉTRICA

Uma **máquina elétrica** é um dispositivo que pode converter tanto a energia mecânica em energia elétrica, como a energia elétrica em energia mecânica. As máquinas elétricas podem ser classificadas quanto à função que elas exercem:

- Quando tal dispositivo converte energia mecânica em energia elétrica, são chamados de GERADORES;
- Quando convertem energia elétrica em energia mecânica, são chamados de MOTORES.

As máquinas elétricas são reversíveis, isto é, podem operar como motor ou gerador, como mostra a Figura 41 (CHAPMAN, 2013).

FIGURA 41 - ESQUEMA DA CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA



FONTE: Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-3-caracteristicas-e-especificacoes-de-motores-de-corrente-continua-conversores-ca-cc-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 1º maio 2016.

Como qualquer máquina elétrica é capaz de fazer a conversão da energia em ambos os sentidos, então qualquer máquina pode ser usada como gerador ou como motor.

Na prática, quase todos os motores fazem a conversão da energia de uma forma em outra pela ação de um campo magnético. Em nosso estudo, vamos nos concentrar apenas nas máquinas que utilizam o campo magnético para realizar tal conversão (CHAPMAN, 2013).

Para entender melhor o processo de geração de energia elétrica através do magnetismo ou do eletromagnetismo, torna-se necessário conhecer duas leis básicas que regem estes fenômenos, que são a Lei de Lenz e a Lei de Faraday. Estes tópicos serão abordados a seguir.

3 PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE POR MEIO DO ELETROMAGNETISMO

Caro acadêmico, você sabia que se pode produzir eletricidade movimentando um fio em um campo magnético? Como? Desde que se tenha movimento relativo entre o condutor e o campo magnético, há produção de eletricidade. Para entendermos melhor este processo de produção de eletricidade por meio do eletromagnetismo, vamos inicialmente relembrar alguns conceitos importantes.

3.1 MAGNETISMO

O magnetismo é uma forma de energia cuja principal propriedade é atrair outros corpos. Certos materiais encontrados na natureza possuem a tendência de se atrair ou se repelir uns aos outros. Estes materiais são chamados ímãs.

Quando estes materiais possuem o ferro como um de seus elementos constituintes, são chamados de ferromagnéticos. Ímãs sempre têm dois polos: um chamado polo norte; e outro chamado polo sul. O conceito de polo magnético é análogo ao da carga elétrica. Polos magnéticos (norte e sul) e cargas elétricas (positivas e negativas). Dois polos norte sempre se repelem mutuamente, assim como dois polos sul. No entanto, polo norte e polo sul sempre se atraem (KLEMPNER; KERSZENBAUM, 2004).

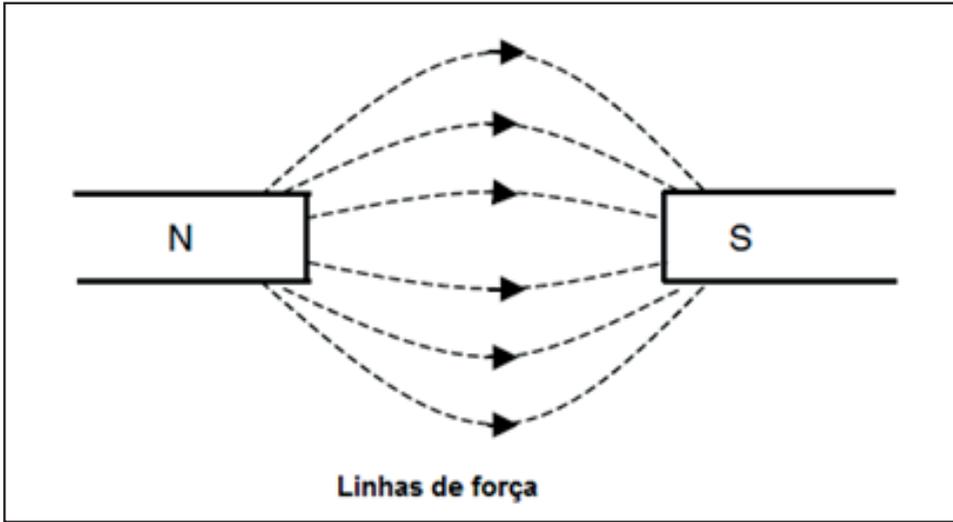
3.2 CAMPO MAGNÉTICO

É a região ou matéria onde são observadas as propriedades magnéticas. Graficamente, o campo magnético é representado por linhas, as quais nós chamamos de LINHAS DE FORÇA.

Um campo magnético é definido em física como sendo o campo estabelecido entre dois polos. A sua intensidade e direção determinam as forças de atração ou repulsão existentes entre os dois ímãs (KLEMPNER; KERSZENBAUM, 2004).

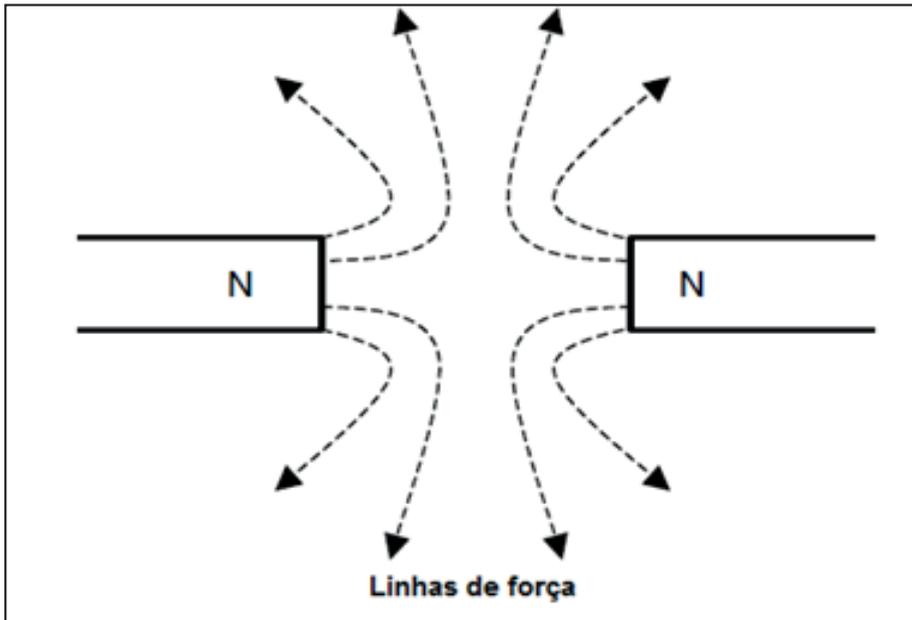
As Figuras 42 e 43 são representações típicas de dois polos magnéticos e o campo magnético criado entre eles.

FIGURA 42 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE DOIS POLOS MAGNÉTICOS E O CAMPO MAGNÉTICO CRIADO ENTRE ELES (MOSTRADO COMO "LINHAS DE FORÇA")



FONTE: Klempler e Kerszenbaum (2004)

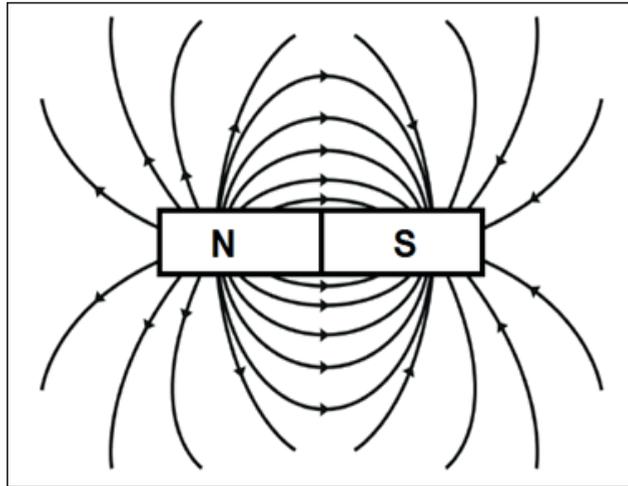
FIGURA 43 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE DOIS POLOS NORTE E O CAMPO MAGNÉTICO ENTRE AMBOS



FONTE: Klempler e Kerszenbaum (2004)

Quanto mais forte o ímã, mais linhas de forças compõem o circuito fechado magnético. Além disso, é importante observar que as linhas de campo de indução magnética geradas por ímã “nascem” no polo NORTE e “morrem” no polo SUL dos ímãs (Figura 44).

FIGURA 44 - CAMPO MAGNÉTICO PRODUZIDO POR UM ÍMÃ



FONTE: Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/campo-magnetico.htm>>. Acesso em: 1º maio 2016.

O magnetismo tem importância fundamental em quase todos os equipamentos eletroeletrônicos mais usados na indústria, no comércio, nas residências e na pesquisa. Geradores de energia, motores elétricos, transformadores, disjuntores, equipamentos de telecomunicações, sistemas de iluminação etc. (ANDRADE, 2015).

3.3 FLUXO MAGNÉTICO (ϕ)

O grupo de linhas de força que vão do polo norte ao polo sul de um ímã é chamado de fluxo magnético, simbolizado pela letra grega ϕ . O número de linhas de força num campo magnético determina o valor do fluxo. Quanto maior o número de linhas de força, maior o fluxo e mais forte será o campo magnético. A unidade de fluxo magnético é o Weber (Wb). Um weber é igual a 10^8 linhas ou 100.000.000 de linhas. O weber é uma unidade muito grande; assim, na maioria das situações práticas, o microweber (μWb) é utilizado. Um microweber é igual a 100 linhas de fluxo magnético (KLEMPNER; KERSZENBAUM, 2004).

3.4 DENSIDADE DE FLUXO MAGNÉTICO (B)

A densidade de fluxo magnético é a quantidade de fluxo por unidade de área perpendicular ao campo magnético. Seu símbolo é B, e sua unidade SI é o tesla (T). Um tesla é igual a um weber por metro quadrado (Wb / m^2). A fórmula a seguir apresenta a densidade de fluxo:

$$B = \frac{\phi}{A}$$

Onde ϕ é o fluxo e A é a área da seção transversal em metros quadrados (m^2) do campo magnético.



A descoberta dos fenômenos magnéticos desencadeou o modelo de desenvolvimento tecnológico vivenciado nos dias atuais. Apesar de o magnetismo não ter tido aplicação prática por muito tempo, seus fundamentos propiciaram relacioná-lo com a eletricidade, originando uma série de inovações tecnológicas.

EXEMPLOS

1) Um fluxo magnético de $800 \mu Wb$ atinge perpendicularmente uma superfície de $0,1 m^2$. Determine a densidade de fluxo B .

Solução:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{800 \mu Wb}{0,1 m^2} = 8000 \mu T$$

2) Se a densidade de fluxo em um determinado material magnético é $2,3 T$ e a área do material é de $245 \times 10^{-6} m^2$, determine o fluxo através do material;

Solução:

$$\phi = B \times A$$

$$\phi = 2,3 T \times 245 \times 10^{-6} m^2 = 564 \mu Wb$$

4 ELETROMAGNETISMO

O que é eletromagnetismo?

É a produção de fenômenos magnéticos a partir da corrente elétrica, ou seja, a partir de fenômenos elétricos.

4.1 USO DO MAGNETISMO PARA INDUZIR UMA CORRENTE ELÉTRICA

Uma vez que os cientistas descobriram que a eletricidade pode ser usada para criar magnetismo, a pressão foi determinar se o contrário era verdade – poderia um campo magnético induzir uma corrente elétrica? Muitos cientistas

realizaram experimentos tentando explicar este fenômeno, mas Michael Faraday foi o primeiro a ser bem sucedido. Faraday movimentou um ímã em direção a uma bobina conectada a um galvanômetro e este acusava a presença de uma corrente elétrica. Este fenômeno foi caracterizado qualitativamente e quantitativamente e deu origem à **Lei da Indução de Faraday**. A descoberta de Faraday, abriu caminho para gerar a eletricidade que usamos em nossas casas.



Uma bobina nada mais é do que muitos metros de fio enrolado num núcleo (local que serve como base para enrolar os fios, que pode ser uma barra de ferro, por exemplo), a cada volta desse fio nós chamamos de espira, e um conjunto de espiras forma uma bobina FONTE: Disponível em: <<http://joinville.ifsc.edu.br/eletricitapredialnova.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016.

4.2 A DESCOBERTA DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

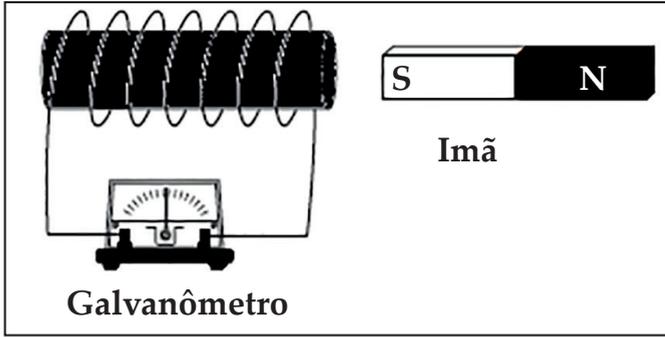
Michael Faraday foi um grande cientista experimental. Nascido em 1791 em uma família de classe baixa na Inglaterra, ele não tinha quase nenhuma educação formal. Enquanto trabalhava como aprendiz de encadernador, ele mesmo estudou lendo os livros que estavam sendo encadernados. Ele conseguiu garantir um trabalho como aprendiz de Sir. Humphry Davy, um químico britânico, e desenvolveu uma reputação de um excelente cientista.

Faraday é o mais lembrado por demonstrar que o magnetismo pode produzir eletricidade. A produção de eletricidade por magnetismo é chamada de indução eletromagnética. É interessante notar que, em 1831, quando Faraday estava fazendo seus experimentos na Inglaterra, Joseph Henry (1797-1878) estava investigando simultaneamente a indução eletromagnética, nos Estados Unidos.

Faraday descobriu que se pode produzir corrente elétrica a partir de um campo magnético, através da realização de um experimento bem simples. Quando um ímã é movimentado em direção a uma bobina que está conectada a um galvanômetro, a agulha do galvanômetro desvia. Isto indica que uma corrente está sendo induzida na bobina. Um galvanômetro é um amperímetro muito sensível projetado para medir pequenas correntes.

A Figura 45 mostra uma versão simplificada do experimento de Faraday e Henry.

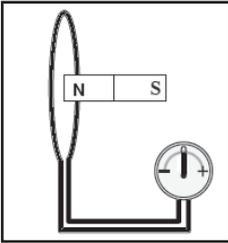
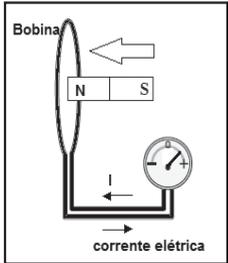
FIGURA 45 – VERSÃO SIMPLIFICADA DO EXPERIMENTO DE FARADAY E HENRY

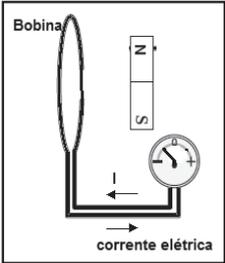


FONTE: Disponível em: <<http://www.cttech.org/GOODWIN/academics/science-textbook/chap25.pdf>>. Acesso em: 1º maio 2016.

Faraday e Henry demonstraram que quando um ímã se aproxima de uma bobina, uma corrente induzida é produzida em uma direção. Quando o ímã está se afastando da bobina, a corrente induzida é produzida na direção oposta. Quando o ímã é mantido estacionário, nenhuma corrente é induzida. Quando o ímã é mantido estacionário e a bobina é movida para trás e para frente, correntes induzidas semelhantes são produzidas. Não importa se o ímã ou a bobina se move, desde que se tenha um movimento relativo entre a bobina e o campo magnético externo. O quadro abaixo apresenta um resumo da descoberta de Faraday.

QUADRO 1 – OBSERVAÇÃO EXPERIMENTAL

Observação Experimental	Análise
Um ímã imóvel na frente de uma bobina	<p>O galvanômetro lê zero. Não há corrente através da bobina.</p> 
Mover o ímã em direção a bobina ou a bobina em direção ao ímã.	<p>A agulha do galvanômetro se move para a direita, indicando uma corrente através da bobina.</p> 

<p>Mover o ímã em 90° de modo que os polos agora estão perpendiculares à sua posição inicial.</p>	<p>O galvanômetro registra uma corrente enquanto o ímã está girando.</p> 
---------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

FONTE: Disponível em: <<http://www.ctech.org/GOODWIN/academics/science-textbook/chap25.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016.

Embora nenhuma bateria tenha sido usada, uma corrente elétrica foi induzida na bobina quando o ímã e bobina se moveram em direção ou para longe um do outro.

A lei de indução eletromagnética de Faraday estipula que uma mudança do campo magnético na região de um condutor em malha fechada (circuito fechado) vai induzir uma corrente elétrica.

4.3 FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA (FEMII)

Sabendo que a variação do campo magnético do indutor sobre a bobina variava o seu fluxo magnético, Faraday deduziu que esta variação do fluxo magnético induzia uma diferença de potencial (ddp) nos terminais da bobina, produzindo uma corrente elétrica. Ao fenômeno da produção de corrente elétrica por um campo magnético variável, dá-se o nome de indução eletromagnética. À corrente elétrica, assim gerada, denominamos de corrente induzida (FREITAS; ZANCAN, 2011).

Desta forma, podemos enunciar a Lei de Faraday:

“Em todo condutor imerso num fluxo magnético variável, surge uma força eletromotriz induzida (femii)” (FREITAS; ZANCAN, 2011, p. 70).

4.4 LEI DE LENZ

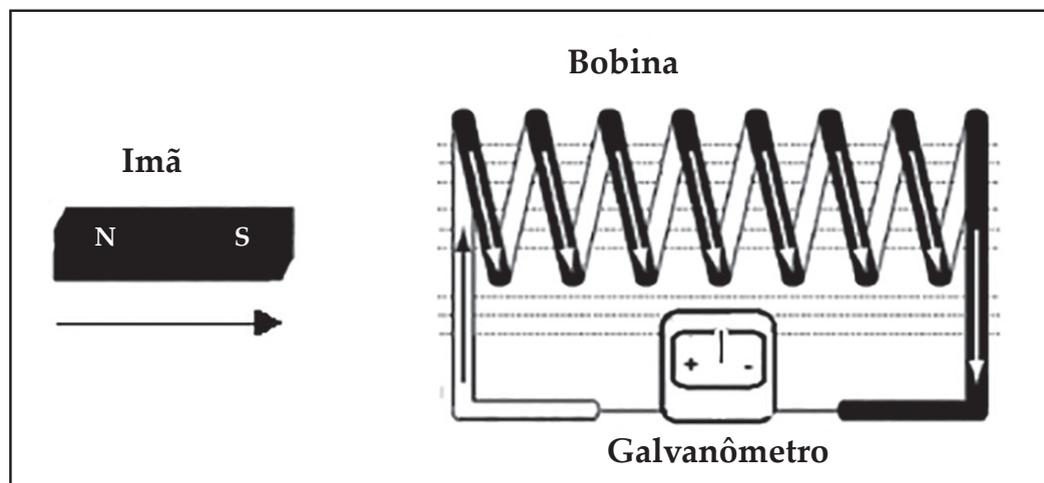
A direção da corrente induzida

Apesar de Faraday e Henry descobrirem as correntes induzidas em 1831, eles não foram capazes de explicar por que uma corrente induzida foi produzida pela primeira vez em uma direção e, em seguida, na direção oposta. O físico russo Heinrich Lenz (1804-1865) pesquisou os fatores que determinam a direção de uma corrente induzida e que esta tem relação com a causa que lhe deu origem. É isso que nos informa a chamada lei de Lenz:

“O sentido da corrente induzida é tal que, o campo magnético criado por ela, se opõe à causa que lhe deu origem” (FREITAS; ZANCAN, 2011, p. 71).

Para entendermos o significado da lei de Lenz, observe a situação mostrada na Figura 6.

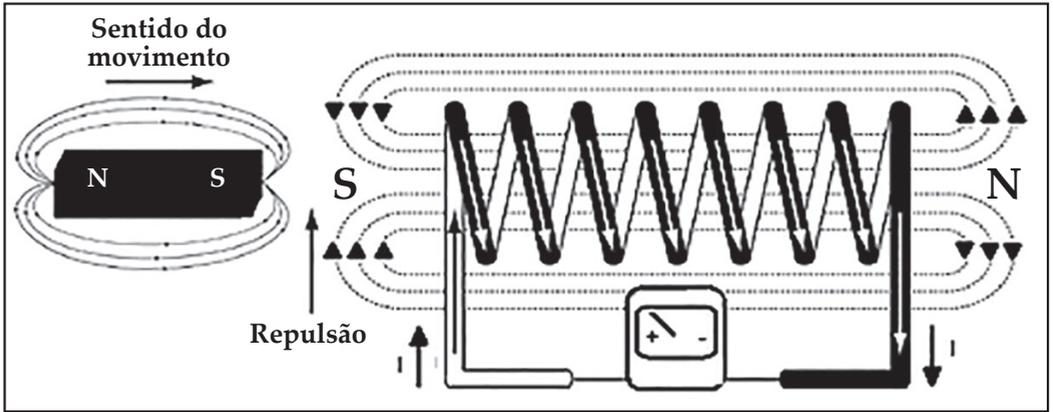
FIGURA 46 – ESQUEMA DO EXPERIMENTO DE LENZ



FONTE: SENAI – DR/AM (2005)

Quando você empurra um ímã na direção da espira, corresponde à "causa" responsável pela origem da corrente induzida na espira. De acordo com a lei de Lenz, o campo magnético da corrente induzida deve se opor à aproximação do ímã, ou seja, o ímã deve ser repellido. Assim, na situação indicada para que ocorra repulsão ao ímã, a face da espira voltada para ele deve corresponder ao "polo" sul. Para isso ser possível, a corrente induzida deve ter o sentido indicado na Figura 47.

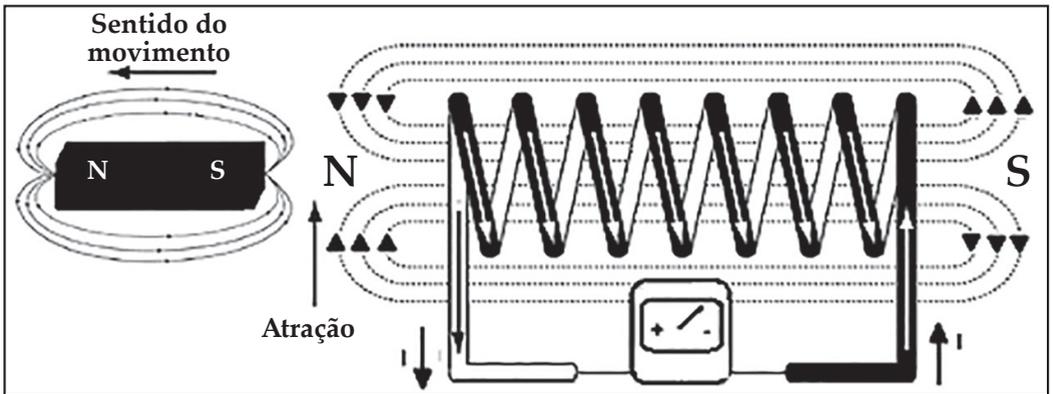
FIGURA 47 - APLICAÇÃO DA LEI DE LENZ – REPULSÃO



FONTE: SENAI – DR/AM (2005)

Se afastarmos o ímã da bobina, a corrente induzida deve também se opor a essa separação. Para tanto, dará origem a um "polo" norte na face da bobina voltada para o ímã, como indica a figura 48.

FIGURA 48 – APLICAÇÃO DA LEI DE LENZ - ATRAÇÃO



FONTE: SENAI – DR/AM (2005)

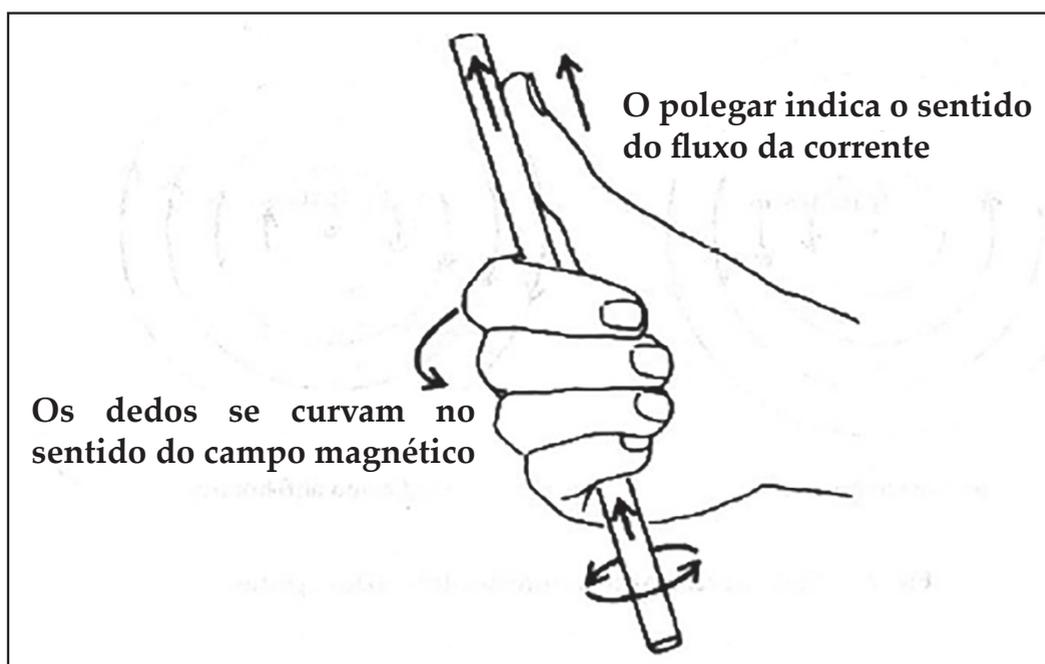
A Figura 48 mostra o comportamento do campo magnético quando o ímã é afastado da bobina. Note que quando o ímã é afastado da bobina, imediatamente surge nesta uma corrente induzida que produz um campo magnético contrário ao que o originou. Em ambos os casos é necessário que se tenha variação no movimento do ímã, ou melhor, variação do fluxo magnético (COELHO, 2010).

4.5 POLARIDADE DE UM CONDUTOR ISOLADO

Regra da mão direita

A regra da mão direita é uma forma conveniente de se determinar a relação entre o fluxo da corrente num condutor (fio) e o sentido das linhas de força do campo magnético em volta do condutor. Segure o fio que conduz a corrente com a mão direita, feche os quatro dedos em volta do fio e estenda o polegar ao longo do fio. O polegar ao longo do fio indica o sentido do fluxo da corrente, os dedos indicarão o sentido das linhas de força em torno do fio condutor (GUSSOW, 1997). A Figura 49 demonstra a regra da mão direita.

FIGURA 49 – REGRA DA MÃO DIREITA PARA UM CONDUTOR (FIO)

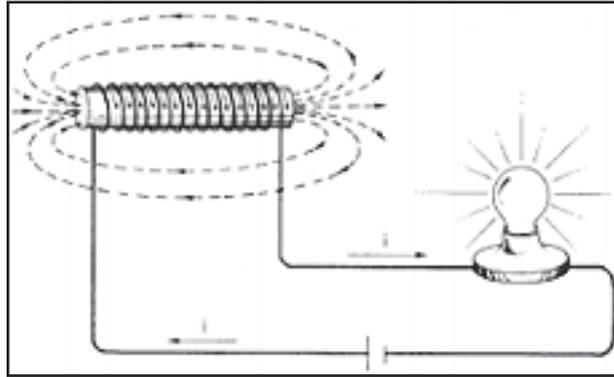


FONTE: Gussow (1997)

4.6 CAMPO MAGNÉTICO GERADO NO CENTRO DE UMA BOBINA LONGA OU SOLENOIDE

Um solenoide é uma bobina longa obtida por um fio condutor isolado e enrolado em espiras iguais, lado a lado, e igualmente espaçadas entre si, como mostra a Figura 50 (SAMBAQUI; MARQUES, 2010).

FIGURA 50 - REPRESENTAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UM SOLENOIDE PERCORRIDO POR CORRENTE

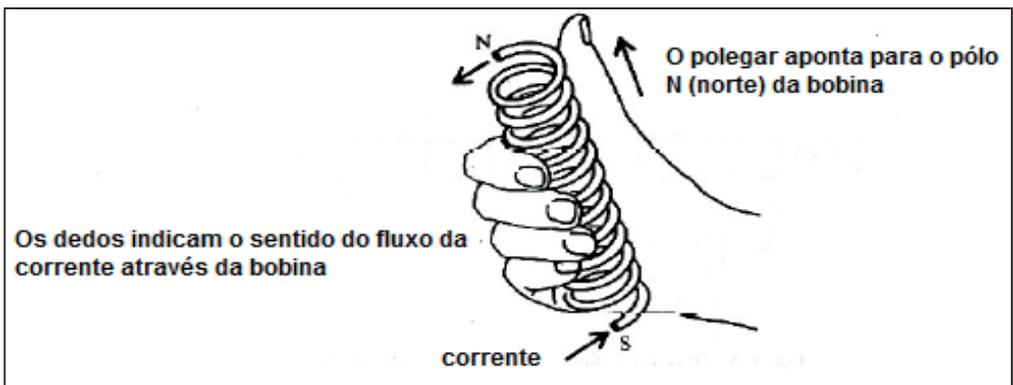


FONTE: Sambaqui e Marques (2010)

Quando a bobina é percorrida por uma corrente, os campos magnéticos criados em cada uma das espiras que formam o solenoide se somam, e o resultado final é idêntico a um campo magnético de um ímã permanente em forma de barra. Podemos observar que as linhas de campo são concentradas no interior do solenoide (SAMBAQUI; MARQUES, 2010).

Para determinar a polaridade magnética da bobina, aplique a regra da mão direita (Figura 49). Se seguramos a bobina com os dedos da mão direita dobrados no sentido da corrente que flui através da bobina, o polegar apontará para o polo norte da bobina.

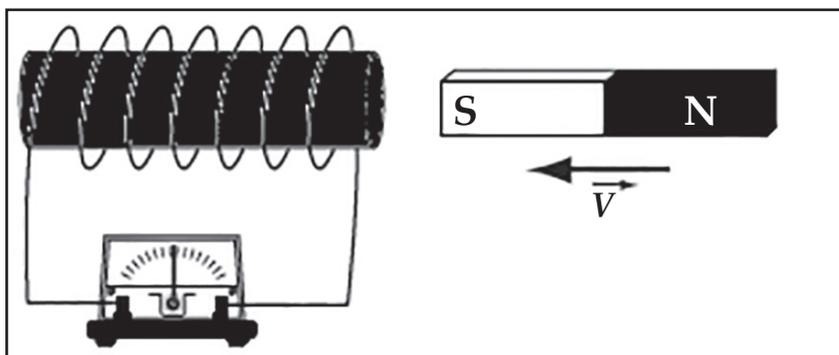
FIGURA 51 – REGRA DA MÃO DIREITA PARA UMA BOBINA COM VÁRIAS ESPIRAS (SOLENOIDE)



FONTE: Gussow (1997)

EXEMPLO

1) Determine a direção da corrente induzida no solenoide da figura a seguir.



FONTE: Disponível em: <<http://www.cttech.org/GOODWIN/academics/science-textbook/chap25.pdf>>. Acesso em: 1º maio 2016.

Dado:

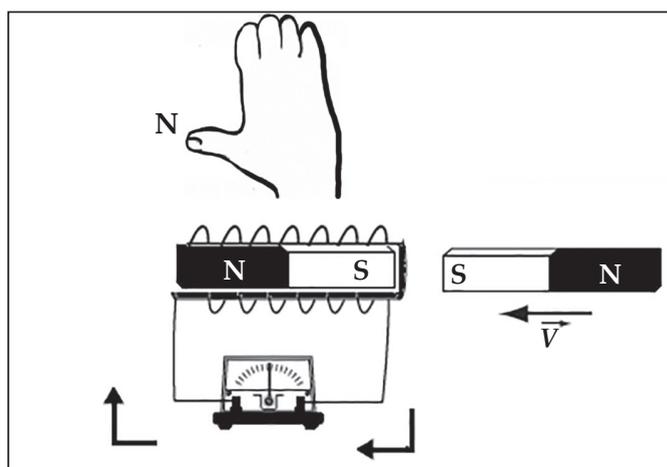
Direção do ímã: pólo Sul em direção ao solenoide.

O que ele quer determinar? A direção da corrente induzida no solenoide.

Análise e Solução

De acordo com a lei de Lenz, a corrente induzida no solenoide cria um campo magnético que se opõe ao movimento da barra magnética (ímã). O solenoide deve ter um polo sul de frente para a barra magnética para se opor a este movimento.

Podemos usar a regra da mão direita para solenoides para determinar a direção da corrente. Se segurarmos a bobina com os dedos da mão direita dobrados no sentido da corrente que flui através da bobina, o polegar apontará para o polo norte da bobina.



FONTE: Adaptado de <<http://www.cttech.org/GOODWIN/academics/science-textbook/chap25.pdf>>. Acesso em: 1º maio 2016.

A corrente induzida no solenoide flui através do amperímetro da direita para esquerda.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu que:

- O movimento de um condutor através de um campo magnético gera uma força eletromotriz (fem) que pode estabelecer a circulação de uma corrente elétrica, no caso de haver um circuito fechado.
- Quanto mais rápido for o movimento, quanto maior o número de espiras e quanto maior a intensidade do campo magnético, tanto maior será a força eletromotriz induzida e mais intensa será a corrente.
- Invertendo-se o sentido do movimento do condutor, a polaridade da fem induzida também é invertida e, portanto, o sentido da corrente.
- Não importa qual se mova, se o condutor ou o campo magnético, porque o resultado será sempre o mesmo.

AUTOATIVIDADE



- 1 Defina o que é ímã.
- 2 O que é um campo magnético?
- 3 Na ilustração a seguir, identifique quais ímãs irão se atrair um ao outro e quais ímãs irão se repelir.

A.	N S	N S	_____
B.	N S	S N	_____
C.	S N	N S	_____
D.	S N	S N	_____

FONTE: Disponível em: <<http://www.cttech.org/GOODWIN/academics/science-textbook/chap25.pdf>>. Acesso em: 1º maio 2016.

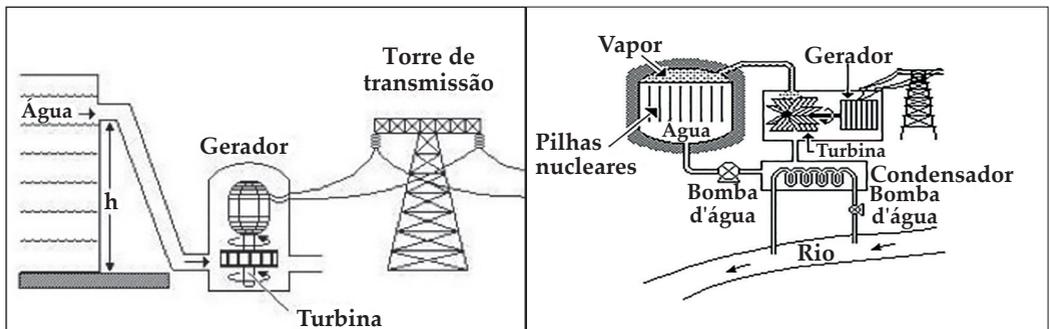
- 4 O que são linhas de força?
- 5 Qual das seguintes afirmativas aumenta a intensidade do campo magnético em um eletroímã?
 - a) () Aumentar o fluxo de corrente.
 - b) () Aumentar o número de voltas na bobina.
 - c) () Adicionar um núcleo de ferro a uma bobina.
 - d) () Todos os anteriores.

GERADORES ELÉTRICOS

1 INTRODUÇÃO

Geradores elétricos convertem energia mecânica em energia elétrica. Este dispositivo deve estar mecanicamente acoplado a uma máquina motriz (ou máquina primária), capaz de fornecer energia mecânica, para movimentar a parte móvel do gerador. Exemplos de máquinas motrizes são: turbinas hidráulicas, turbinas a vapor, motor à combustão, motor elétrico, turbina eólica etc. A Figura 52 ilustra alguns exemplos de máquinas motrizes (SEIXAS, 2012).

FIGURA 52 - ALGUNS EXEMPLOS DE MÁQUINAS MOTRIZES



FONTE: Seixas (2012)

O funcionamento dos geradores se baseia ou em fenômenos eletrostáticos, ou na indução eletromagnética (como no caso do disco de Faraday). Nas aplicações industriais, a energia elétrica provém quase exclusivamente de geradores cujo princípio é o fenômeno da indução eletromagnética, ou seja, no princípio físico conhecido como Lei de Lenz que afirma (NETTO, 2016, s. p.)

“Quando existe uma indução magnética, a direção da força eletromotriz induzida é tal, que o campo magnético dela resultante tende a parar o movimento que produz a força eletromotriz” (PEREIRA, 2006, s. p.)

2 GERADORES DE CORRENTE ALTERNADA OU ALTERNADORES

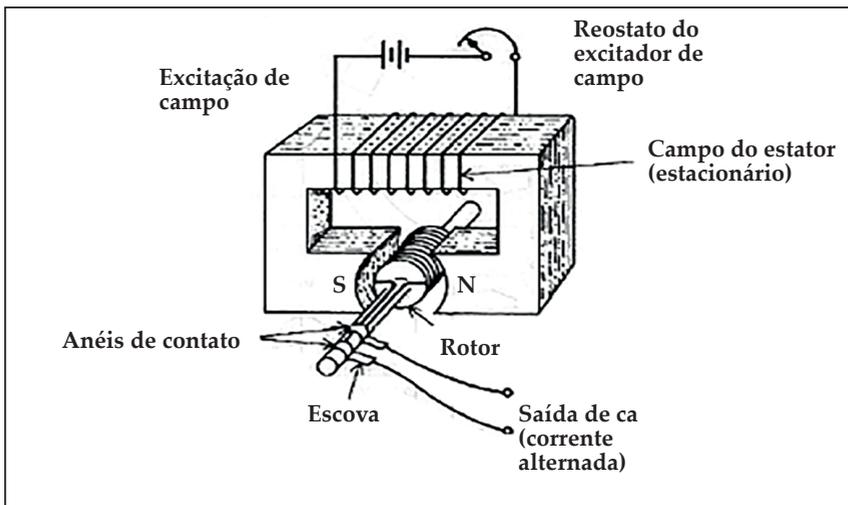
Os geradores de corrente alternada também são chamados de alternadores. Praticamente toda a energia elétrica consumida nas residências e indústrias é fornecida pelos alternadores das usinas que produzem eletricidade (GUSSOW, 1997).

2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Para seu funcionamento os geradores de corrente alternada (ou alternadores) precisam da ação de um condutor (ou bobina) cortando um campo magnético. Como visto anteriormente, sempre que houver movimento relativo entre um condutor e um campo magnético (em circuito fechado) a força eletromotriz (femii) induzida produz uma corrente elétrica.

Um alternador é formado por: (1) um campo magnético forte e constante; (2) condutores que giram através do campo magnético; e (3) alguma forma de se manter uma ligação contínua dos condutores à medida que eles giram (Figura 53).

FIGURA 53 - ALTERNADOR SIMPLES TENDO UM CAMPO ESTACIONÁRIO E UMA ARMADURA ROTATIVA



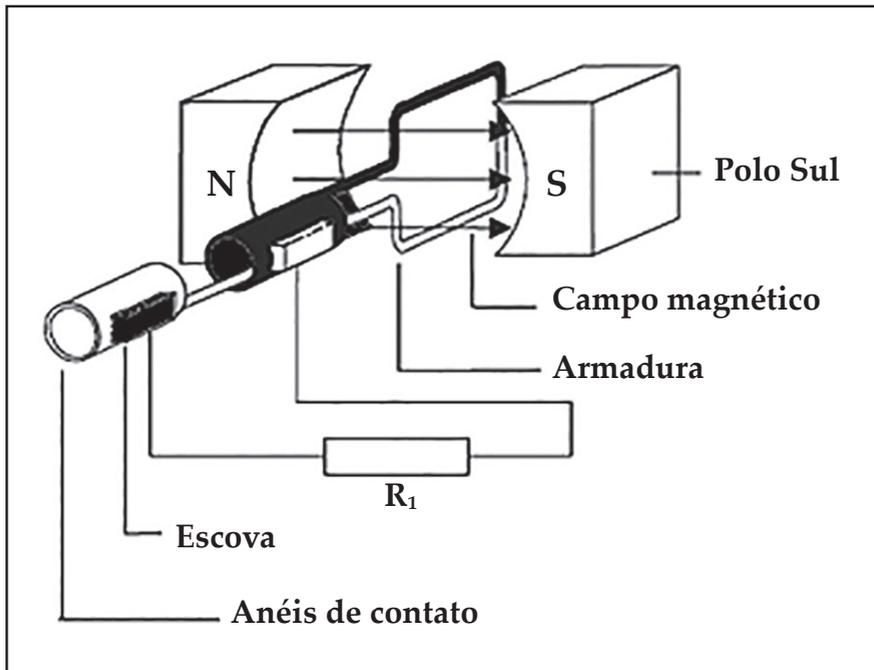
FONTE: Gussow (1997)

O campo magnético é produzido pela corrente que flui pela bobina de campo estacionário ou estator. A excitação para a bobina de campo é fornecida por uma bateria ou qualquer outra fonte de corrente contínua. A armadura, ou rotor, gira dentro do campo magnético (GUSSOW, 1997).

Para facilitar seu entendimento com relação ao princípio de funcionamento dos geradores, vamos considerar um gerador elementar constituído de apenas uma espira conforme mostra a Figura 54.

Quando um condutor é movimentado através de um campo magnético, uma tensão é induzida no condutor. Como a armadura (ou rotor) gira através do campo magnético, é gerada uma tensão na armadura que faz com que a corrente flua. Anéis de contato estão ligados à armadura e giram com ela. As escovas servem de contato entre os enrolamentos da armadura e a carga externa (no caso do gerador).

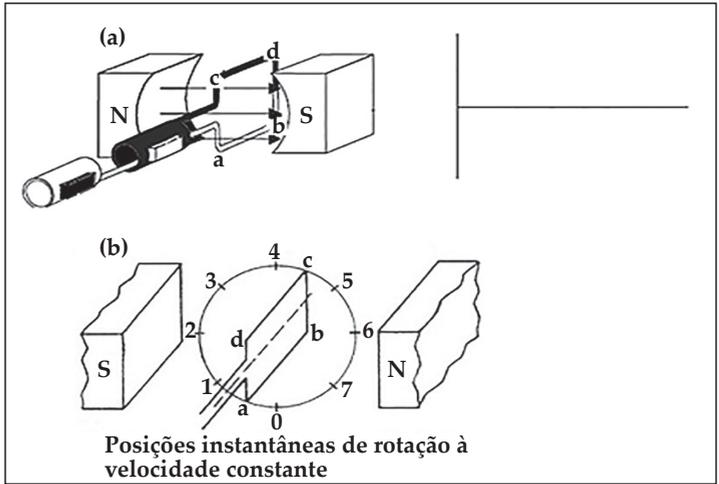
FIGURA 54 - COMPONENTES DE UM GERADOR ELEMENTAR



FONTE: Disponível em: <<http://www2.isu.edu/estec/ic-ed-modules/Module-3-AC-Generators-Transformers-AC-Motors.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016.

Usando o lado ab da armadura como referência, note que, quando ele estiver na posição 0 da Figura 55b, a fem induzida na armadura será zero, uma vez que o condutor ab (bem como o condutor cd) está se movimentando paralelamente ao campo magnético, sem experimentar a variação de fluxo (Figura 55a).

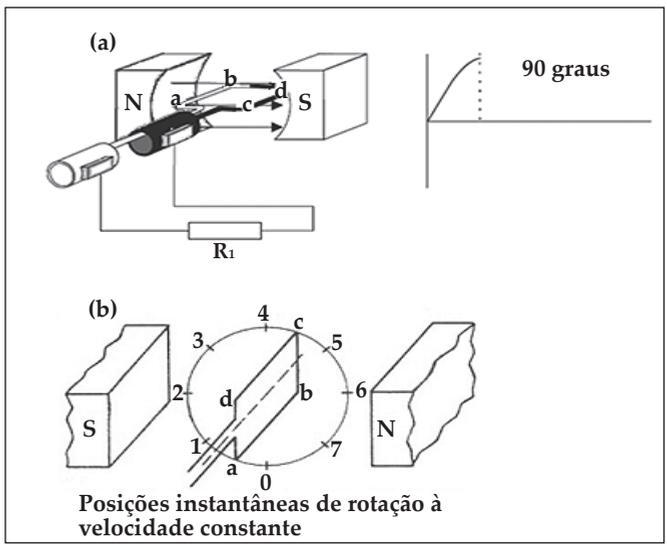
FIGURA 55 – POSIÇÃO INICIAL DA ARMADURA (ROTOR) ZERO GRAU



FONTE: Adaptado de Villar (2006)

Quando a armadura é movimentada de uma posição de 0° para 90°, posição 2 (Figura 56b), este giro faz com que a armadura corte as linhas de força do campo magnético. Gerando uma tensão máxima induzida no sentido positivo (Figura 56).

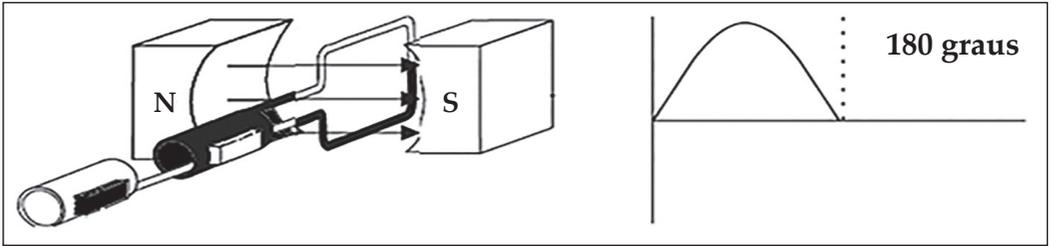
FIGURA 56 – POSIÇÃO DA ARMADURA DE 0 PARA 90 GRAUS



FONTE: Adaptado de Villar (2006)

A armadura continua a rodar entre 90 e 180 graus. De 90 a 180 graus corta menos linhas de fluxo. A tensão induzida diminui desde um valor máximo positivo para zero (Figura 57). Quando o condutor ab alcança 180°, posição 4, a fem induzida é novamente zero, uma vez que não há variação de fluxo quando o condutor se movimenta paralelamente ao campo magnético.

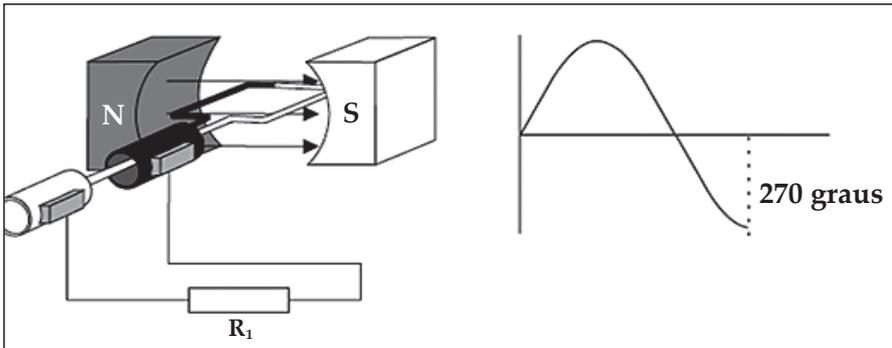
FIGURA 57 – POSIÇÃO DA ARMADURA DE 90 PARA 180 GRAUS



FONTE: Disponível em: <<http://www2.isu.edu/estec/ic-ed-modules/Module-3-AC-Generators-Transformers-AC-Motors.pdf>>. Acesso em: 1º maio 2016.

A armadura continua a rodar de 180 a 270 graus. Os condutores da armadura cortam cada vez mais linhas de fluxo, mas na direção oposta. A tensão induzida gerada é no sentido negativo, com um valor máximo em 270 graus.

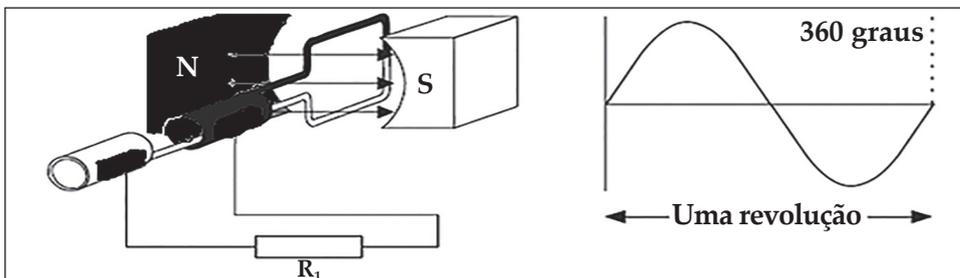
FIGURA 58 – POSIÇÃO DA ARMADURA DE 180 A 270 GRAUS



FONTE: Disponível em: <<http://www2.isu.edu/estec/ic-ed-modules/Module-3-AC-Generators-Transformers-AC-Motors.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016.

A armadura continua a rodar de 270 a 360 graus. A tensão induzida de 270 a 360 graus diminui desde um valor máximo negativo até zero. Isso completa um ciclo. A armadura continuará a rodar a uma velocidade constante. O ciclo irá repetir continuamente, enquanto a armadura girar.

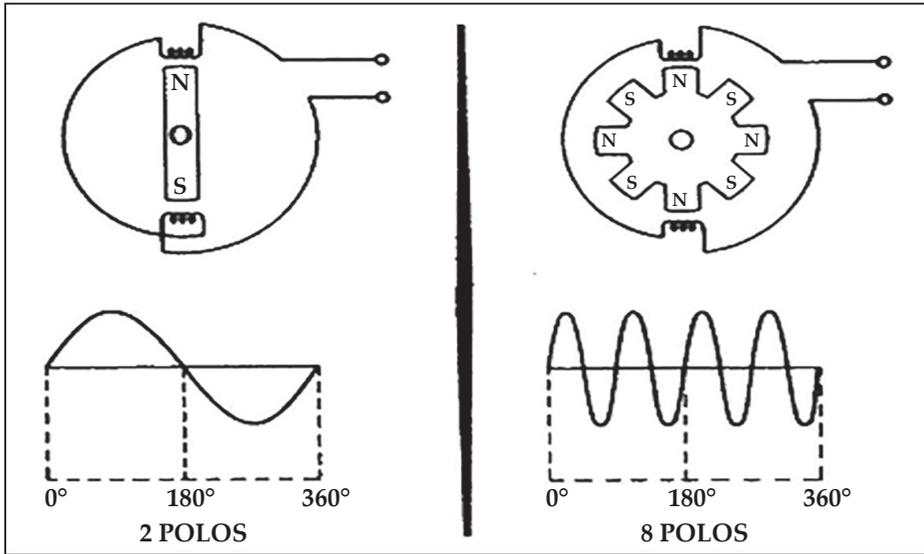
FIGURA 59 – POSIÇÃO DA ARMADURA DE 270 A 360 GRAUS



FONTE: Disponível em: <<http://www2.isu.edu/estec/ic-ed-modules/Module-3-AC-Generators-Transformers-AC-Motors.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016.

Segundo Villar (2006), para um alternador com um par de polos, a cada giro das espiras teremos um ciclo completo da tensão gerada (ver Figura 60). Os geradores podem ser construídos com um número maior de pares de polos, que se distribuirão alternadamente (um norte e um sul). Neste caso, teremos um ciclo a cada par de polos. Os geradores da usina hidrelétrica de Itaipu possuem 78 polos e giram a uma velocidade de 92,3 rpm.

FIGURA 60 - ALTERNADORES MONOFÁSICOS COM NÚMEROS DE POLOS DIFERENTES E MESMA VELOCIDADE DO ROTOR



FONTE: Villar (2006)

2.2 FREQUÊNCIA DA TENSÃO GERADA

O valor da tensão gerada por um gerador de corrente alternada (CA) depende da intensidade do campo magnético e da velocidade do rotor. Como a maioria dos geradores funciona com velocidade constante, o valor da força eletromotriz induzida, femi, (ou tensão gerada) depende da excitação do campo (GUSSOW, 1997).

A frequência da femi gerada depende do número de polos do campo e da velocidade de funcionamento do gerador, ou

$$f = \frac{p \times n}{120}$$

Onde,

f = frequência da tensão gerada, Hz (Hertz);

p = número total de pólos

n = velocidade do rotor, rotações por minuto (rpm)

EXEMPLO

1) Qual a frequência de um alternador de 8 polos funcionando a uma velocidade de 3000 rpm?

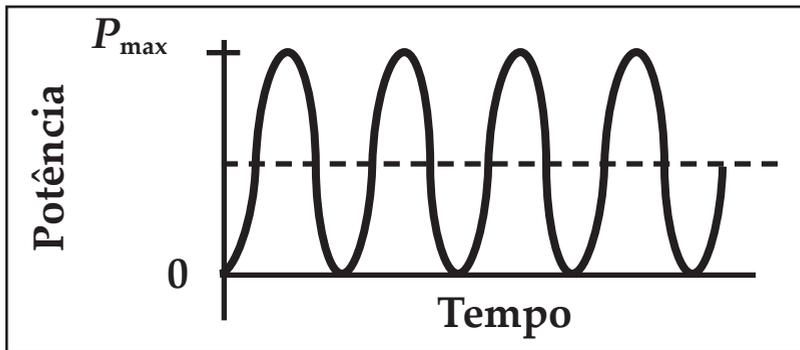
$$f = \frac{p \times n}{120}$$

$$f = \frac{8 \times 3000}{120} = 200 \text{ Hz}$$

2.3 POTÊNCIA MÉDIA

A potência produzida por um gerador é o produto da corrente pela tensão. Porque ambos, corrente e tensão variam a potência associada a uma corrente alternada varia. A Figura 61 mostra um gráfico da potência produzida por um gerador de corrente alternada. Note que a potência é sempre positiva porque a corrente (I) e a tensão (V) são ou ambos positivos ou ambos negativos.

FIGURA 61 - GRÁFICO DE POTÊNCIA *VERSUS* TEMPO EM UM GERADOR DE CORRENTE ALTERNADA



FONTE: O autor.

A potência média P_{AC} é metade da potência máxima. Assim podemos expressar a potência média como:

$$P_{AC} = \frac{1}{2} \times P_{AC \text{ máxima}}$$

2.4 TENSÃO E CORRENTE EFETIVA

É comum descrever a corrente alternada e a tensão em termos de corrente e tensão efetiva, em vez de se referir aos seus valores máximos. Lembre-se da unidade 1 que $P = I^2 \times R$. Assim, você pode expressar a corrente efetiva (I_{ef}) em termos de potência média (P_{AC}):

$$P_{AC} = I_{ef}^2 \times R$$

Onde:

$$I_{ef} = \text{corrente efetiva, A (ampère)}$$

$$R = \text{resistência, } \Omega \text{ (Ohm)}$$

Para determinar a corrente efetiva (I_{ef}) em termos de corrente máxima ($I_{m\acute{a}x}$), vamos utilizar primeiramente a equação da potência média:

$$P_{AC} = \frac{1}{2} \times P_{AC \text{ máxima}}$$

e substituir $P = I^2 \times R$ na equação, assim teremos:

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times I_{m\acute{a}x} = 0,707 \times I_{m\acute{a}x}$$

Também podemos obter a tensão efetiva: $V_{ef} = 0,707 \times V_{m\acute{a}x}$

EXEMPLOS

1) Um gerador desenvolve uma tensão máxima de 180 V.

a. Qual é a tensão efetiva?

b. Uma lâmpada de 120 W de potência é alimentada através de um gerador com uma corrente máxima ($I_{m\acute{a}x}$) de 0,90 A. Qual é a corrente efetiva através da lâmpada?

Solução:

$$(a) \quad V_{ef} = 0,707 \times V_{m\acute{a}x}$$

$$V_{ef} = 0,707 \times 180 \text{ V} = 127,3 \text{ V}$$

$$(b) \quad I_{ef} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times I_{m\acute{a}x} = 0,707 \times 0,90 \text{ A} = 0,64 \text{ A}$$

2) Um gerador desenvolve uma diferença de potencial máximo de 340 V.

a. Qual é a diferença de potencial efetivo?

- b. Uma lâmpada de 60 W é acionada através de um gerador com uma corrente máxima $I_{máx}$ de 0,80 A. Qual é a corrente efetiva através da lâmpada?
- c. Qual é a resistência da lâmpada?

Solução:

Variáveis conhecidas $V_{máx} = 340V$, $I_{máx} = 0,80A$

a.

$$V_{ef} = 0,707 \times V_{máx}$$

$$V_{ef} = 0,707 \times 340V = 240,4V$$

b.

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times I_{máx} = 0,707 \times 0,80A = 0,56A$$

c. Para encontrarmos a resistência precisamos lembrar da Lei de Ohm que diz: a resistência de um circuito é igual a tensão aplicada ao circuito dividida pela corrente que passa pelo circuito.

$$R = \frac{V_{ef}}{I_{máx}}$$

$$R = \frac{240,4V}{0,56A} = 429,3\Omega$$

2.5 TIPOS DE ACIONAMENTOS

Os tipos de acionamentos dos alternadores são os seguintes:

A – Geradores Diesel ou Gás

- São geradores acionados por Motores Diesel ou a Gás.
- Potência: 12.5 a 3500kVA.
- Rotação: 1800rpm (IV polos), 1200rpm (VI polos) ou 900rpm (VIII polos).
- Tensão: 220 a 6600V - 50 e 60Hz.

B – Hidrogeradores

- São geradores acionados por Turbinas Hidráulicas.
- Potência: 500 a 25000 kVA.
- Rotação: 1800 rpm ou abaixo (IV ou mais polos).
- Tensão: 220 a 13800V – 50 e 60Hz.

C – Turbogeneradores

- São geradores acionados por Turbinas a Vapor.
- Potência: 500 a 50000kVA.
- Rotação: 1800rpm (IV polos).
- Tensão: 220 a 13800V – 50 e 60Hz.

D - Eólicos

- São geradores acionados por turbinas a vento.
- Potência: até 1500kVA.
- Rotação, tensão e frequência sob consulta.

FONTE: Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-5-caracteristicas-e-especificacoes-de-geradores-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016.

3 GERADORES EM PARALELO

De acordo com Gussow (1997), a maioria das usinas elétricas possui vários geradores CA (corrente alternada) funcionando em paralelo a fim de aumentar a potência disponível. Antes de dois geradores serem ligados em paralelo é preciso que suas tensões nos terminais sejam iguais, suas tensões estejam em fase e suas frequências sejam iguais. Quando forem atingidas estas condições, os dois geradores estarão funcionando em sincronismo. A operação de se colocar os geradores em sincronismo chama-se sincronização.

3.1 ESPECIFICAÇÕES

Os dados de identificação de um gerador de corrente alternada (CA) típico incluem (GUSSOW, 1997, p. 415):

- Nome do fabricante;
- Série e o número do tipo;
- Rotação (rpm);
- Número de polos;
- Frequência de saída;
- Número de fases;
- Tensão máxima fornecida;
- Especificações da capacidade em quilovolt e ampère, e em quilowatts para um fator de potência específico e uma tensão máxima de saída;
- Corrente da armadura por fase;
- Aumento máximo de temperatura.

Na Tabela 7 vamos mostrar um exemplo de como são apresentados os dados na plaqueta de identificação de um gerador CA.

TABELA 7 – DADOS DA PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DE UM GERADOR CA TÍPICO

Westinghouse
Gerador CA refrigerado a ar N° 6750616 tipo ATB 3600 rpm
2 pólos 60 Hz; 3 fases ligação em estrela para 13800 volts
Especificação 13.623 KVA 12.300 kW; 250 volts
Armadura 654 amp campo 183 amp.
Garantia de que a temperatura não excederá 60 °C na armadura pelo detetor 80 °C no campo pela resistência

FONTE: Gussow (1997)

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você aprendeu que:

- Um gerador converte energia mecânica em energia elétrica.
- Os geradores de corrente alternada também são chamados de alternadores.
- Para seu funcionamento, os geradores de corrente alternada (ou alternadores) precisam da ação de um condutor (ou bobina) cortando um campo magnético.
- O campo magnético é produzido pela corrente que flui pela bobina de campo estacionário ou estator.
- Em um gerador a frequência da fem gerada depende do número de polos do campo e da velocidade de funcionamento do gerador, ou

$$f = \frac{p \times n}{120}$$

- A potência produzida por um gerador é o produto da corrente pela tensão. Porque ambos, corrente e tensão, variam a potência também varia com o tempo.
- A potência média P_{AC} é metade da potência máxima :

$$P_{AC} = \frac{1}{2} \times P_{AC \text{ máxima}}$$

- É comum descrever a corrente alternada e a tensão em termos de corrente e tensão efetiva, em vez de se referir aos seus valores máximos.
- A corrente efetiva (I_{ef}) pode ser expressa em termos de potência média (P_{AC}):

$$P_{AC} = I_{ef}^2 \times R$$

Onde: $I_{ef} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times I_{máx} = 0,707 \times I_{máx}$

- A tensão efetiva pode ser expressa como: $V_{ef} = 0,707 \times V_{máx}$

AUTOATIVIDADE



- 1 O que é a armadura em um gerador elétrico?
- 2 Você poderia montar um gerador com ímãs permanentes sobre um eixo de rotação, mas mantendo a bobina estacionária? Explique.
- 3 Um gerador de corrente alternada desenvolve uma tensão máxima de 450 V. Ele fornece uma corrente máxima de 70 A a um circuito externo.
 - a) Qual é a tensão efetiva do gerador?
 - b) Qual é a corrente efetiva que o gerador entrega para o circuito externo?
- 4 Uma corrente elétrica flui através de um condutor metálico. Quando a corrente elétrica é conduzida nos metais, as cargas elétricas caminham do polo positivo do gerador para o negativo, ou do negativo para o positivo?
- 5 Um gerador de corrente alternada que fornece uma tensão máxima de 220 V alimenta um aquecedor elétrico com uma resistência de 560Ω . Qual é a corrente efetiva do aquecedor?
 - a) () 0,298 A
 - b) () 1,68 A
 - c) () 0,277 A
 - d) () 3,37 A
- 6 Em um gerador de corrente alternada a velocidade nominal é de 8000 rpm e 4 polos. Qual a frequência? Para um gerador de 6 polos, qual será sua velocidade nominal?

TRANSFORMADORES

1 INTRODUÇÃO

Caro acadêmico, neste tópico, vamos ver outra aplicação útil da indução eletromagnética: “o transformador”. O transformador é um dispositivo que aumenta ou diminui o valor máximo de uma força eletromotriz alternada.

Os transformadores são utilizados em vários dispositivos eletrônicos como aparelhos de som, televisores, computadores pessoais etc. Eles também são essenciais para a transmissão de energia elétrica de uma usina de energia para a sua casa.

O uso de transformadores é comum pois eles aumentam ou diminuem a força eletromotriz alternada com baixa perda de energia.

Neste tópico, vamos definir o que é um transformador, quais são os tipos de transformadores, as características de um transformador ideal, a relação de transformação e por fim, veremos os transformadores trifásicos.

2 DEFINIÇÃO

Segundo Fragoso (1993), transformador é uma máquina elétrica estática que tem como finalidade transferir energia elétrica de um circuito para outro, geralmente com tensões e correntes diferentes, mantendo a mesma frequência e aproximadamente a mesma potência.

3 TIPOS DE TRANSFORMADORES

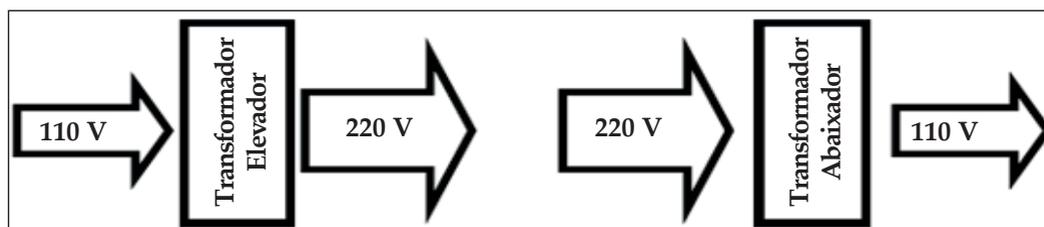
Existem duas grandes categorias de transformadores: transformadores eletrônicos, que operam em níveis muito baixos de energia; e transformadores de potência, que processam milhares de watts de potência.

- Transformadores eletrônicos são usados em equipamentos eletrônicos de baixo consumo, como televisores, aparelhos de CD, computadores pessoais, e muitos outros dispositivos para reduzir o nível de tensão de 220V (disponível a partir da rede corrente alternada (CA) para o nível necessário para o funcionamento do dispositivo.
- Transformadores de potência são usados na geração de energia, transmissão e sistemas de distribuição para aumentar ou diminuir o nível de tensão para os níveis desejados. O princípio básico de funcionamento de ambos os tipos de transformadores, é o mesmo

FONTE: Disponível em: <<http://uav.ece.nus.edu.sg/> / Transformers.pdf>. Acesso em: 4 maio 2016.

Os transformadores são fabricados para serem usados em circuitos monofásicos, bifásicos ou trifásicos, e podemos classificá-los em transformadores abaixadores e elevadores (Figura 62). Os abaixadores transformam tensões de um determinado valor para outros mais baixos e os elevadores fazem o inverso, ou seja, recebem tensões de um determinado valor e elevam para outros mais altos (SENAI/CST, 2013).

FIGURA 62 - TRANSFORMADORES ELEVADORES E TRANSFORMADORES ABAIXADORES



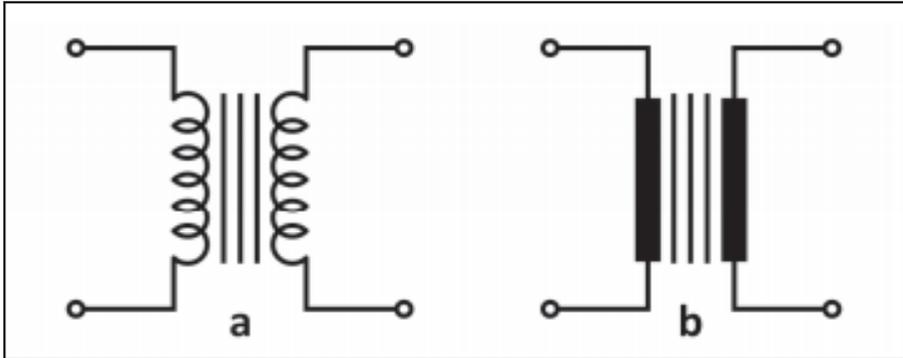
FONTE: SENAI (2013)

4 REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA

De acordo com Fragoso (1993), os transformadores são representados em esquemas elétricos através de símbolos:

- a) Em esquemas multifilares

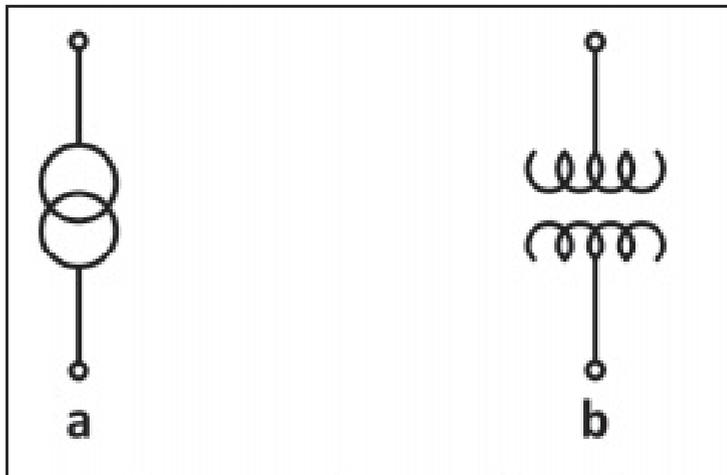
FIGURA 63 - TRANSFORMADORES - ESQUEMAS MULTIFILARES



FONTE: Fragoso (1993)

b) Em esquemas unifilares

FIGURA 64 - TRANSFORMADORES - ESQUEMAS UNIFILARES

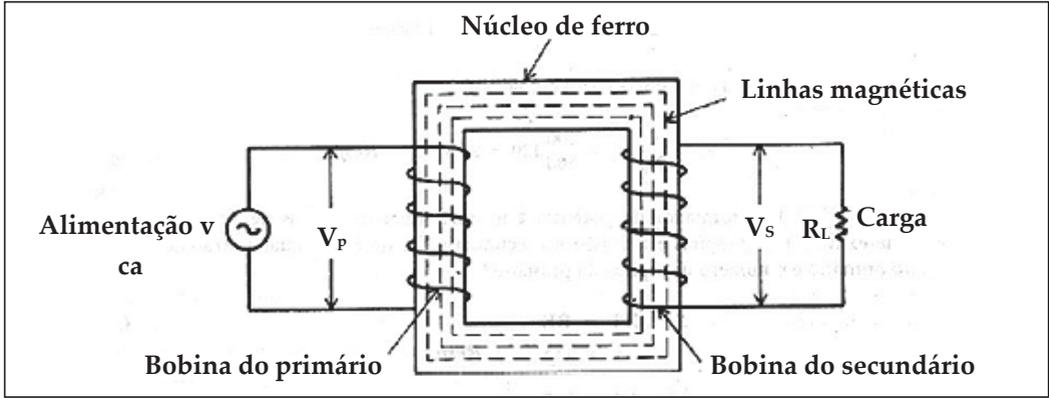


FONTE: Fragoso (1993)

5 CARACTERÍSTICAS DE UM TRANSFORMADOR IDEAL

O transformador básico é formado por duas bobinas isoladas eletricamente e enroladas em torno de um núcleo comum (Figura 65). Para transferir a energia elétrica de uma bobina para outra se usa um acoplamento magnético. A bobina que recebe energia de uma fonte de corrente alternada (CA) é chamada de PRIMÁRIO. A bobina que fornece energia para uma carga CA é chamada de SECUNDÁRIO (GUSSOW, 1997).

FIGURA 65 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UM TRANSFORMADOR



FONTE: Gussow (1997)

De acordo com o esquema apresentado na Figura 65, podemos perceber que o transformador possui um enrolamento primário onde é aplicada a tensão a ser convertida (V_p), e um enrolamento secundário onde é retirada a tensão de saída (V_s).

Cada enrolamento é composto por um determinado número de espiras responsáveis pela relação de conversão, ou seja, a tensão de saída será proporcional à relação do número de espiras e ao valor de tensão de entrada (Disponível em: <<http://www.vargasp.com/download/livros/Trafo.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016).

6 RAZÃO OU RELAÇÃO DE TENSÃO

Segundo Gussow (1997), a tensão nas bobinas de um transformador é diretamente proporcional ao número de espiras das bobinas. Esta relação é expressa através da fórmula:

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

Onde:

- V_p = tensão na bobina do primário, V (volts)
- V_s = tensão na bobina do secundário, V (volts)
- N_p = número de espiras da bobina do primário
- N_s = número de espiras da bobina do secundário

A razão V_p/V_s é chamada de razão ou relação de tensão (RT). A razão N_p/N_s é chamada de razão ou relação de espiras (RE).

Substituindo estes termos na equação apresentada acima obtemos:

$$RT = RE$$

Uma razão de tensão de 1:4 (lê-se um para quatro) significa que cada volt no enrolamento primário do transformador há quatro volts no enrolamento secundário. Quando a tensão do secundário é maior do que a tensão no primário, o transformador é chamado de transformador ELEVADOR. Uma razão de tensão de 4:1 (lê-se quatro para um) significa que para 4 volts no enrolamento primário há somente 1 volt no enrolamento secundário. Quando a tensão no secundário for menor que a tensão no primário, o transformador é chamado de transformador ABAIXADOR (GUSSOW, 1997).

EXEMPLOS

1) Um transformador reduz os 220 V no enrolamento primário para 10 V no enrolamento secundário. O enrolamento primário possui 264 espiras e o enrolamento secundário possui 12 espiras. Calcule a razão de tensão (RT) e a razão de espiras (RE).

Solução:

A razão de tensão é calculada através da equação:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{220V}{10V} = \frac{22}{1} = 22:1$$

A razão de espiras é calculada através da equação:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{264V}{12V} = \frac{22}{1} = 22:1$$

2) Um transformador com núcleo de ferro funcionando numa linha de 120 V possui 600 espiras no enrolamento primário e 200 espiras no enrolamento secundário. Calcule qual é a tensão no enrolamento secundário.

Solução:

$$\begin{aligned} \frac{V_p}{V_s} &= \frac{N_p}{N_s} \\ \frac{120V}{V_s} &= \frac{600}{200} \\ V_s &= 40V \end{aligned}$$

3) Um transformador de potência tem uma razão de espiras de 1:10. Se a bobina do secundário tiver 2000 espiras e a tensão no secundário for de 50V, qual a razão de tensão, a tensão no primário e o número de espiras do primário?

Solução:

$$N_s = 2000$$

$$V_s = 50V$$

$$RE = 1:10$$

Como você já sabe a $RT = RE$, portanto,

$$RT = 1:10$$

A razão de tensão é dada por:

$$RT = \frac{V_p}{V_s}$$

Substituindo os valores na equação temos:

$$\frac{1}{10} = \frac{V_p}{V_s}$$

$$V_p = \frac{1}{10} V_s$$

$$V_p = \frac{1}{10} \times 50V$$

$$V_p = 5V$$

A razão de espiras é dada por:

$$\frac{N_p}{N_s} = RE$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{1}{10}$$

$$N_p = \frac{1}{10} \times N_s$$

$$N_p = \frac{1}{10} \times 2000$$

$$N_p = 200 \text{ espiras}$$

6.1 RAZÃO OU RELAÇÃO DE CORRENTE

Em um transformador ideal, a potência elétrica fornecida ao circuito secundário é igual à energia fornecida para o circuito primário. Em um transformador ideal não há dissipação de energia (perda), e pode ser representado pela seguinte equação:

$$P_p = P_s$$

Onde, potência elétrica é definida como $P = V \times I$ (V = tensão e I = corrente elétrica). Substituindo esta equação na equação apresentada acima se tem:

$$V_p \times I_p = V_s \times I_s$$

Rearranjando a equação para encontrar a razão entre a tensão no enrolamento primário (bobina primária) e a tensão no enrolamento secundário V_p / V_s , tem-se:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Onde:

$$\begin{aligned} I_p &= \text{corrente na bobina primária, em A (ampère)} \\ I_s &= \text{corrente na bobina secundária, em A (ampère)} \\ V_p &= \text{tensão na bobina do primário, V (volts)} \\ V_s &= \text{tensão na bobina do secundário, V (volts)} \end{aligned}$$

Esta relação pode ser combinada com a relação mostrada anteriormente entre a tensão e o número de espiras resultando na seguinte equação:

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



Caro acadêmico, estude as seguintes expressões para ajudar você a entender as relações entre tensão, corrente e o número de espiras em transformadores elevadores e transformadores abaixadores.

Transformador Elevador	Transformador Abaixador
$V_p < V_s$	$V_p > V_s$
$I_p > I_s$	$I_p < I_s$
$N_p < N_s$	$N_p > N_s$

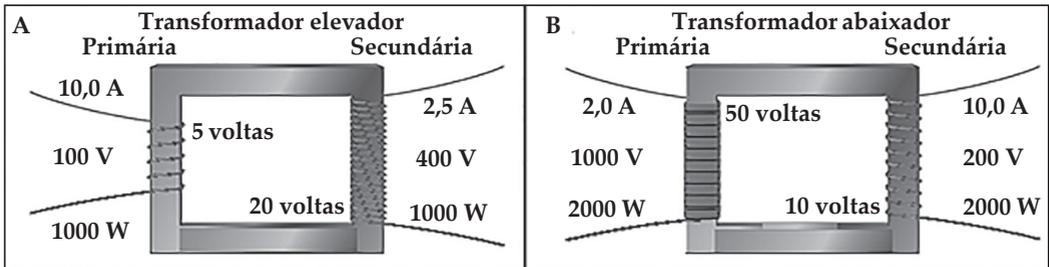
FONTE: Disponível em: <<http://www.cttech.org/GOODWIN/academics/science-textbook/chap25.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2016.

Como mencionado anteriormente, um transformador elevador aumenta a tensão. Os transformadores não podem aumentar a potência de saída, deve haver então uma diminuição correspondente na corrente através do circuito secundário (a corrente na bobina primária é maior que a corrente na bobina secundária $I_p > I_s$). Similarmente, em um transformador abaixador, a corrente é maior no circuito secundário do que é no circuito primário.

Uma queda de tensão corresponde a um aumento da corrente. Outra maneira para compreender isto é considerar um transformador 100 % eficiente, como é geralmente assumido na indústria. Portanto, na maioria dos casos, pode presumir-se que a potência de entrada e a potência de saída são as mesmas ($P_p = P_s$) (Disponível em: <<http://www.cttech.org/GOODWIN/academics/science-textbook/chap25.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016).

A Figura 66 ilustra os princípios dos transformadores elevadores e transformadores abaixadores.

FIGURA 66 - PRINCÍPIOS DOS TRANSFORMADORES ELEVADORES E TRANSFORMADORES ABAIXADORES



FONTE: Disponível em: <<http://www.cttech.org/GOODWIN/academics/science-textbook/chap25.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016.

Em um transformador, a relação de tensão de entrada para a tensão de saída depende da razão entre o número de espiras no enrolamento primário com o número de espiras no enrolamento secundário. A tensão de saída pode ser a mesma que a entrada, maior do que a entrada (A), ou menor do que a entrada (B).

EXEMPLOS

- 1) Um transformador elevador tem um enrolamento primário que consiste de 400 voltas e uma bobina secundária consistindo de 6000 voltas. No enrolamento primário é fornecida uma tensão de 180 V.
 - a) Qual é a tensão no enrolamento secundário?
 - b) A corrente no enrolamento secundário é de 2,0 A. Qual é a corrente no enrolamento primário?

Solução:

Inicialmente você deve analisar e esboçar o problema:

- Desenhar um núcleo de ferro com voltas de fio.
- Identifique as variáveis I, V, e N.

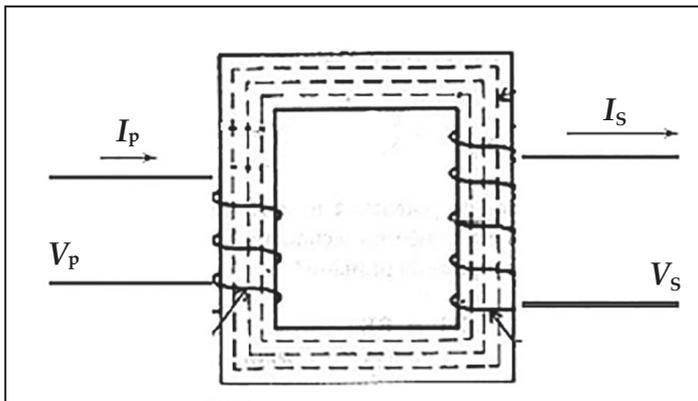
Variáveis conhecidas:

$$N_p = 400 \quad I_s = 2A$$

Variáveis desconhecidas:

$$V_s = ? \quad I_p = ?$$

$$N_s = 6000 \quad I_s = 2A$$



Resolvendo para as variáveis desconhecidas

a. Cálculo da tensão no enrolamento secundário

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

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

Substituindo os valores de $N_s = 6000$; $V_p = 180V$; $N_p = 400$

$$V_s = \frac{6000}{400} \times 180V = 2700V$$

b. Cálculo da corrente no enrolamento primário

A potência nos circuitos primários e secundários são iguais assumindo 100 por cento da eficiência tem-se:

$$P_p = P_s$$

$$V_p \times I_p = V_s \times I_s$$

$$I_p = \frac{V_s \times I_s}{V_p}$$

Substituindo os valores $V_s = 2700V$; $I_s = 2A$; $V_p = 180V$

$$I_p = \frac{2700V \times 2A}{180V} = 30A$$

2) Um transformador abaixador tem 7250 voltas em torno de sua bobina primária e 125 voltas na bobina secundária. A tensão através do circuito primário é de 7,2 kV. Qual a tensão está sendo aplicada através do circuito secundário? Se a corrente no circuito secundário é de 35 A, qual é a corrente no circuito primário?

Variáveis conhecidas:

$$N_p = 7250 \quad V_p = 7,2kV = 7200V$$

Variáveis desconhecidas:

$$V_s = ? \quad I_p = ?$$

$$N_s = 125 \quad I_s = 35A$$

Cálculo da tensão no enrolamento secundário

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

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

a. Substituindo os valores de $N_s = 125$; $V_p = 7200V$; $N_p = 7250$

$$V_s = \frac{125}{7250} \times 7200V = 124,14V$$

b. Cálculo da corrente no enrolamento primário

$$V_p \times I_p = V_s \times I_s$$

$$I_p = \frac{V_s \times I_s}{V_p}$$

Substituindo os valores: $V_s = 124,14V$; $I_s = 35A$; $V_p = 7200V$

$$I_p = \frac{124,14V \times 35A}{7200V} = 0,60A$$

RESUMO DO TÓPICO 3

Nesse tópico, você aprendeu que:

- Um transformador tem duas bobinas enroladas sobre o mesmo núcleo. Uma bobina chamada primária e outra chamada secundária.
- Uma corrente alternada (CA) flui através da bobina primária induzindo uma tensão ou força eletromotriz alternada na bobina secundária.
- As tensões nos circuitos de corrente alternada podem ser aumentadas ou diminuídas por transformadores.
- Se a tensão do enrolamento secundário é maior do que a tensão do primário, o transformador é chamado um transformador elevador.
- Se a tensão que sai do transformador é menor que a tensão de entrada este transformador é chamado de transformador abaixador.
- A razão ou relação de corrente é dada pela seguinte equação:

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

- A razão ou relação de tensão é dada pela seguinte equação:

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



- 1 Um transformador elevador tem 600 voltas sobre a sua bobina primária e 9000 voltas em sua bobina secundária. A força eletromotriz (femi) do gerador para o qual o circuito primário é anexado é de 120 V. Qual é a força eletromotriz do circuito secundário? A corrente no circuito secundário é de 1 A. Qual é a corrente no circuito primário?

- 2 O enrolamento primário de um transformador tem 300 espiras. Ele é ligado a uma fonte de 120 V. Calcule o número de voltas no enrolamento secundário necessário para fornecer as seguintes tensões.
 - a) 630 V
 - b) 35 V
 - c) 12 V

- 3 Um transformador de 150 W tem uma tensão de entrada de 10 V e uma corrente de saída de 5,0 A.
 - a) É este um transformador elevador ou um transformador abaixador?
 - b) Qual é a razão ou relação de tensão (RT) (V_p/V_s)?

- 4 Um transformador utiliza um fornecimento de 182 V para operar um dispositivo de 26 V. Se o transformador tem 260 espiras no enrolamento primário e o dispositivo utiliza 3,8 A de corrente do transformador, qual é a corrente fornecida à bobina primária?
 - a) () 0,27 A
 - b) () 4,8 A
 - c) () 0,70 A
 - d) () 13,3 A
 - e) () 0,54 A

- 5 Um transformador de potência tem uma razão de espiras de 1:20. Se a bobina do secundário tiver 4000 espiras e a tensão no secundário for de 200V, qual a razão de tensão, a tensão no primário e o número de espiras do primário?

MOTORES ELÉTRICOS

1 INTRODUÇÃO

MOTOR é uma máquina que converte ENERGIA ELÉTRICA em ENERGIA MECÂNICA de ROTAÇÃO. A rotação inerente aos motores é responsável pelo funcionamento das máquinas de lavar, das secadoras de roupa, dos ventiladores, dos condicionadores de ar e da maioria das máquinas encontradas nas indústrias.

De acordo com Villar (2006) embora a construção mecânica de motores e geradores de corrente contínua (CC) seja muito parecida, as suas funções são bastante diferentes. A função de um gerador é gerar uma tensão quando os condutores se deslocam através de um campo magnético, enquanto um motor serve para produzir um esforço para a rotação, ou *torque*, para produzir rotação mecânica.

Alguns motores operam com corrente contínua (CC/DC) e podem ser alimentados quer por pilhas/baterias quer por fontes de alimentação adequadas, outros requerem corrente alternada (CA/AC) e podem ser alimentados diretamente pela rede elétrica domiciliar. Há até mesmo motores que trabalham, indiferentemente, com esses dois tipos de correntes (Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala22/motor_teor1a.asp>. Acesso em: 4 maio 2016.).

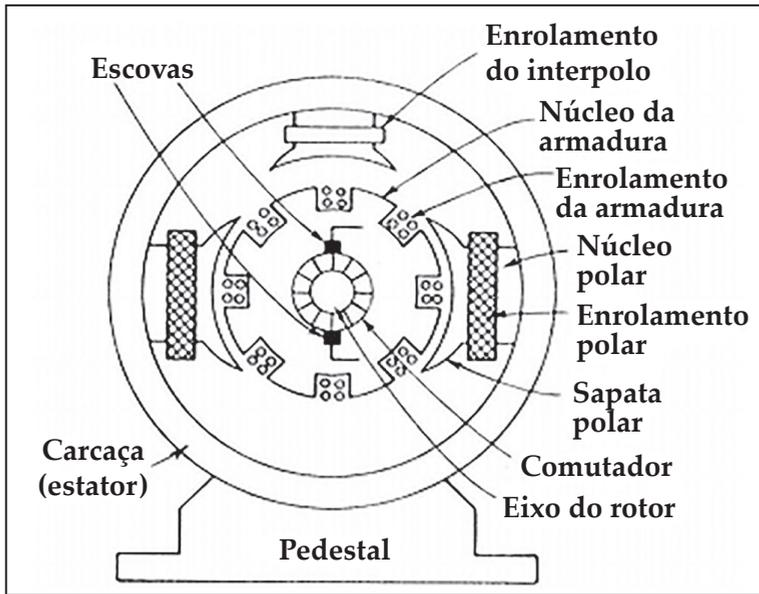
Nos tópicos a seguir vamos estudar os motores de corrente contínua e alternada, seu princípio de funcionamento e quais são os principais componentes dos motores.

2 PRINCIPAIS COMPONENTES DOS MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

As máquinas de corrente contínua são constituídas por quatro partes principais: estator, rotor, comutadores e escovas.

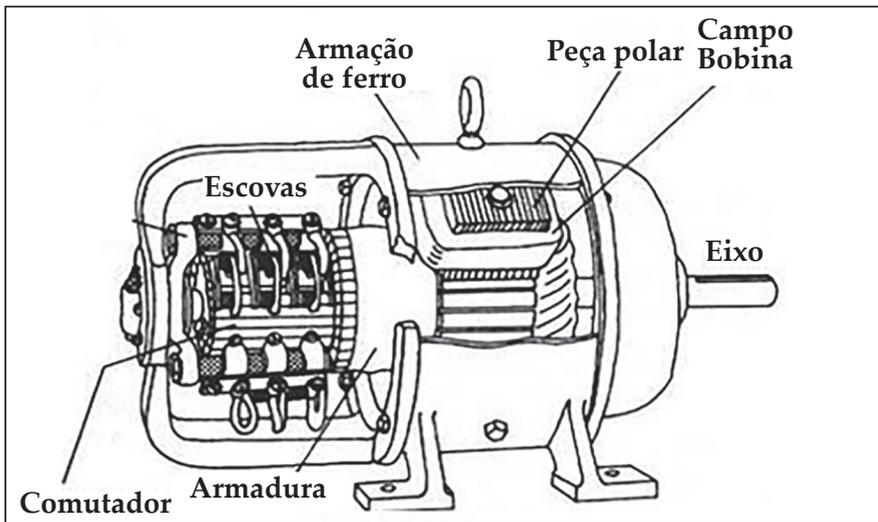
As Figuras 67 e 68 apresentam um diagrama ilustrativo dos principais componentes mecânicos das máquinas de corrente contínua (CC).

FIGURA 67 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA MÁQUINA DE CORRENTE CONTÍNUA (CC) DE 2 POLOS



FONTE: Villar (2006)

FIGURA 68 - PRINCIPAIS COMPONENTES DOS MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA (CC)



FONTE: <<http://Google imagens>>. Acesso em: 3 maio 2016.

- **Estator:** Esta é a parte estática de um motor. É responsável pela geração de um campo eletromagnético estacionário no espaço de ar (entreferro) (ver Figura 67).
- **Rotor:** O rotor e os comutadores representam as principais partes rotativas da máquina de corrente contínua, como mostrado nas Figuras 69 e 70.

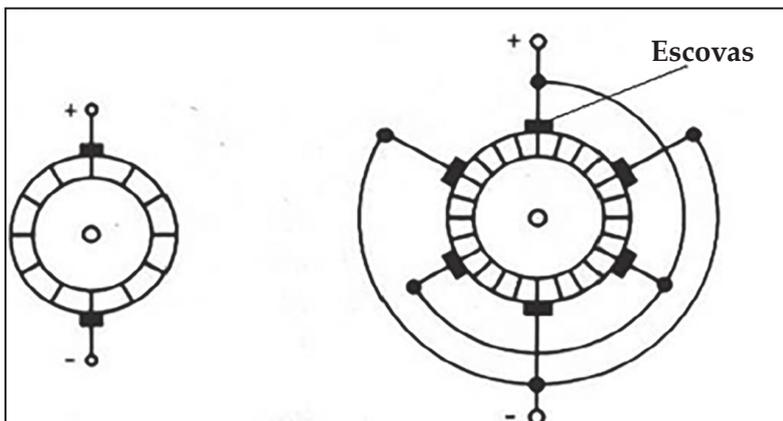
FIGURA 69 – ROTOR DE UMA MÁQUINA DE CORRENTE CONTÍNUA



FONTES: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 3 maio 2016.

- **Entreferro:** É a seção de separação de ar entre o estator e o rotor. O fenômeno de conversão de energia ocorre no espaço de ar.
- **Comutador e Escovas:** O comutador converte a corrente alternada (induzida) que passa pela sua armadura em corrente contínua liberada através de seus terminais (no caso do gerador). O comutador é constituído por segmentos de cobre, com um par de segmentos para cada enrolamento da armadura. Cada segmento do comutador é isolado dos demais por meio de lâminas de mica. Os segmentos são montados em torno do eixo da armadura e são isolados do eixo e do ferro da armadura (VILLAR, 2006). As escovas são feitas de carbono (uma mistura de carbono e uma pequena quantidade de cobre são utilizadas para aumentar a condutividade). Elas são montadas no comutador, como mostrado na figura 70.

FIGURA 70 – COMUTADOR E ESCOVA



FONTES: Villar (2006)

2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR CC

Antes de iniciarmos o estudo sobre o funcionamento de motores elétricos de corrente contínua (CC), vamos relembrar alguns conceitos que foram passados no início desta Unidade.

Você deve estar lembrado que, ao se passar uma corrente elétrica em um condutor, este cria um campo magnético à sua volta. Pois bem, este campo magnético em torno dos condutores elétricos pode ser reforçado quando estes condutores são enrolados em torno de um núcleo de ferro (estes fios condutores enrolados em si mesmo, ou ainda em volta de uma superfície também condutora é o que chamamos de bobina). Quando o fio é enrolado sobre este núcleo de ferro, todas as linhas de fluxo produzidas por cada volta do fio juntam-se para formar um único campo magnético em torno da bobina.

Quanto maior for o número de voltas da bobina, maior é a força do campo magnético. Este campo tem as mesmas características que um campo magnético natural, e por isso também tem um polo norte e um polo sul.



Lembre-se que polos iguais se repelem, enquanto polos opostos se atraem.

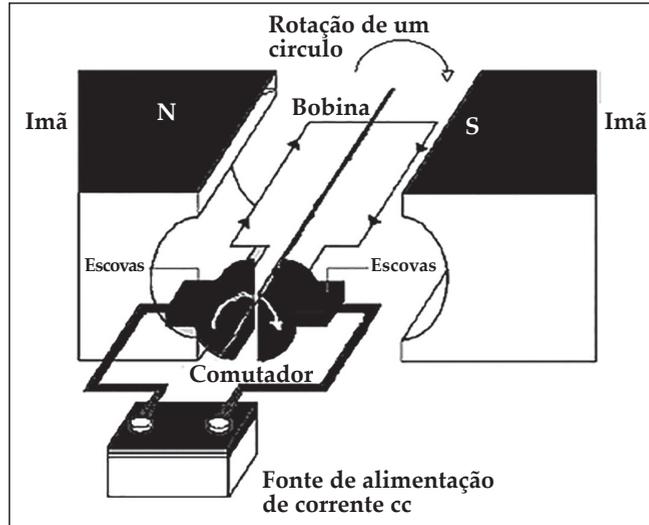
De acordo com Braga (2013), os motores de corrente contínua (CC) são dispositivos que operam aproveitando as forças de atração e repulsão geradas por eletroímãs e ímãs permanentes ou seja, um motor elétrico usa ímãs para criar movimento de rotação.

O magnetismo é a base de toda a operação do motor elétrico. Ela produz a força necessária para que o motor funcione.

Existem dois tipos de ímãs: ímã permanente e o eletroímã. Eletroímãs têm vantagem sobre o ímã permanente porque o campo magnético é mais forte. Além disso, a polaridade do eletroímã pode ser facilmente invertida (os polos podem ser facilmente invertidos). A construção de um eletroímã é simples. Quando uma corrente passa através de uma bobina, um campo magnético é produzido.

A ideia básica para que você entenda o funcionamento de um motor é montar uma bobina entre os polos de um ímã permanente, conforme mostra a Figura 71 (BRAGA, 2013).

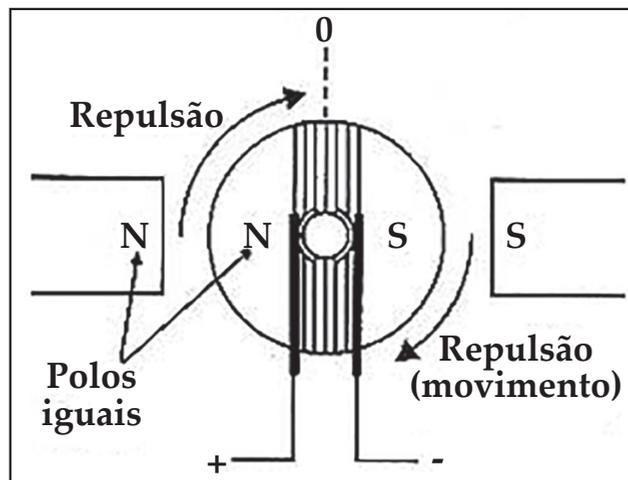
FIGURA 71 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR CC



FONTE: Moyer (2010)

Para ilustrar claramente esta situação, considere a bobina móvel como o rotor do motor. Partindo então da posição inicial, em que os polos da bobina móvel (rotor), ao ser percorrida por uma corrente, estão alinhados com o ímã permanente, temos a manifestação de uma força de repulsão (porque os polos da bobina e do ímã permanente são iguais). Esta força de repulsão faz o conjunto móvel mudar de posição (BRAGA, 2013), conforme mostra a figura seguir.

FIGURA 72 – REPULSÃO: O MOTOR TENDE A GIRAR

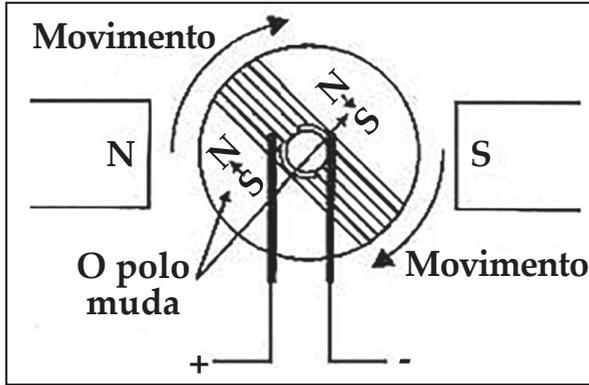


FONTE: Braga (2013)

A tendência do rotor é dar meia volta para que seu polo Norte se aproxime do polo Sul do ímã permanente. Da mesma forma, seu polo Sul se aproximará do polo Norte pelo qual será atraído.

No entanto, no eixo do rotor, por onde passa a corrente que circula pela bobina, existe um comutador. A finalidade deste comutador é inverter o sentido da circulação da corrente na bobina, fazendo com que os polos mudem. Observe a Figura 73.

FIGURA 73 – ILUSTRA A FUNÇÃO DO COMUTADOR. QUE É DE INVERTER O SENTIDO DA CORRENTE



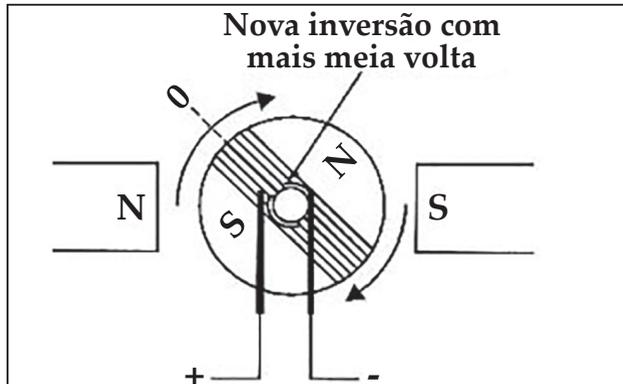
FONTE: Braga (2013)

O resultado disso será uma transformação da força de atração em repulsão, o que fará com que o rotor continue seu movimento, passando "direto" pela posição que seria de equilíbrio.

Sua nova posição de equilíbrio seria obtida com mais meia volta, de modo que os polos do rotor se defrontassem com os de nome oposto do ímã fixo.

Mais meia volta, e quando isso poderia ocorrer, a nova posição faz com que o comutador entre em ação e temos nova comutação da corrente. Com isso os polos se invertem conforme mostra a Figura 74.

FIGURA 74 – INVERSÃO DOS POLOS



FONTE: Braga (2013)

O resultado disso é que o rotor não para, pois deve continuar em busca de sua posição de equilíbrio.

Evidentemente isso nunca vai acontecer, e enquanto houver corrente circulando pela bobina, o rotor não vai parar.

2.2 TORQUE

O torque T produzido por um motor é proporcional à intensidade do campo magnético e à corrente da armadura, conforme mostra a equação abaixo:

$$T = k_t \times \varphi \times I_a$$

Onde:

$$T = \text{torque, em } m \times kg$$

k_t = constante que depende das dimensões físicas do motor

I_a = corrente da armadura, em A (ampère)

φ = número total de linhas de fluxo que entra na armadura por um pólo N (norte)

2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UM MOTOR CC

De acordo com Salam (2003), as vantagens e desvantagens de um motor de CC são:

Vantagens:

- Facilidade de controle;
- Entrega alto torque de partida;
- Desempenho quase linear.

Desvantagens:

- Alta manutenção;
- Grande e caro (em comparação com motor de indução);
- Não é adequado para operação em alta velocidade devido ao comutador e às escovas.

Acionamentos de motores CC:

- A unidade é relativamente simples e barata (em comparação com acionamentos de motores de indução), mas motor de corrente contínua em si é mais caro.
- Devido às inúmeras desvantagens do motor CC, este é cada vez menos popular.

3 MOTORES ACIONADOS POR CORRENTE ALTERNADA

Como já mencionado na Unidade 1, a energia elétrica fornecida pelas empresas de eletricidade é de corrente alternada (CA). Assim, usar máquinas de corrente alternada é uma opção economicamente mais viável.

De acordo com Eletrobrás (2009), o crescente custo e escassez da energia elétrica é uma preocupação que está em todas as discussões sobre mudança de clima e aquecimento global. Devido ao efeito estufa, o uso racional das fontes de energia é uma necessidade cada vez maior no século 21 e, já que cerca de 60% a 70% da energia elétrica produzida no mundo são utilizados para acionar os motores elétricos, a correta escolha do motor elétrico é uma excelente maneira de reduzir custos operacionais.

Para fazer a escolha correta, é preciso conhecer bem as características do motor de corrente alternada. E isso você vai alcançar estudando este tópico.

Neste tópico, também serão abordadas as características do motor de corrente alternada, a fim de poder avaliar se as escolhas de motores da empresa onde você trabalha trarão a melhor relação custo-benefício.

3.1 MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA (CA)

Segundo Eletrobrás (2009), motores acionados por corrente alternada (ou motores de CA) são menos complexos que os motores de CC (corrente contínua). Além disso, a inexistência de contatos móveis em sua estrutura garante seu funcionamento por um grande período, sem a necessidade de manutenção. A velocidade dos motores de CA é determinada pela frequência da fonte de alimentação, o que resulta em excelentes condições para seu funcionamento a velocidades constantes.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES CA

Este tipo de motor pode ser classificado em dois grandes grupos, dependendo do critério usado em sua classificação:

1) Classificação que leva em conta se a velocidade de rotação do motor está sincronizada ou não com a frequência para fazer o motor funcionar. Eles podem ser classificados em:

- motores de CA síncronos;
- motores de CA assíncronos (ou de indução).

2) Classificação de acordo com a tensão elétrica fornecida pela rede de distribuição.
Os motores elétricos podem ser:

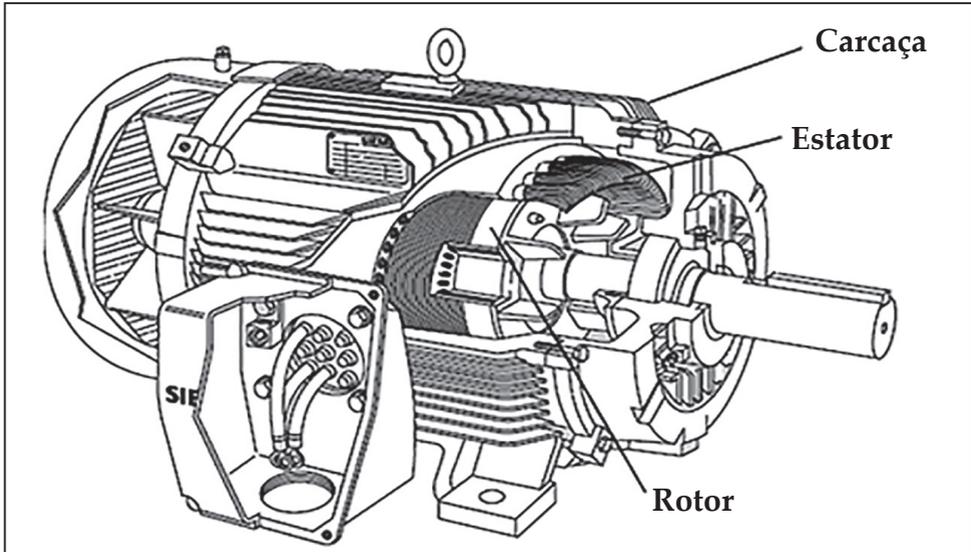
- motor de CA monofásico;
- motor de CA trifásico.

Os motores de CA são utilizados em todo o mundo em muitas aplicações para transformar energia elétrica em energia mecânica. Como visto, existem muitos tipos de motores de corrente alternada, mas neste livro vamos focar nossa atenção nos motores de indução trifásicos de corrente alternada por ser o tipo mais comum de motores usados em aplicações industriais.

3.3 COMPONENTES DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO DE CA

Este tipo de motor tem três partes principais: rotor, estator e carcaça. O estator e rotor são os quem realizam o trabalho, carcaça que protege o estator e o rotor e também protege as partes internas do motor contra outros elementos ambientais.

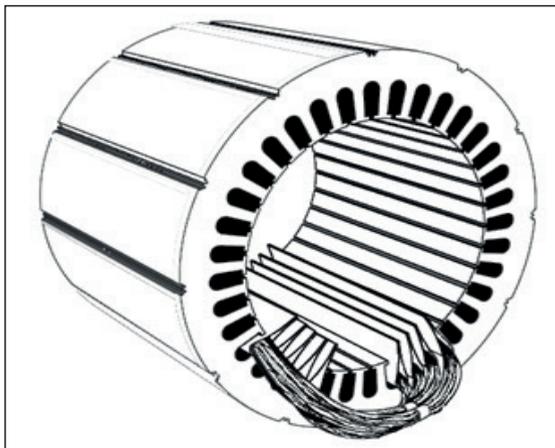
FIGURA 75 – PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO DE CA



FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

O estator é a parte fixa do motor. O núcleo do estator é constituído por várias folhas de metal finas. Estas lâminas são usadas para reduzir a perda de energia que resultaria se um núcleo sólido fosse utilizado. As lâminas do estator são empilhadas juntas formando um cilindro oco. As bobinas são inseridas nas ranhuras do núcleo do estator (Figura 76).

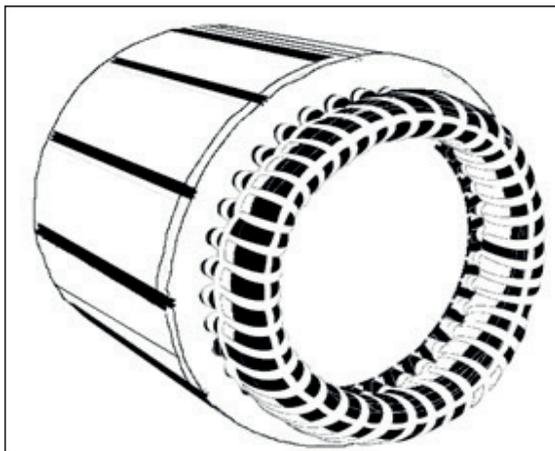
FIGURA 76 – ESTATOR PARCIALMENTE CONCLUÍDO



FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

Quando o motor está em funcionamento, os enrolamentos do estator estão ligados diretamente à fonte de alimentação. Cada agrupamento de bobinas, em conjunto com o núcleo de aço que a circunda, torna-se um eletroímã quando uma corrente é aplicada. A figura a seguir mostra o estator completo.

FIGURA 77 - ESTATOR COMPLETO



FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

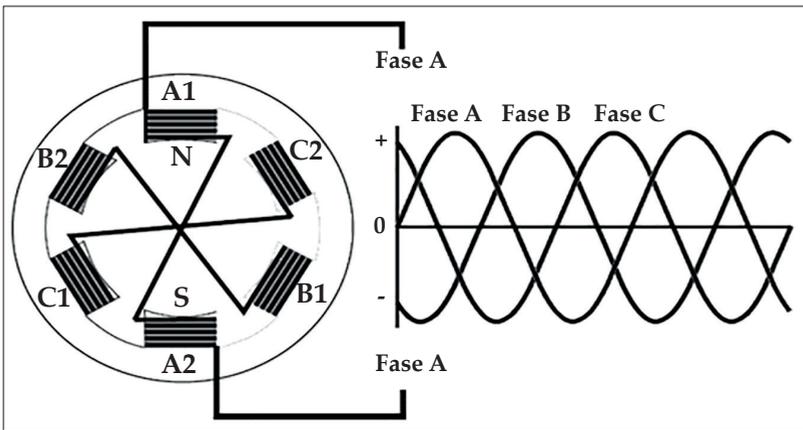
O rotor é a parte rotativa do circuito eletromagnético do motor. O tipo mais comum de rotor usado em um motor de indução trifásico é o rotor de gaiola. O rotor de gaiola é assim chamado porque sua construção lembra as rodas de exercício encontradas em algumas gaiolas de animais de estimação.

é um polo sul. Por exemplo, quando A1 é um polo norte, A2 é um polo sul e, quando a corrente inverte o sentido, as polaridades dos enrolamentos também são invertidas.

FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

O estator está ligado a uma fonte de alimentação de corrente alternada trifásica. A ilustração a seguir mostra enrolamentos A1 e A2 ligados à fase A da fonte de alimentação. Quando as ligações estão concluídas, B1 e B2 serão ligados à fase B, C1 e C2 estão conectados à fase C.

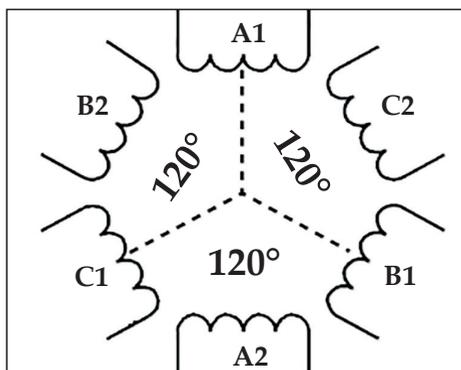
FIGURA 80 - ENROLAMENTOS A1 E A2 LIGADOS À FASE A NA FONTE DE ALIMENTAÇÃO



FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

A ilustração a seguir mostra que as bobinas A1, B1 e C1 são defasados de 120°. Note que os enrolamentos A2, B2, C2 também são defasados de 120° entre si. Isto corresponde à separação de 120° entre cada fase elétrica. Uma vez que cada enrolamento de fase tem dois polos, isto é chamado de um estator de dois polos.

FIGURA 81 – ENROLAMENTOS DE UM ESTATOR DE 2 POLOS



FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

Quando uma fonte de tensão alternada (CA) é aplicada ao estator, o campo magnético desenvolvido em um conjunto de bobinas depende do sentido do fluxo da corrente. Consulte a tabela a seguir para você entender como um campo magnético rotativo é desenvolvido. Esta tabela assume um fluxo de corrente positiva em A1, B1 e C1 resultando em um polo norte.

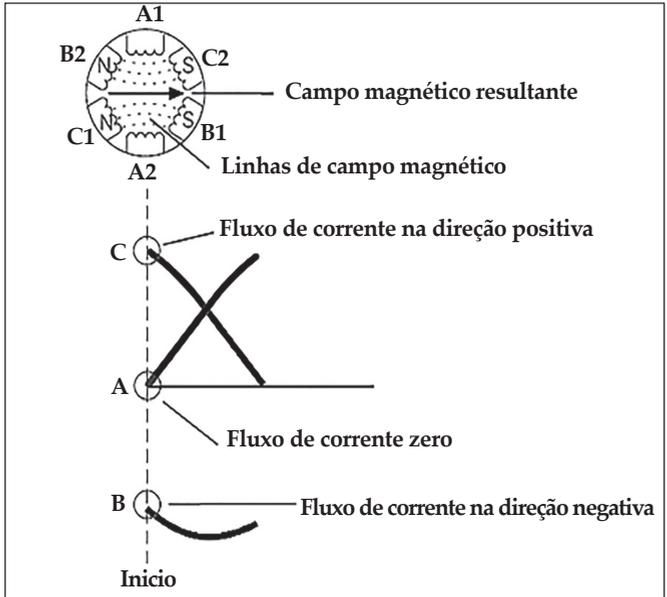
TABELA 8 - DIREÇÃO DO FLUXO DE CORRENTE NO ESTATOR

Enrolamentos	Direção do fluxo de corrente	
	Positivo	Negativo
A1	Norte	Sul
A2	Sul	Norte
B1	Norte	Sul
B2	Sul	Norte
C1	Norte	Sul
C2	Sul	Norte

FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

Na ilustração a seguir, o início do processo foi selecionado durante o momento no qual a fase A não tem fluxo de corrente e suas bobinas associadas não têm campo magnético. A Fase B tem o fluxo de corrente no sentido negativo e a fase C tem o fluxo de corrente na direção positiva. Com base na tabela apresentada, B1 e C2 são polos sul porque em B1 o fluxo de corrente está fluindo no sentido negativo (e em C2 a direção do fluxo de corrente é no sentido positivo) e B2 e C1 são polos norte. Linhas de campo magnéticas deixam o polo norte B2 e se dirigem ao polo sul mais próximo, C2. As linhas de campo magnético também deixam o polo norte C1 e buscam o polo sul mais próximo, B1. O vetor soma dos campos magnéticos é indicado pela seta (Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016).

FIGURA 82 - CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO - INÍCIO

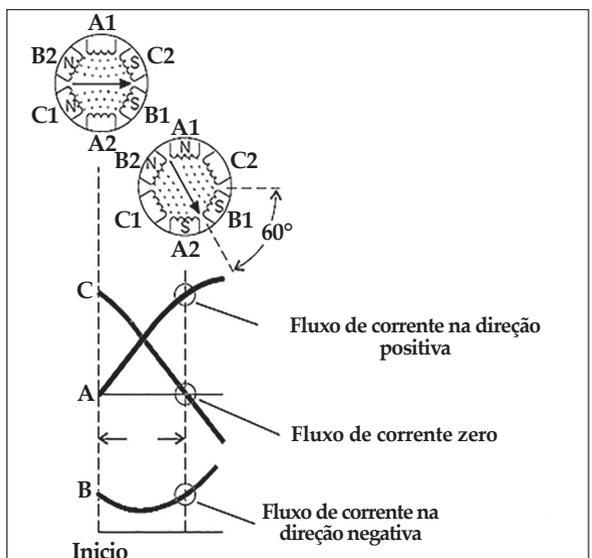


FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

Tempo 1

O gráfico a seguir mostra o andamento do vetor campo magnético à medida que cada fase avançou 60° . Note que a fase de tempo 1 C, não tem qualquer fluxo de corrente e o campo magnético não é desenvolvido em C1 e C2. Fase A tem o fluxo de corrente na direção positiva e fase B tem o fluxo de corrente na direção negativa. Como mostra o gráfico anterior, enrolamentos A1 e B2 são polos norte e enrolamentos A2 e B1 são polos sul. O vetor de campo magnético resultante rodou 60° no sentido dos ponteiros do relógio.

FIGURA 83 - CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO – TEMPO 1

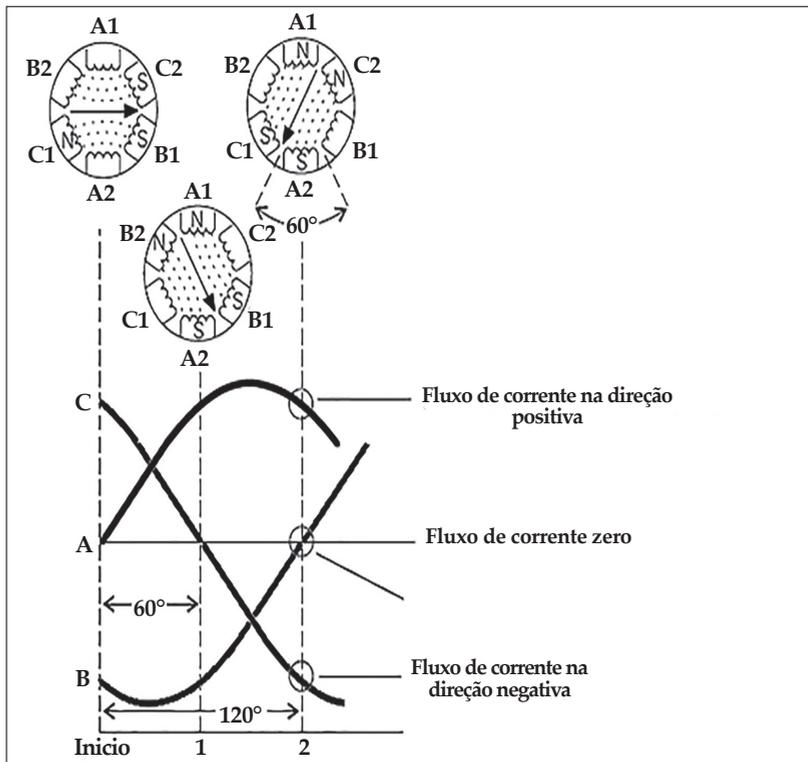


FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

Tempo 2

No tempo 2, a fase B não tem fluxo de corrente e os enrolamentos B1 e B2 não têm nenhum campo magnético. A corrente na fase A está fluindo na direção positiva, mas a fase C a corrente está agora fluindo na direção negativa. O vetor de campo magnético resultante rodou mais 60° .

FIGURA 84 - CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO – TEMPO 2

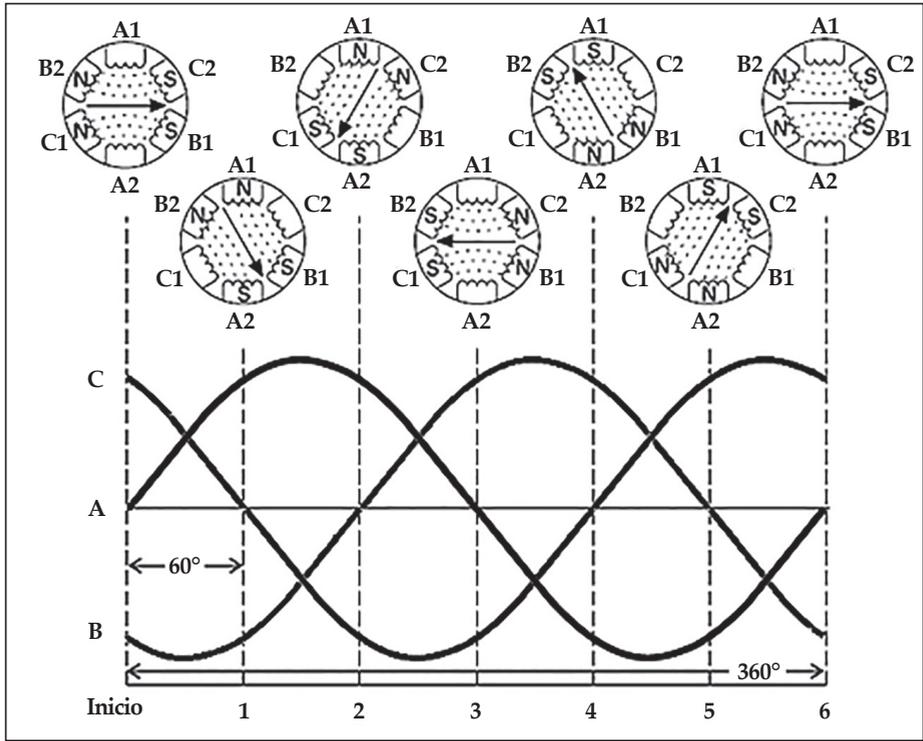


FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

Final

No final de seis intervalos de tempo, o campo magnético vai ter rodado uma volta completa, ou seja, 360° . Este processo se repete 60 vezes por segundo para uma fonte de alimentação de 60 Hz.

FIGURA 85 - CAMPO MAGNÉTICO ROTATIVO – FINAL



FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 4 maio 2016.

3.5 VELOCIDADE SÍNCRONA

De acordo com o catálogo WEG a velocidade síncrona do motor (rpm) é definida pela velocidade de rotação do campo girante (ou velocidade do campo magnético rotativo), a qual depende do número de pares de polos (p) do motor e da frequência (f) da rede. O campo girante percorre um par de polos (p) a cada ciclo. Assim, como o enrolamento tem polos ou pares de polos, a velocidade do campo será:

$$rpm = \frac{120 \times F}{P}$$

Onde:

F = Frequência em Hertz, (Hz)

P = Número de pólos do motor

A velocidade síncrona para um motor de dois polos classificado a 60 Hz, por exemplo, é de 3600 RPM.

$$rpm = \frac{120 \times F}{P} \rightarrow rpm = \frac{120 \times 60}{2} \rightarrow rpm = 3600 rpm$$

A velocidade síncrona diminui à medida que o número de polos aumenta. A tabela a seguir mostra a velocidade síncrona em 60 Hz para vários polos diferentes.

TABELA 9 - VELOCIDADE SÍNCRONA EM 60 HZ PARA VÁRIOS POLOS DIFERENTES

Número de polos	Velocidade síncrona
2	3600
4	1800
6	1200
8	900
10	720

FONTE: Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-sincronos-artigo-tecnico-portugues-br.PDF>>. Acesso em: 4 maio 2016.

LEITURA COMPLEMENTAR

GERADORES ELÉTRICOS E FORÇA ELETROMOTRIZ

Gerador elétrico é um equipamento que transforma em energia elétrica outras formas de energia. Uma bateria de automóvel, por exemplo, transforma a energia química em energia elétrica. Uma usina hidrelétrica utiliza a energia mecânica transformando-a em energia elétrica. Portanto, um gerador elétrico é o aparelho que realiza a transformação de uma forma qualquer de energia em energia elétrica.

Um gerador possui dois terminais denominados polos: polo negativo corresponde ao terminal de menor potencial elétrico. Polo positivo corresponde ao terminal de maior potencial elétrico.

Quando colocado em um circuito, um gerador elétrico fornece energia potencial elétrica para as cargas, que entram em movimento, saindo do polo negativo para o polo positivo.

A potência elétrica total gerada (P_g) por um gerador é diretamente proporcional à intensidade de corrente elétrica. Ou seja:

$$P_g = f_{em} \cdot i$$

Onde:

f_{em} é a constante de proporcionalidade, chamada de força eletromotriz. I é a intensidade de corrente elétrica entre os terminais do gerador. Portanto, a força eletromotriz de um gerador pode ser definida pelo quociente:

$$f_{em} = \frac{P_g}{i}$$

Sabendo que a potência elétrica é dada em watts (W) e a intensidade da corrente é dada em ampère (A), temos:

$$\frac{1W}{1A} = 1V$$

Assim, a unidade de medida da força eletromotriz no sistema internacional é o volt (V).

Potência elétrica lançada: É a potência elétrica fornecida pelo gerador ao circuito externo.

$$P_i = U \cdot i$$

onde U é a diferença de potencial ou tensão, entre os terminais do gerador. A potência elétrica dissipada internamente é dada por:

$$P_d = r \cdot i^2$$

Onde: r é a resistência interna do gerador. I é a intensidade de corrente elétrica.

O rendimento (η) do gerador é a razão entre a potência lançada e a potência total gerada, ou seja:

$$n = \frac{P_i}{P_g} = \frac{U \cdot i}{E \cdot i} = \frac{U}{E} \Rightarrow n = \frac{U}{E}$$

FONTE: Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/geradores-eletricos-forca-eletromotriz.htm>>. Acesso em: 9 maio 2016.



Caro acadêmico, seguem alguns *links* referentes aos assuntos abordados nesta unidade, para que você possa aprofundar seus conhecimentos.

<<http://eletro.g12.br/arquivos/materiais/eletronica3.pdf>>.

<www.infoescola.com/fisica/geradores-eletricos>.

<http://cepa.if.usp.br/e-fisica/eletricidade/basico/cap08/cap8_01.php>.

RESUMO DO TÓPICO 4

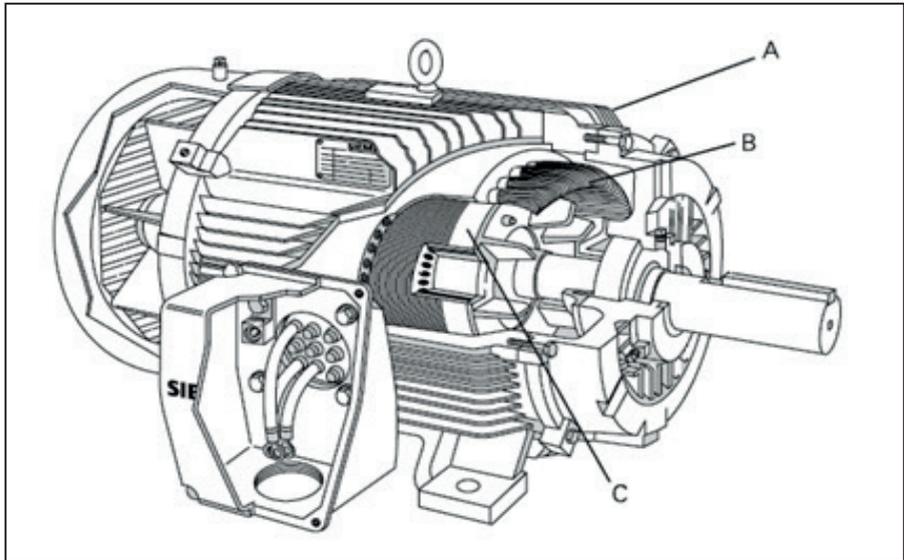
Nesse tópico, você aprendeu que:

- Um motor de corrente contínua é uma máquina que converte energia elétrica em energia mecânica por meio de indução eletromagnética.
- Nos motores elétricos, a intensidade da força varia diretamente com a força do campo magnético e a quantidade de corrente que flui no condutor.
- Motores de corrente contínua operam de acordo com o princípio da atração e repulsão ou magnetismo.
- Os princípios de funcionamento dos Motores de CC são semelhantes aos utilizados para os geradores de corrente contínua.
- Os motores CA apresentam características excelentes para a operação a velocidades constantes, porque a velocidade é determinada pela frequência da rede de alimentação e o número de polos do motor.
- Os motores CA podem ser trifásicos ou monofásicos. O princípio de funcionamento é o mesmo em todos os casos, isto é, o de um campo magnético girante que provoca a rotação do rotor da máquina.



1 Identificar os seguintes componentes da figura abaixo:

- a) _____
- b) _____
- c) _____



FONTE: Disponível em: <<http://www.usa.siemens.com/step>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

2 Complete as lacunas com as palavras corretas:

- a) O _____ é a parte estacionária de um motor de corrente alternada (CA).
- b) O _____ é a parte elétrica rotativa de um motor CA.
- c) A _____ protege as partes internas do motor da água e outros elementos ambientais.

3 Complete as sentenças:

- a) A velocidade do campo magnético rotativo é definida como velocidade _____.
- b) A velocidade síncrona de um motor de 60 Hz, de quatro polos é _____ rpm.

ELETRÔNICA BÁSICA

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir desta unidade, você será capaz de:

- explicar a necessidade de proteção em circuitos eletrônicos;
- identificar vários tipos de dispositivos de proteção de sobrecorrente;
- identificar os vários tipos de disjuntores;
- entender como o fusível protege um circuito elétrico;
- identificar os tipos de fusíveis;
- dimensionar o tipo de fusível utilizando curva de tempo versus corrente;
- compreender a estrutura básica do díodo semiconductor de junção;
- conhecer o transistor de junção bipolar, componente que revolucionou a tecnologia;
- compreender a operação e os principais componentes das fontes de alimentação;
- identificar as principais fontes de alimentação para o correto funcionamento de componentes eletrônicos;
- conhecer os tipos e propriedades dos dispositivos pnpn – tiristores.

PLANO DE ESTUDOS

Esta unidade está dividida em quatro tópicos. Em cada um deles você encontrará atividades visando à compreensão dos conteúdos abordados.

TÓPICO 1 – DISJUNTORES, RELÉS, FUSÍVEIS E INTERRUPTOR DE FUGA

TÓPICO 2 – SISTEMAS DE ENERGIA ININTERRUPTA: NOBREAKS

TÓPICO 3 – SEMICONDUTORES E DÍODOS

TÓPICO 4 – TRANSISTORES, TIRISTORES E CIRCUITOS AMPLIFICADORES

DISJUNTOR, RELÉ, FUSÍVEL E INTERRUPTOR DE FUGA

1 INTRODUÇÃO

Neste tópico, vamos estudar os dispositivos de proteção e segurança que são utilizados em instalações elétricas.

Os dispositivos de proteção dos circuitos elétricos são divididos em quatro grupos: fusíveis, relés térmicos, disjuntores e interruptores de fuga.

Para complementar o seu estudo, você poderá consultar catálogos dos fabricantes destes dispositivos que fornece informações sobre como dimensionar e especificar cada um dos dispositivos de acordo com as solicitações do circuito.

2 PROTEÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS

A proteção dos sistemas elétricos é de extrema importância para a manutenção do fornecimento da energia elétrica aos consumidores e para a segurança dos equipamentos que compõem o sistema elétrico, além da segurança dos próprios usuários.

Para proteger o sistema elétrico e os equipamentos é necessário que se utilize dispositivos de proteção, que, inseridos nos circuitos elétricos, têm a função de proteger a rede contra os efeitos de correntes elevadas. Estes dispositivos devem interromper a corrente que circula no circuito, automaticamente, sempre que a intensidade de corrente atingir valores que podem causar danos.

Neste tópico, vamos estudar os dispositivos de proteção e manobra empregados para proteger, ligar e desligar cargas.

2.1 NECESSIDADE DE PROTEÇÃO EM CIRCUITOS

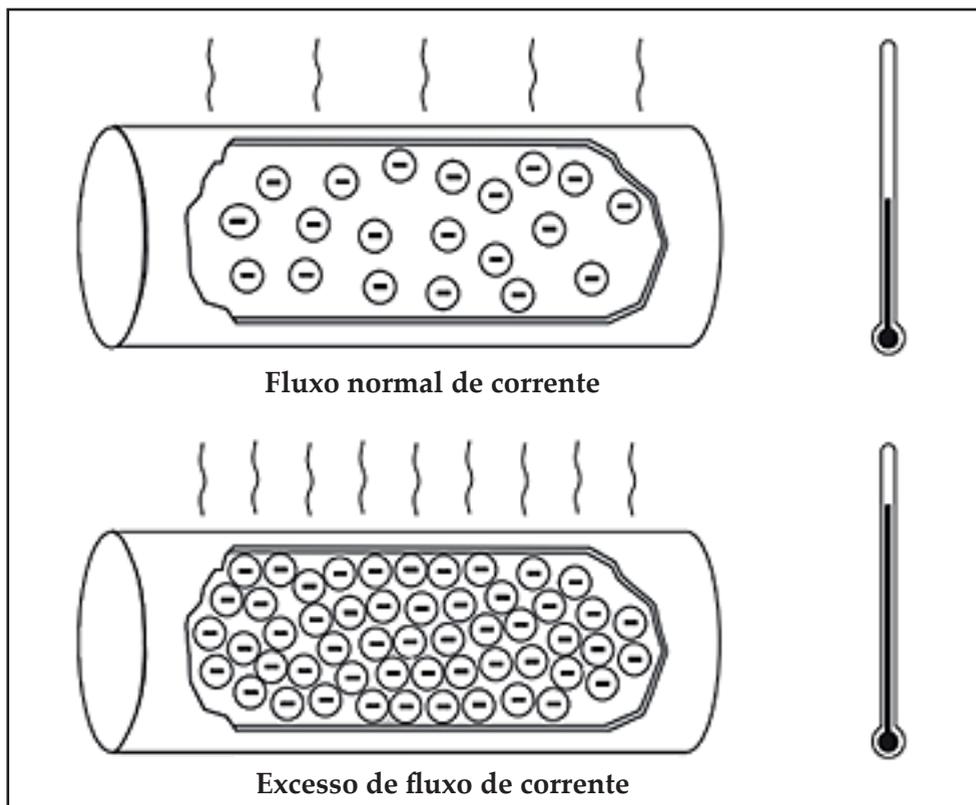
Os condutores e equipamentos que fazem parte de um circuito elétrico devem ser protegidos contra curtos-circuitos e contra sobrecargas (intensidade de corrente acima do valor compatível com o aquecimento do condutor e que poderiam danificar a isolamento do mesmo ou deteriorar o equipamento) (NISKER, 2005, p. 149).

A seguir, serão abordados alguns conceitos como: sobrecargas, sobrecorrentes, correntes nominais e curtos-circuitos para que você, caro acadêmico, possa entender melhor como estes efeitos podem danificar condutores e equipamentos de um circuito elétrico.

2.1.1 Corrente e temperatura

O fluxo de corrente em um condutor sempre gera calor. Quanto maior o fluxo de corrente, maior é a temperatura do condutor. A Figura 86 mostra o efeito do fluxo de corrente em um condutor.

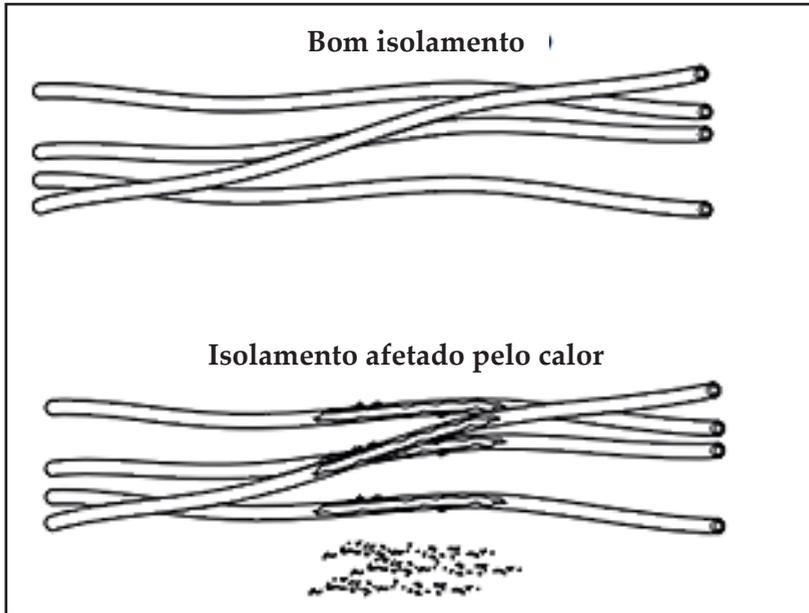
FIGURA 86 – EFEITO DO EXCESSO DE FLUXO DE CORRENTE EM UM CONDUTOR



FONTE: Disponível em: <https://www.industry.usa.siemens.com/services/us/en/industry-services/training/self-study-courses/quick-step-courses/Documents/circuit_breakers.pdf>. Acesso em: 25 maio 2016

O excesso de calor é prejudicial para os componentes elétricos. Um fluxo excessivo de corrente pode causar um aquecimento indesejado que resulta em circuitos elétricos quentes. Os componentes podem literalmente ficar quentes o suficiente para derreter, expondo os condutores (em caso de fios elétricos). A Figura 87 apresenta o efeito do excesso de calor no isolamento.

FIGURA 87 – EFEITO DO EXCESSO DE CALOR NO ISOLAMENTO



FONTE: Disponível em: <https://www.industry.usa.siemens.com/services/us/en/industry-services/training/self-study-courses/quick-step-courses/Documents/circuit_breakers.pdf>. Acesso em: 25 maio 2016.

2.1.2 Corrente Nominal (I_N)

“Corrente nominal é o valor eficaz da corrente que o dispositivo pode conduzir indefinidamente, sem que a elevação da temperatura de suas diferentes partes exceda os valores especificados, nas condições previstas na norma pertinente para cada dispositivo” (COTRIM, 2009, p. 193).

2.1.3 Sobrecarga

Um circuito elétrico é limitado com relação ao valor de corrente que pode por ele circular com segurança. Um fluxo de corrente excessiva através de um condutor o aquecerá. A capacidade de corrente do circuito é determinada pela seção dos fios condutores utilizados. Um circuito elétrico está sobrecarregado quando o valor de corrente que flui através dele é maior que a sua capacidade de corrente (PETRUZELLA, 2014, p. 296).

“As sobrecargas variam normalmente de uma a seis vezes o nível de corrente normal (corrente nominal)” (PETRUZELLA, 2014, p. 296).

Uma sobrecarga pode ocorrer quando muitos dispositivos são operados em um único circuito ou quando equipamentos elétricos trabalham além de suas capacidades nominais. Quando isso acontece, danos aos equipamentos ou aos condutores podem ocorrer, a menos que o circuito seja aberto (corrente interrompida) por um dispositivo de proteção de sobrecorrente.

2.1.4 Sobrecorrentes

São correntes elétricas cujos valores excedem o valor da corrente nominal. As sobrecorrentes podem ser originadas por solicitação do circuito acima de suas características de projeto (sobrecargas) ou por falta elétrica (curto-circuito) (GONÇALVES, 2012).

2.1.5 Curto-circuito

Segundo Mamede Filho (2005), a determinação das correntes de curto-circuito nas instalações elétricas de baixa e alta tensão de sistemas industriais é fundamental para a elaboração do projeto de proteção e coordenação dos seus diversos elementos.

As correntes de curto-circuito adquirem valores de grande intensidade, porém com duração geralmente limitada a frações de segundo. São provocadas mais comumente por perda do isolamento de algum elemento energizado do sistema elétrico. Os danos provocados na instalação ficam condicionados à intervenção correta dos elementos de proteção. Os valores de pico estão, normalmente, compreendidos entre 10 e 100 vezes a corrente nominal no ponto de defeito da instalação e dependem da localização deste (MAMEDE FILHO, 2005, p. 228).

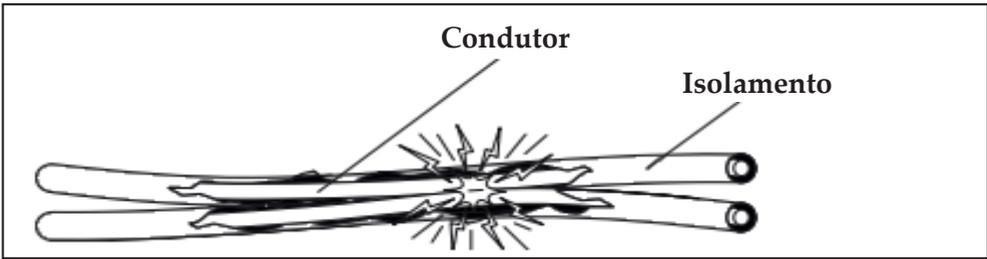
De acordo com Shneider Eletric (2016, s. p.):

os curto-circuitos são ocasionados por uma falha da isolação sólida, líquida ou gasosa que sustenta a tensão entre condutores ou entre condutores e o terra. Esta falha na isolação pode ser motivada por:

- Danos mecânicos: quebra de isoladores, quebra de suportes, queda de poste etc.
- Uso abusivo – Quando se exige de um equipamento potência maior que a nominal provoca-se uma deteriorização mais ou menos rápida da isolação que trabalhará a uma temperatura mais elevada que a de projeto.
O calor gerado por esta corrente vai causar danos ao equipamento e aos condutores ligados, a menos que a corrente seja interrompida imediatamente.

A Figura 88 apresenta o efeito de dois condutores sem isolamento (curto-circuito).

FIGURA 88 – EFEITO DE DOIS CONDUTORES SEM ISOLAMENTO – CURTO-CIRCUITO



FONTE: Disponível em: <https://www.industry.usa.siemens.com/services/us/en/industry-services/training/self-study-courses/quick-step-courses/Documents/circuit_breakers.pdf>. Acesso em: 25 maio 2016.



Você deve estar lembrado que na Unidade 1 falamos sobre Lei de Ohm. A Lei de Ohm descreve a relação entre corrente, tensão e resistência.

$$\text{Corrente} = \frac{\text{tensão}}{\text{resistência}}$$

Por exemplo, em um circuito com uma resistência de 20Ω e com uma tensão de 200 volts, a corrente neste circuito será de 10 ampères. Quando um curto-circuito se desenvolve, a resistência cai. Se, por exemplo, a resistência cair para 20 milliohms, a corrente aumenta para 10.000 ampères.

$$I = \frac{200V}{20\Omega}$$

$$I = 10 A(\text{ampères})$$

Se a resistência cair para 20 miliohms ($0,020 \Omega$):

$$I = \frac{200V}{0,020\Omega}$$

$$I = 10000 A(\text{ampères})$$

Um curto-circuito é um caminho de baixa resistência para a corrente quando condutores sem isolamento se tocam. Quando ocorre um curto-circuito, há uma diminuição da resistência que resulta em uma corrente de curto-circuito que pode estar milhares de vezes mais elevada do que a corrente de operação normal. Isto pode ser verificado no exemplo anterior, com a mesma tensão, mas com a diminuição da resistência a corrente passou de 10 A para 10000 A.

2.2 DISPOSITIVOS DE BAIXA E ALTA TENSÕES

Conforme Cotrim (2009, p.189), os dispositivos de manobra e de proteção podem ser classificados em:

- Dispositivos de baixa tensão, quando projetados para emprego em circuitos cuja tensão de linha é inferior ou igual a 1.000V.
- Dispositivos de alta tensão, quando projetados para emprego em circuitos cuja tensão de linha é superior a 1.000V.

De acordo com Schneider Electric (2016, s. p.), os dispositivos de proteção usados para reduzir os efeitos dos curto-circuitos sobre os equipamentos e as instalações de baixa tensão são os seguintes:

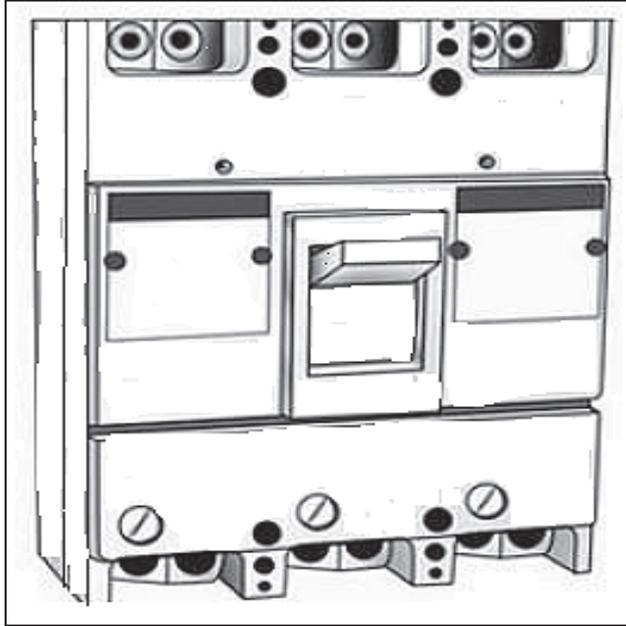
- Fusível: pela fusão de uma parte especialmente projetada, abre o circuito e interrompe a corrente quando esta excede um dado valor durante um certo tempo;
- Disjuntor: pela separação rápida entre os contatos móvel e fixo e através de um meio de extinção de arco (sopro magnético, vácuo, gás SF₆, óleo, ar comprimido) abre o circuito e interrompe a corrente quando esta excede um dado valor detectado por um relé o qual comandou a sua operação.

2.3 DISJUNTORES

Um disjuntor é um dispositivo de manobra (mecânico) e de proteção, capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições NORMAIS do circuito, assim como estabelecer, conduzir por tempo especificado e interromper correntes em condições ANORMAIS, tais como as de curto-circuito (COTRIM, 2009, p. 190).

A Figura 89 apresenta um exemplo de disjuntor:

FIGURA 89 – DISJUNTOR TRIPOLAR



FONTE: Cotrim (2009)

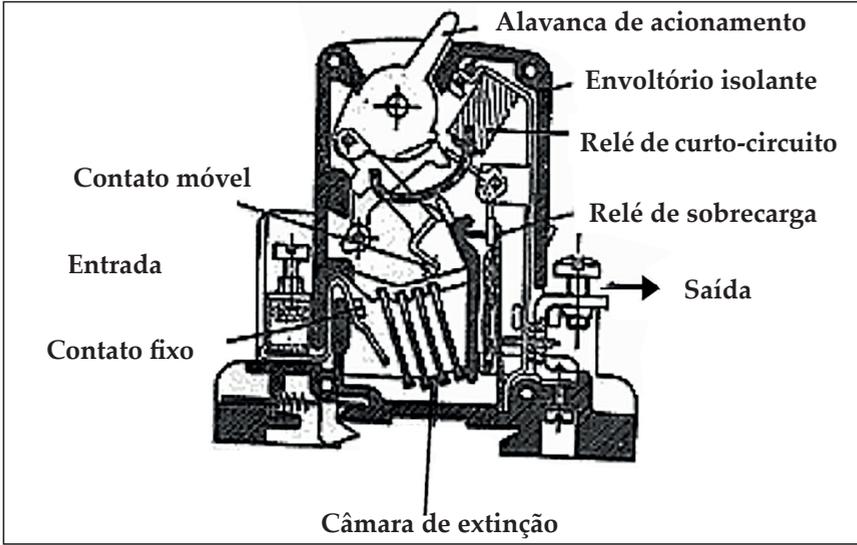
2.3.1 Principais componentes

Conforme Sampaio (2012, p. 12), alguns dos principais componentes de qualquer tipo de disjuntor são:

- 1 - Contatos permanentes: são também chamados de paralelos. Em condições normais, quando o disjuntor está na posição fechada, estes são os contatos por onde a corrente elétrica flui.
- 2 - Contatos de arco: outro tipo de contato são os contatos de arco ou principais, constituídos por uma parte móvel (tulipa) e outra fixa (pino).
- 3 - Capa de proteção dos contatos de arco: esta capa de proteção, normalmente, é fabricada em material à base de teflon que permite suportar o calor na câmara de extinção. Em muitos casos, são acrescentadas ainda cargas suplementares (como CaF_2 – fluoreto de cálcio, e MoS_2 – sulfeto de molibdênio) para auxiliar na criação de uma vaporização, que irá gerar uma elevação da pressão no interior do equipamento para auxiliar na extinção do arco elétrico.
- 4 - Porcelana envoltória: porcelana que envolve o equipamento. Esta peça tem como objetivo protegê-lo no caso de uma descarga superficial e é constituída com um formato ondulado para alongar o caminho da corrente e aumentar a resistência na ocorrência desse fenômeno.

Os principais componentes de um disjuntor podem ser vistos na figura a seguir:

FIGURA 90 – PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM DISJUNTOR DE BAIXA TENSÃO



FONTE: Sampaio (2012)

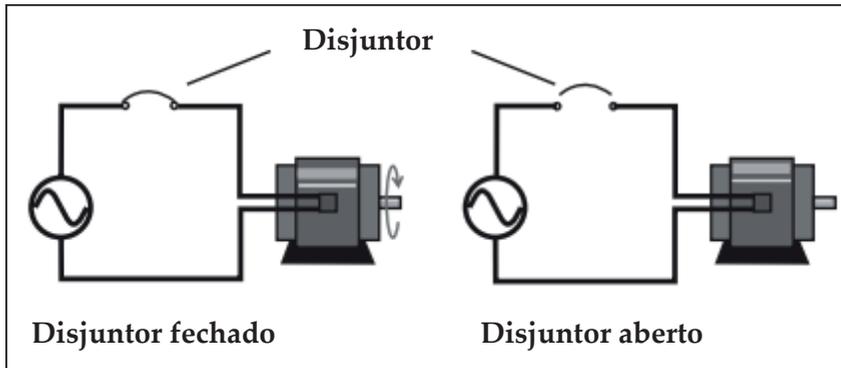
2.3.2 Princípio de operação de um disjuntor

Ao detectar um curto, ou qualquer outro tipo de falta no sistema, será emitido, a partir do circuito de controle do disjuntor, um comando para que sejam abertos seus contatos, seja eliminado o defeito, e protegida a integridade dos componentes do sistema. Um comando de abertura também pode ser emitido pelo operador sem que tenha ocorrido qualquer tipo de defeito, no caso de manutenção programada, por exemplo (SAMPAIO, 2012).

A partir deste comando, inicia-se o movimento de abertura do equipamento.

Na figura a seguir, um motor de corrente alternada está conectado através de um disjuntor de circuito em uma fonte de tensão. Quando o disjuntor está operando em seu estado normal (fechado), um caminho completo para a corrente existe entre a fonte de tensão e o motor, permitindo que o motor funcione. Quando o disjuntor detecta uma falha, ele se desarma, abrindo o caminho do fluxo de corrente e o motor para de funcionar. O disjuntor abre automaticamente quando detecta uma falha. Depois que a falha tenha sido sanada, o disjuntor pode ser fechado, permitindo que o motor volte a funcionar.

FIGURA 91 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM DISJUNTOR



FONTE: Disponível em: <<http://electrical-engineering-portal.com/res/Siemens-Basics-of-Circuit-breakers.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2016.

2.3.3 Classificação dos disjuntores

Os disjuntores podem ser classificados em função de diferentes critérios: sua tensão de trabalho, tipo de execução, meio isolante, localização da instalação, mecanismo de operação e em relação ao princípio de extinção do arco elétrico (SAXENA et al., 2012).

A. Classificação baseada na faixa de tensão de trabalho:

A norma NBR 7118 classifica disjuntores da seguinte maneira:

- Tensão nominal - até 1.000 Volts = Baixa Tensão
- Tensão nominal - acima de 1.000 Volts = Alta Tensão

Ainda hoje muitos utilizam a classificação antiga para tensão nominal, da qual se faz uso por facilitar a identificação de equipamentos que atualmente estão generalizados como Alta Tensão.

- até 1.000 Volts = Baixa Tensão;
- de 1.000V até 38KV = Média Tensão
- de 38KV até 138KV = Alta Tensão

B. Classificação de acordo com o princípio de extinção do arco elétrico:

- Disjuntor a óleo;
- Disjuntor SF₆;
- Disjuntor a ar comprimido;
- Disjuntor a vácuo.

C. Classificação de acordo com o mecanismo de instalação do disjuntor:

- Disjuntor de uso interno
- Disjuntor de uso externo

D. Classificação de acordo com o mecanismo de acionamento:

- Mola;
- Pneumático;
- Hidráulico.

FONTE: Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2016.

2.3.4 Funções básicas de um disjuntor

As principais funções dos disjuntores, segundo Cotrim (2009, p. 24), são:

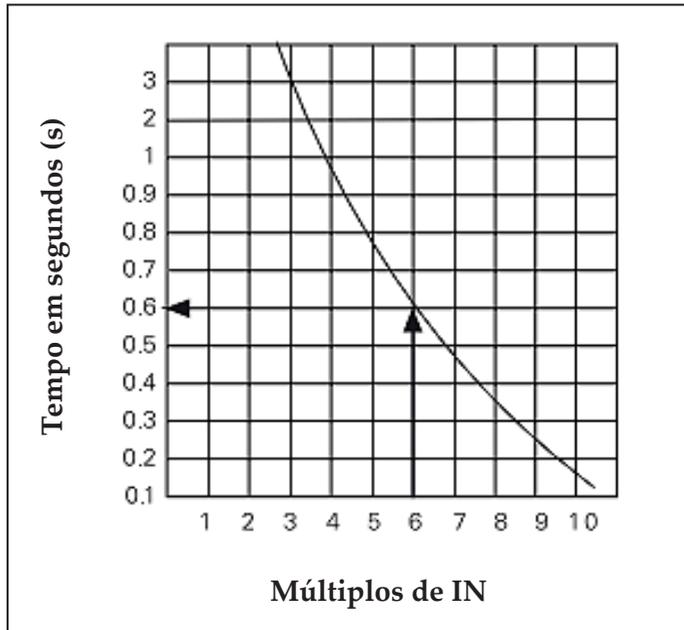
- Promovem a proteção elétrica de um circuito, por meio da detecção de sobrecorrentes e abertura do circuito;
- Permitem comandar, por meio da abertura ou fechamento voluntário, sob carga, circuitos ou equipamentos;
- Promovem o seccionamento de um circuito, na medida em que, ao abrir um circuito, asseguram uma distância de isolamento adequada.

2.3.5 Curvas de tempo - corrente

As curvas de tempo *versus* corrente, semelhantes à demonstrada a seguir, são utilizadas para fornecer o tempo gasto pelo dispositivo para operar, ou seja, interromper o circuito, em função da corrente que o percorre. Na Figura 92, uma curva tempo-corrente típica de um dispositivo de proteção de sobrecorrente.

Os números na parte inferior (eixo horizontal x) representam múltiplos da corrente contínua (I_n) para o disjuntor. Os números ao longo do lado esquerdo (eixo vertical y) representam o tempo em segundos. Neste eixo temos os valores do tempo de atuação do disjuntor em função do valor da corrente que passa pelo disjuntor.

FIGURA 92 - CURVA TEMPO-CORRENTE TÍPICA DE UM DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE



FONTE: Disponível em: <<http://electrical-engineering-portal.com/res/Siemens-Basics-of-Circuit-breakers.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2016

Para determinar quanto tempo um disjuntor vai demorar em interromper o circuito, primeiro encontramos o múltiplo na parte inferior do gráfico e desenhamos uma linha vertical para o ponto onde se cruza a curva. Em seguida, desenhe uma linha horizontal para o lado esquerdo do gráfico e encontre o tempo que o disjuntor vai levar para interromper o circuito. Por exemplo, nesta ilustração para uma corrente com valor igual a 6 (seis) vezes a corrente nominal (IN) do disjuntor, este se desligará em 0,6 segundos. Note que quanto maior for a corrente, menor será o tempo em que o disjuntor irá permanecer fechado.

2.4 FUSÍVEIS

O curto-circuito é o contato direto acidental entre os condutores de uma rede elétrica. Pode ser entre fases ou entre fase e neutro. Pode ocorrer devido a algum problema na própria rede ou no interior de alguma máquina ou equipamento. A corrente atinge valores elevados, limitada apenas pela resistência ôhmica dos condutores ou capacidade da fonte geradora. Sem uma proteção adequada, danos graves ocorrerão e o risco de incêndio é grande.

O fusível é um dispositivo de proteção simples e econômico e, por isso, amplamente utilizado. Nada mais é que um pequeno trecho condutor de um material de baixo ponto de fusão. O aquecimento provocado por uma corrente elevada funde o elemento, abrindo o circuito (LENZ, 2009, p. 8).

2.4.1 Definição e princípio de operação dos fusíveis

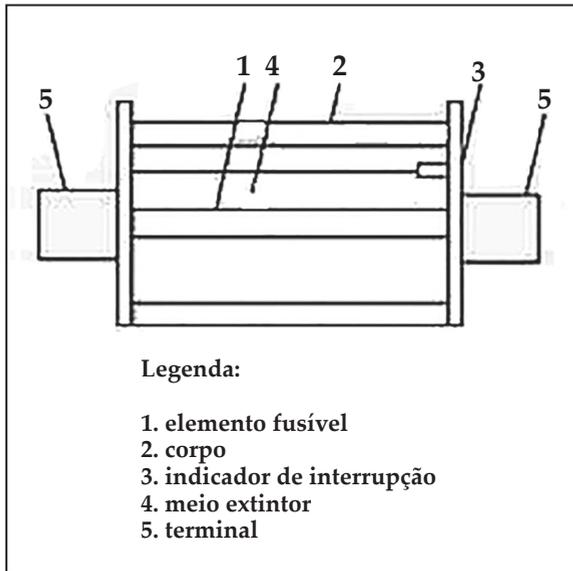
De acordo com Cotrim (2009), os fusíveis são os elementos mais tradicionais para proteção contra curto-circuito de sistemas elétricos.

Sua operação é baseada na fusão do “elemento fusível”, contido no seu interior. O “elemento fusível” é um condutor de pequena seção transversal, que sofre, devido à sua alta resistência, um aquecimento maior que o dos outros condutores, à passagem da corrente. O “elemento fusível” é um fio ou uma lâmina, geralmente, prata, estanho, chumbo ou liga, colocado no interior de um corpo, em geral de porcelana, hermeticamente fechado.

Possuem um indicador que permite verificar se operou ou não, sendo ele um fio ligado em paralelo com o elemento fusível e que libera uma mola que atua sobre uma plaqueta ou botão, ou mesmo um parafuso, preso na tampa do corpo. Os fusíveis contêm em seu interior, envolvendo por completo o elemento, material granulado extintor; para isso utiliza-se, em geral, areia de quartzo de granulometria conveniente (COTRIM, 2009, p. 197).

A figura a seguir mostra a composição de um fusível (no caso mais geral).

FIGURA 93 – COMPOSIÇÃO DE UM FUSÍVEL

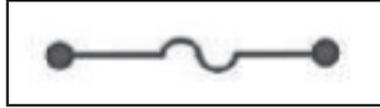


FONTE: Cotrim (2009)

2.4.2 Simbologia

- Os pequenos fusíveis usados em circuitos eletrônicos são geralmente simbolizados (Figura 94) por:

FIGURA 94 – SIMBOLOGIA DOS FUSÍVEIS USADOS EM CIRCUITOS ELETRÔNICOS



FONTE: Peixoto (2000)

- Em instalações elétricas é comum o símbolo (Figura 95):

FIGURA 95 – SIMBOLOGIA DOS FUSÍVEIS USADOS EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS



FONTE: Peixoto (2000)

2.4.3 Composição

Os fusíveis são constituídos geralmente por ligas, formadas por materiais como chumbo, estanho, cádmio, bismuto e mercúrio. Estas ligas apresentam baixo ponto de fusão, de 60° C a 200° C. Esse baixo ponto de fusão é justificado pelo princípio de funcionamento do fusível, uma vez que o mesmo se funde, e interrompe a corrente.

A Tabela 10 apresenta as principais ligas utilizadas em fusíveis e suas respectivas temperaturas de fusão.

TABELA 10 – TEMPERATURA DE FUSÃO DAS PRINCIPAIS LIGAS FUSÍVEIS

Pb (chumbo)	Sn (estanho)	Bi (bismuto)	Cd (cádmio)	Hg (mercúrio)	Ponto de fusão (°C)
67%	33 %	-	-	-	200
38%	62%	-	-	-	183
50%	-	50%	-	-	160
32%	50%	-	18%	-	145
27%	13%	50%	10%	-	72
20%	-	20%	-	60%	20

FONTE: Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/piazza/materiais/AntonJunior.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2016.

2.4.4 Classificação dos fusíveis

Os fusíveis são classificados de acordo com a tensão de alimentação: alta ou baixa tensão; e segundo as características de desligamento em: efeito rápido ou retardado.

Os fusíveis de efeito rápido são empregados em circuitos onde não há variação considerável de corrente entre a fase de partida e a fase de regime normal de funcionamento. Esses fusíveis são ideais para a proteção de circuitos com semicondutores, como diodos e tiristores (SENAI-SP, 2005, p. 5).

Os fusíveis de efeito retardado são apropriados para uso em circuitos cuja corrente de partida atinge valores muitas vezes superiores ao valor da corrente nominal e em circuitos que estejam sujeitos a sobrecargas de curta duração (SENAI-SP, 2005, p. 6).

2.4.5 Tipos de fusíveis

Fusível tipo Rolha

“É um fusível de baixa tensão em que um dos contatos é uma peça roscada, que se fixa no contato roscado correspondente à base” (NISKIER, 2005, p. 151).

O fusível tipo rolha é o mais comum nas instalações domiciliares. É fabricado para correntes que variam de 6 a 30 ampères. A tensão máxima de trabalho é de 250 volts.

Na Figura 96 é apresentado um esquema do fusível tipo rolha.

FIGURA 96 – FUSÍVEL TIPO ROLHA



FONTE: Disponível em: <<http://www.Google.com.br/imgres?q=fusiveis>>. Acesso em: 25 maio 2016.

Fusível Tipo D

“O fusível do tipo D é um limitador de corrente, de baixa tensão, cujo tempo de interrupção é muito curto. Estes fusíveis são usados na proteção de condutores de rede de energia elétrica e circuitos de comando. São empregados em correntes de 2 a 100 A (NISKIER, 2005, p. 152).

Fusível Tipo NH

Este tipo de fusível é um limitador de corrente de alta capacidade de interrupção, para correntes nominais de 6 a 1.000 A em aplicações industriais. Protegem os circuitos contra curtos-circuitos e também contra sobrecargas de curta duração, como acontece em motores de indução com rotor em gaiola (NISKIER, 2005, p. 155).

Segundo Franchi (2008, p. 122), o termo NH é de origem alemã, e as letras representam:

- N: *Niederspannung* – baixa tensão;
- H: *Hochleistung* – alta capacidade.

A Tabela 11 apresenta os códigos e capacidades de interrupção de corrente dos fusíveis NH.

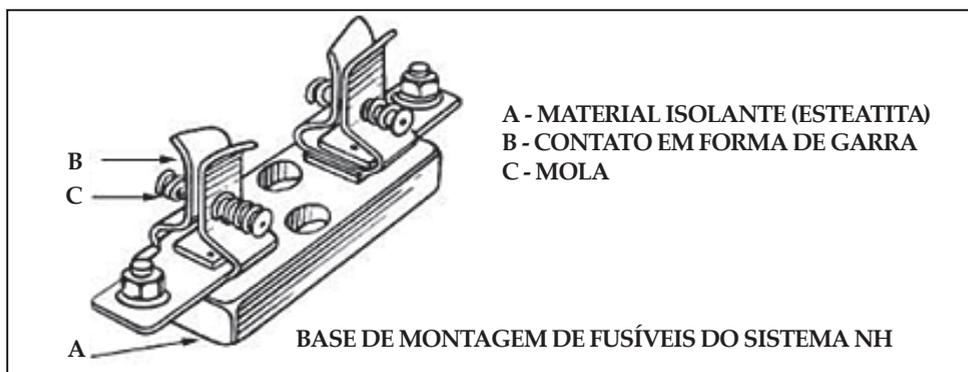
TABELA 11 – CÓDIGOS E CAPACIDADES DE INTERRUPTÃO DE CORRENTE DOS FUSÍVEIS NH

Código do fusível	Capacidade de interrupção (A)
NH 00	4 a 160 A
NH 1	50 a 250 A
NH 2	125 a 400 A
NH 3	315 a 630 A

FONTE: Franchi (2008, p. 122)

“Os fusíveis NH são constituídos por duas partes: base e fusível. A base é fabricada de material isolante e nela são fixados os contatos em forma de garras às quais estão acopladas molas que aumentam a pressão de contato” (SENAI-SP, 2005, p. 7). A Figura 97 apresenta a base de montagem de um fusível do tipo NH.

FIGURA 97 – BASE DE MONTAGEM DE FUSÍVEIS DO SISTEMA NH

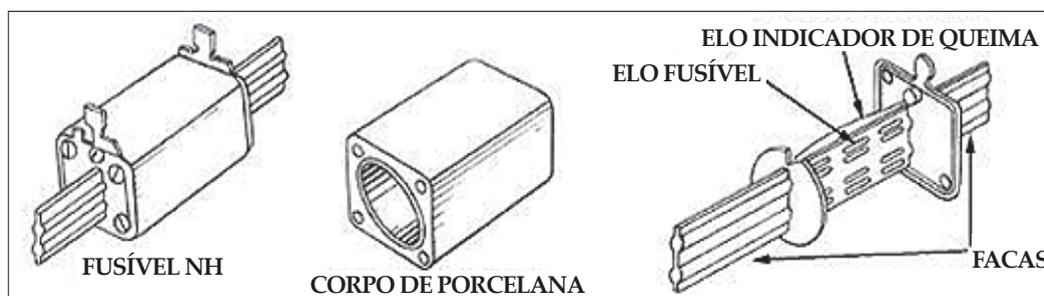


FONTE: SENAI-SP (2005, p. 7)

“O fusível NH possui um corpo de porcelana de seção retangular onde se encontram o elo fusível e o elo indicador de queima imersos em areia especial. Na duas extremidades do corpo de porcelana existem duas facas de metal que se encaixam perfeitamente nas garras da base” (SENAI-SP, 2005, p. 7).

A Figura 98 apresenta os componentes do fusível NH.

FIGURA 98 – COMPONENTES DO FUSÍVEL NH

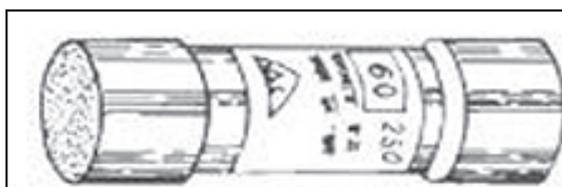


FONTE: SENAI-SP (2005)

Fusível tipo Cartucho

Normalmente utilizado em circuitos de iluminação e força. Tem como capacidade de corrente valores que variam de 10 a 100 ampères e como tensão máxima de trabalho 250 Volts. Veja a seguir uma representação deste tipo de fusível:

FIGURA 99 – FUSÍVEL TIPO CARTUCHO



FONTE: Disponível em: <<http://www.google.com/images/fusiveis>>. Acesso em: 25 maio 2016.

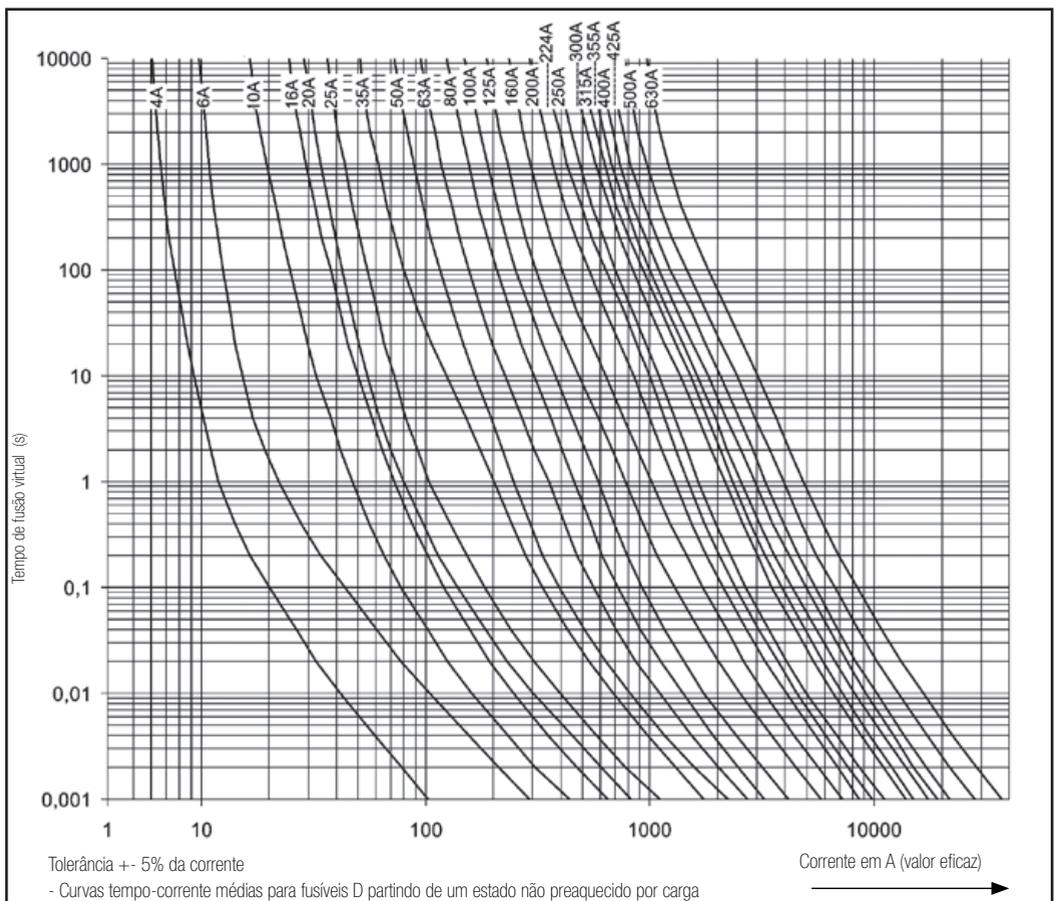
2.4.6 Dimensionamento de fusíveis

A escolha do fusível deve ser feita levando em consideração a corrente nominal da rede, a malha ou o circuito que se pretende proteger. Os circuitos elétricos devem ser dimensionados para uma determinada carga nominal dada pela carga que se pretende ligar. Para dimensionar um fusível é necessário levar em consideração as seguintes grandezas elétricas: corrente nominal do circuito, corrente de curto-circuito e tensão nominal (SENAI-SP, 2005, p. 11).

De acordo com Basotti (2001), para determinar o fusível de um circuito que terá um motor elétrico deve-se conhecer a corrente nominal (I_n) do motor, a corrente de partida (I_p) e o tempo que o motor leva para acelerar totalmente.

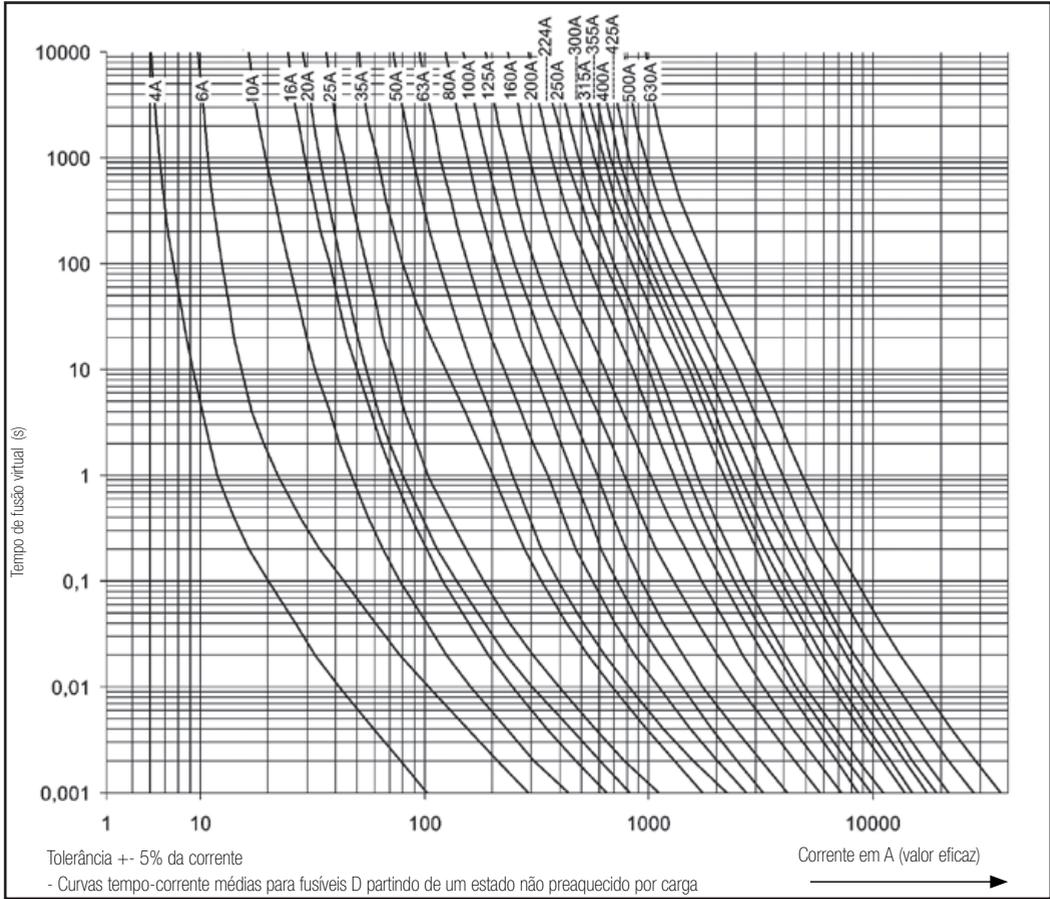
“Com base nisso consulta-se o gráfico tempo *versus* corrente (Figuras 100 e 101), fornecida pelo fabricante de fusíveis” (BASOTTI, 2001, p. 66).

FIGURA 100 – CURVA TEMPO X CORRENTE PARA O FUSÍVEL DO TIPO “D”



FONTE: Catálogo WEG de fusíveis. Disponível em: <http://www.multiluzbh.com.br/weg/weg_cat910brand.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2016.

FIGURA 101 - CURVA TEMPO X CORRENTE PARA O FUSÍVEL DO TIPO "NH"



FONTE: WEG (2016)

De acordo com Franchi (2008, p. 123-124), no dimensionamento dos fusíveis retardados deve-se levar em consideração os seguintes aspectos:

1. Tempo de fusão virtual (exemplo para um motor: tempo e corrente de partida): os fusíveis devem suportar, sem fundir, o pico de corrente de partida (**I_p**) durante o tempo de partida do motor (**T_p**). Com os valores de I_p e T_p entramos na **curva** para dimensionar o fusível.
2. A corrente do fusível (I_f) deve ser no mínimo 20% superior à corrente nominal do motor (I_N).

$$I_f = 1,2 \times I_N$$

1) EXEMPLO DE CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO DE FUSÍVEIS

1 "Dimensionar o fusível para proteger o motor tipo W21 de 5cv, 220V/60Hz de quatro polos, supondo que o seu tempo de partida seja de 5s (partida direta)" (FRANCHI, 2008, p. 124).

Vamos inicialmente consultar um catálogo para motores tipo W21 da WEG motores para retirar os dados referentes à corrente I_N (corrente nominal) e I_p (corrente de partida).

FIGURA 102 - CATÁLOGO MOTORES - W21

Potência	carcaça	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com motor bloqueado Ip/In	Conjugado nominal Cn (kg.fm)	Conjugado com rotor bloqueado Cp/Cn	conjugado máximo Cmáx/Cn	Rendimento (%)			Fator de potência			Fator de serviço F S	Momento de Inércia J (kg.m ²)	Tempo máx. com motor bloqueado (S) a quente	Nível médio de pressão sonora dB (A)	Peso aprox. (kg)	
								-60	-75	-100	60	75	100						
4 Pólos - 60 Hz																			
0,16	0,12	63	1720	0,891	4,5	0,07	3	3,2	47	55	57	0,46	0,55	0,62	1,15	0,0004	31	48	6,9
0,25	0,18	63	1710	1,14	4,5	0,10	2,8	3	55	63	64	0,47	0,57	0,65	1,15	0,00045	18	48	7,4
0,33	0,25	63	1710	1,44	4,5	0,14	2,9	2,9	59	64	67	0,48	0,59	0,68	1,15	0,00068	20	48	7,9
0,5	0,37	71	1700	2,04	4,3	0,21	2,3	2,5	58	65	70	0,45	0,58	0,68	1,15	0,00079	9	47	10,4
0,75	0,55	71	1680	2,78	4,8	0,32	2,5	2,5	65	69	72	0,49	0,62	0,72	1,15	0,00096	9	47	10,6
1	0,75	80	1720	3,02	7,2	0,42	2,5	2,9	75,3	79	79,5	0,62	0,74	0,82	1,15	0,00294	8	48	14,5
1,5	1,1	80	1720	4,43	7,8	0,62	2,9	3,2	76	79	79,5	0,6	0,73	0,82	1,15	0,00328	5	48	13,8
2	1,5	90S	1740	6,07	6,4	0,82	2,5	3	81	83,1	83,1	0,6	0,72	0,78	1,15	0,00056	7	51	19,7
3	2,2	90L	1725	8,68	6,8	1,25	2,6	2,8	83,1	84	83,1	0,64	0,75	0,8	1,15	0,00672	6	51	22,9
4	3	100L	1725	11,7	7,5	1,66	2,6	2,8	82,5	84,1	84,1	0,61	0,73	0,8	1,15	0,00918	7	54	30,0
5	3,7	100L	1715	14	7,2	2,09	2,9	3,1	85,1	85,5	85,5	0,63	0,75	0,81	1,15	0,00995	7	54	33,2
6	4,5	112M	1745	16,7	7,4	2,45	2,2	2,8	86	86,5	86,2	0,66	0,77	0,82	1,15	0,01741	15	58	41,6
7,5	5,5	112M	1740	20	7,0	3,09	2,2	2,8	86,6	88	88	0,63	0,74	0,82	1,15	0,01741	15	58	44,8
10	7,5	132S	1760	26,6	8,0	4,07	2,2	3	87	88	89	0,66	0,77	0,83	1,15	0,04652	7	61	61,5
12,5	9,2	132S	1755	33,3	8,7	5,10	2,5	2,9	86,3	87,8	88,5	0,62	0,73	0,82	1,15	0,05427	7	61	72,0
12,5	9,2	132M	1755	33,3	8,7	5,10	2,5	2,9	87	88,2	88,5	0,62	0,73	0,82	1,15	0,05427	7	61	66,1
15	11	132M	1755	39,3	8,3	6,12	2,3	2,8	87	88,6	88,6	0,68	0,8	0,83	1,15	0,05815	7	61	71,4
20	15	160M	1760	52,6	6,3	8,14	2,3	2,2	89,5	90,2	90,2	0,69	0,79	0,83	1,15	0,09535	13	69	115,1
25	18,5	160L	1755	64,3	6,3	10,20	2,3	2,4	90	91	91	0,7	0,79	0,83	1,15	0,11542	15	69	129,7
30	22	180M	1765	75,4	7,5	12,17	2,8	2,8	90,2	91	91,1	0,7	0,8	0,84	1,15	0,16145	12	68	158,3
40	30	200M	1770	101	6,6	16,18	2,3	2,5	91	91,6	91,8	0,72	0,82	0,85	1,15	0,27579	19	71	210,5
50	37	200L	1770	122	6,6	20,23	2,3	2,3	92	92,3	92,5	0,75	0,83	0,86	1,15	0,33095	16	71	236,2
60	45	225S/M	1780	146	7,2	24,13	2,6	3	91,5	93	93,1	0,75	0,83	0,87	1,00	0,64738	20	75	353,4

FONTE: WEG (2016)



Para retirar os dados do catálogo, procure o tipo de motor (que neste caso foi dado como W21) e a potência dada para este tipo de motor (5 cv). Está destacado no catálogo.

Observando o catálogo WEG de motores tipo W21, vamos obter os dados de corrente nominal (I_N) e I_p/I_N (corrente nominal/corrente de partida).

$$I_N = 14A$$

Como não temos no catálogo o dado direto de corrente de partida, vamos utilizar o valor dado de I_p/I_N .

O valor de $I_p/I_N = 7,2$.

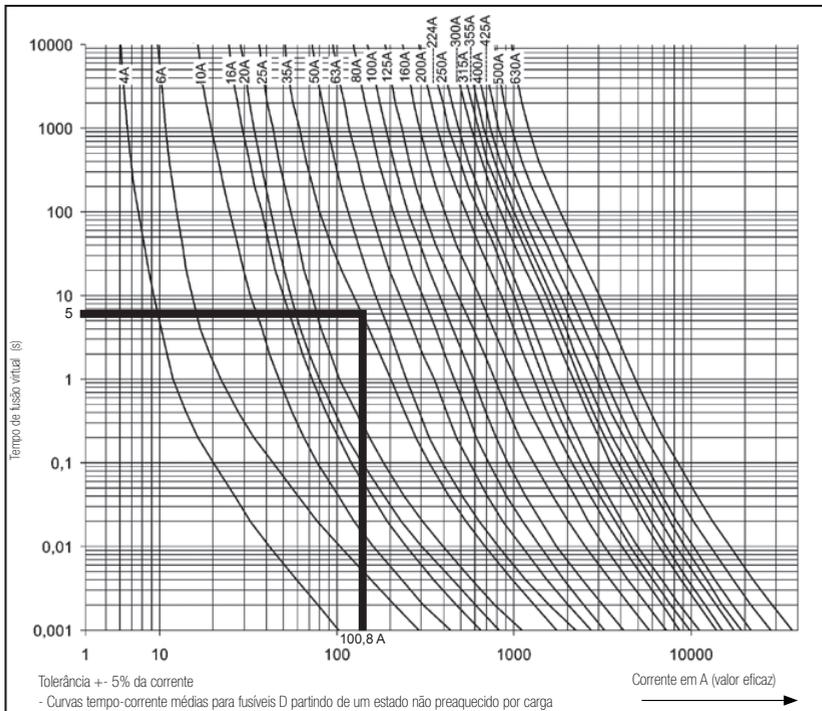
Logo, como o valor de $I_N = 14A$, substituímos na equação $\frac{I_p}{I_N} = 7,2$ e obtemos o valor de I_p .

$$\frac{I_p}{14} = 7,2$$

Portanto, $I_p = 100,8A$

a) Com o valor de I_p (100,8 A) e tempo de partida do motor de (5s), tanto na curva do fusível D ou NH, o fusível será de 35 A (observe no gráfico a seguir como foram obtidos os dados do dimensionamento do fusível para este motor).

FIGURA 103 - CURVA TEMPO VERSUS CORRENTE PARA FUSÍVEIS NH



FONTE: Automação. Fusíveis D e NH. Catálogo WEG de fusíveis. Disponível em: <http://www.multiluzbh.com.br/weg/weg_cat910brand.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2016.

b) Utilizando o segundo critério, que diz que $I_f \geq 1,2 \times I_N$; Logo, com o valor de $I_N = 14 \text{ A}$;

$$I_f \geq 1,2 \times 14 \text{ A}$$

$$I_f = 16,8 \text{ A}$$

(Assim o fusível de 35A **TAMBÉM** atende a este critério).

2) EXEMPLO DE CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO DE FUSÍVEIS

“Para um motor trifásico com corrente nominal de $I_N = 10 \text{ A}$; com $I_p/I_N = 7,1$; tempo de partida = 5s - determine a corrente de partida e o fusível que suporta este valor por 5 s. Utilize a curva abaixo para dimensionar o fusível” (FRANCHI, 2008, p. 124)

Para determinar a corrente de partida vamos utilizar a seguinte relação dada:

$$\frac{I_p}{I_N} = 7,1$$

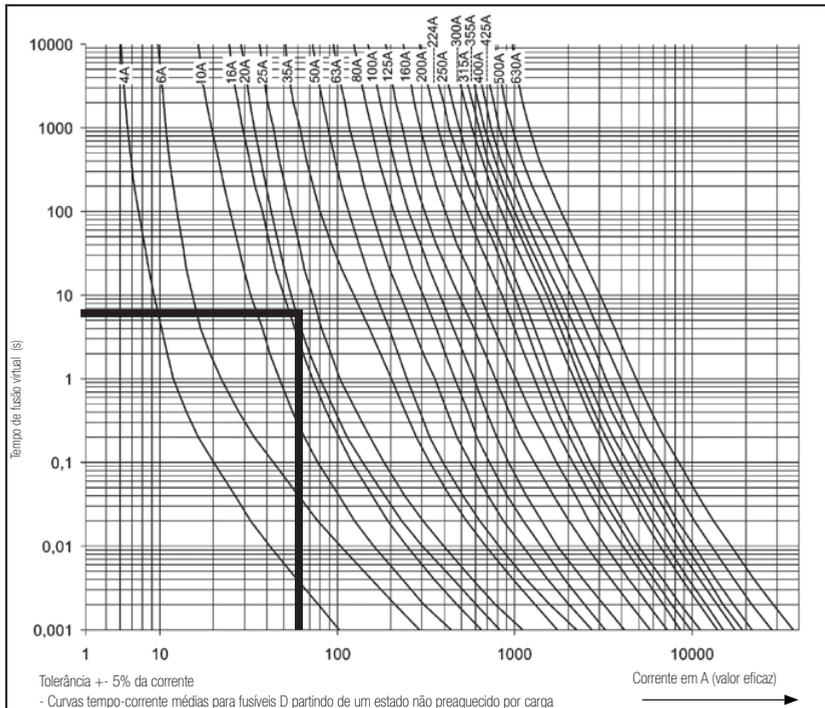
Portanto, a corrente de partida será:

$$I_p = 7,1 \times I_N$$

$$I_p = 7,1 \times 10 = 71 \text{ A}$$

Com este valor de corrente nominal e tempo de partida do motor de 5s, vamos determinar que tipo de fusível suporta este valor de corrente de partida.

FIGURA 104 - CURVAS TEMPO-CORRENTE PARA FUSÍVEIS NH



FONTE: Automação. Fusíveis D e NH. Catálogo WEG de fusíveis. Disponível em: <http://www.multiluzbh.com.br/weg/weg_cat910brand.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2016.

O fusível que suporta este valor por 5 s é o de 20 A.

Utilizando o segundo critério que diz que $I_f \geq 1,2 \times I_N$; Tendo o valor de $I_N = 10 A$;

$$I_f \geq 1,2 \times 10 A$$

$$I_f = 12 A$$

(Assim o fusível de 20 A **TAMBÉM** atende a este critério).



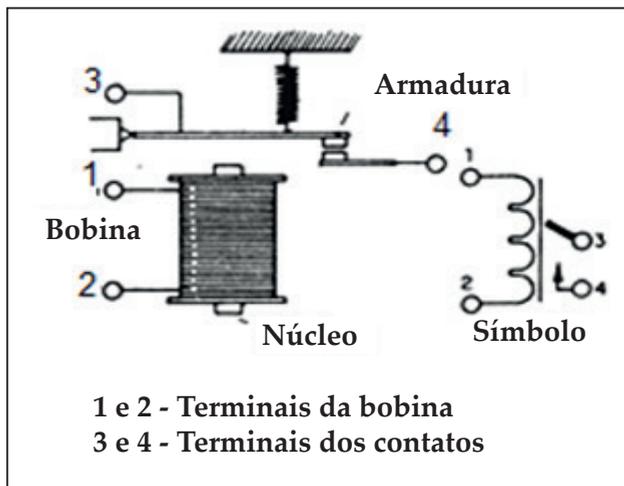
Caro acadêmico, se você está tendo dificuldades de visualizar com clareza estas curvas, consulte os catálogos da WEG para fusíveis, ou, no final desta unidade, as referências citadas no texto.

2.5 RELÉS

“Relé é um dispositivo de comando, ou seja, é empregado na partida de motores, no processamento de solda de ponto, no comando de laminadoras e prensas e no controle de iluminação de edifícios” (SENAI-SP, 2005, p. 13). São dispositivos projetados com a característica de proteger os equipamentos contra a sobrecarga (aumento da intensidade da corrente elétrica de forma gradual).

“Os relés são associados eletricamente aos disjuntores ou contadores, provocando sua abertura quando detectada alguma condição anormal (sobrecorrente, subtensão, desequilíbrios etc.)” (COTRIM, 2009, p. 192). A estrutura simplificada de um relé é mostrada na Figura 105.

FIGURA 105 – ESTRUTURA SIMPLIFICADA DE UM RELÉ



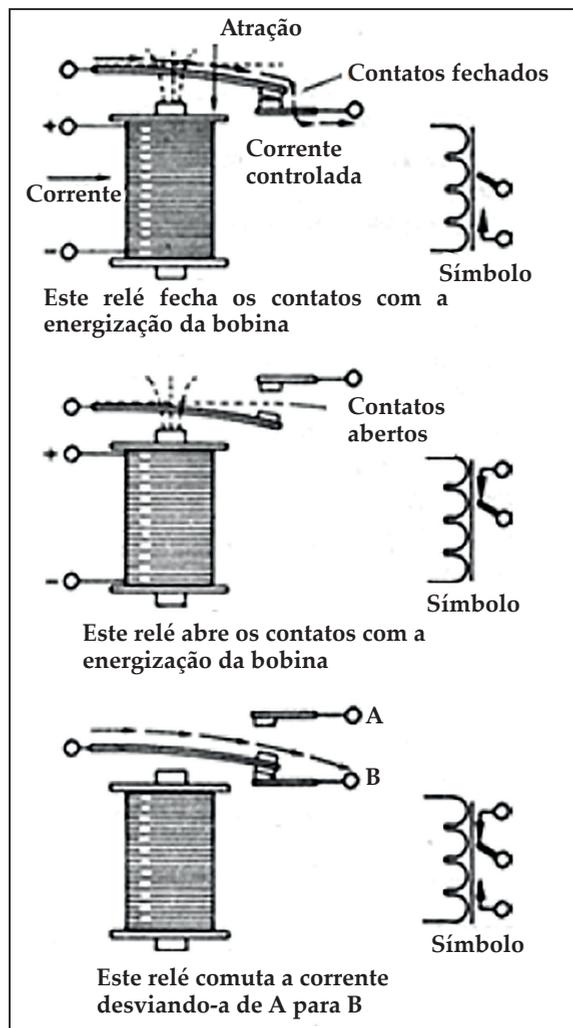
FONTE: Ferreira (2015)

Diferentemente dos fusíveis, que atuam uma única vez (queima do filamento), os relés abrem os circuitos em presença de sobrecarga, por exemplo, e continuam a ser usados depois de sanada a irregularidade (SENAI-SP, 2005).

2.5.1 Princípio de funcionamento

Nas proximidades de um eletroímã é instalada uma armadura móvel que tem por finalidade abrir ou fechar um jogo de contatos (ver figura a seguir). Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético que atua sobre a armadura (ver Figura 103), atraindo-a. Nesta atração ocorre um movimento que ativa os contatos, os quais podem ser abertos, fechados ou comutados, dependendo de sua posição (FERREIRA, 2015). A Figura 106 ilustra o princípio de funcionamento de um relé.

FIGURA 106 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM RELÉ



FONTE: Ferreira (2015)

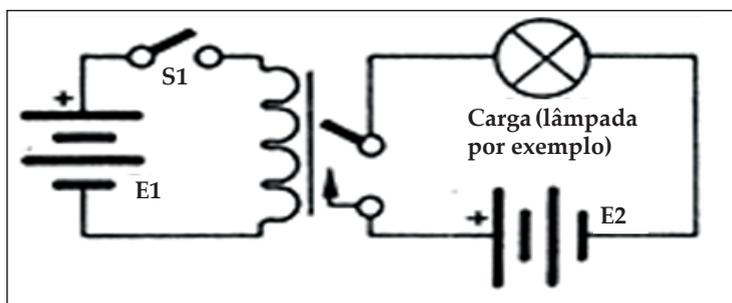
Isso significa dizer que, através de uma corrente de controle aplicada à bobina de um relé, podemos abrir, fechar ou comutar os contatos de uma determinada forma, controlando assim as correntes que circulam por circuitos externos. Quando a corrente deixa de circular pela bobina do relé o campo magnético criado desaparece, e com isso a armadura volta à sua posição inicial pela ação da mola. Os relés se dizem energizados quando estão sendo percorridos por uma corrente em sua bobina capaz de ativar seus contatos, e se dizem desenergizados quando não há corrente circulando por sua bobina (FERREIRA, 2015, p. 2).

2.5.2 Aplicações

Um relé é um dispositivo eletromecânico que é acionado por uma corrente elétrica. A corrente que flui em um circuito faz com que ocorra a abertura ou fechamento de outro circuito.

A aplicação mais imediata de um relé com contato simples é no controle de um circuito externo ligando ou desligando-o, conforme mostra a Figura 107. Observe o símbolo usado para representar este componente (FERREIRA, 2015).

FIGURA 107 – APLICAÇÃO DE UM RELÉ COM CONTATO SIMPLES



FONTE: Ferreira (2015)

Conforme Ferreira (2015), quando a chave S1 for ligada, a corrente gerada pelo gerador E1 pode circular pela bobina do relé, energizando-o. Com isso, os contatos do relé fecham, permitindo que a corrente do gerador E2 circule pela carga, ou seja, o circuito controlado que pode ser uma lâmpada. Para desligar a carga basta interromper a corrente elétrica que circula pela bobina do relé, abrindo S1.

Relés são usados devido à sua relativa simplicidade, vida longa e alta confiabilidade comprovada. Os relés são utilizados numa grande variedade de aplicações em toda a indústria, tais como sistemas de automação.

Relés altamente sofisticados são utilizados para proteger os sistemas de energia elétrica contra apagões, bem como para regular e controlar a geração e distribuição de energia.

2.5.3 Classificação dos relés

Conforme CST Arcelor Brasil (2005, p. 9), “há uma grande variedade de relés e eles podem ter diversos tipos de construção, muitos contatos e apresentar

características próprias, sendo indicados para aplicações bem determinadas”. Na prática os relés podem ser classificados quanto:

- a. Grandezas físicas de atuação: elétricas, mecânicas, térmicas, ópticas etc.;
- b. Tipo construtivo: eletromecânicos (indução), mecânicos, eletrônicos, estáticos etc.;
- c. Função: sobrecorrente e subcorrente, tensão ou potência, diferencial, distância etc.;
- d. Posicionamento dos contatos (com circuito desenergizado): normalmente aberto (NA) ou fechado (NF);
- e. Tipo de fonte para atuação do elemento de controle: corrente alternada ou contínua;
- f. Aplicação: Máquinas rotativas (motores, geradores); Máquinas estáticas (transformadores); Linhas aéreas ou subterrâneas; Aparelhos em geral (CST, 2005, p. 9).

2.5.4 Relé de tempo

DEFINIÇÃO

Os relés de tempo ou temporizadores são dispositivos eletrônicos que permitem, em função de tempos ajustados, comutar um sinal de saída de acordo com a sua função. Muito utilizados em automação de máquinas e processos industriais como partidas de motores, quadros de comando, fornos industriais, injetoras, entre outros. Possui eletrônica digital que proporciona elevada precisão, repetibilidade e imunidade a ruídos (SOUZA, 2009, p. 15).



O significado de comutar é trocar, substituir ou permutar. FONTE: Disponível em: <<http://www.dicio.com.br/comutar>>. Acesso em: 25 maio 2016.

2.5.5 Os relés na prática

De acordo com Braga (2012, p. 25):

a escolha de um relé para uma aplicação prática vai ser determinada pelas suas características. Assim, o profissional que projeta circuitos que utilizem relés deve conhecer e saber interpretar corretamente as características fornecidas pelo fabricante e, desta forma, fazer a escolha do tipo ideal. As armaduras dos relés devem ser fabricadas com materiais que possuam propriedades ferromagnéticas, ou seja, que podem ser atraídas por campos magnéticos e montadas sobre um sistema de articulação que permita sua movimentação fácil, e retorno à posição inicial quando o campo desaparece.

A corrente máxima que os relés podem controlar depende da maneira como são construídos os contatos. Além disso, existe o problema do faiscamento, que ocorre durante a abertura e fechamento dos contatos de relé, principalmente no controle de determinado tipo de carga (indutivas).

Já Ferreira (2015, p. 5) define como:

- O material usado deve então ser resistente, apresentar boa capacidade de condução de corrente e, além disso, ter um formato próprio, dependendo da aplicação a que se destina o relé.
- Dentre os materiais usados para a fabricação dos contatos podemos citar o cobre, a prata e o tungstênio. A prata evita a ação de queima provocada pelas faíscas, enquanto os contatos de tungstênio evitam a oxidação.

“O número de contatos e sua disposição vão depender das aplicações a que se destinam os relés” (BRAGA, 2012, p. 26)

2.6 INTERRUPTOR DE FUGA OU INTERRUPTOR DIFERENCIAL - DRs

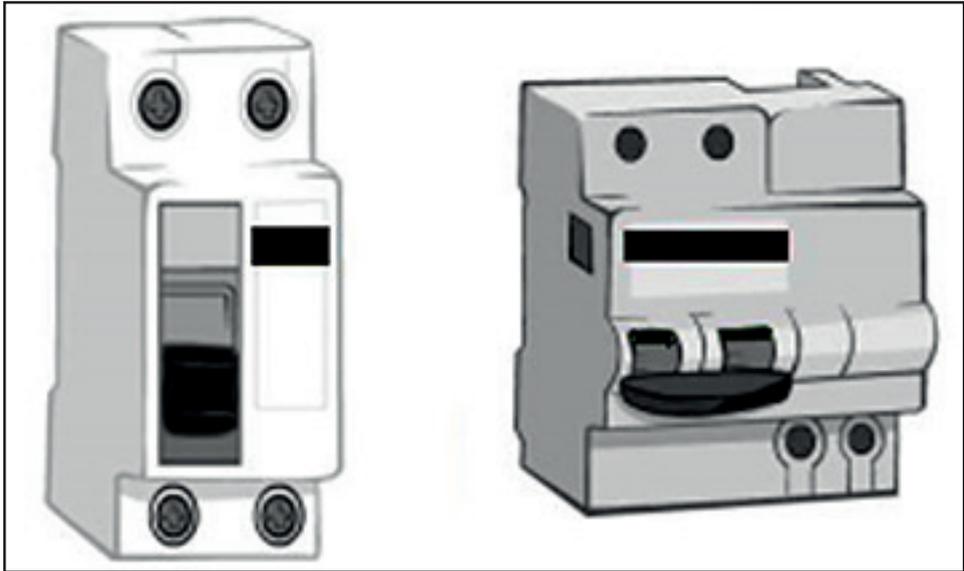
pesquisas indicam que uma parcela significativa dos acidentes domésticos é provocada por descuidos com a rede elétrica. A alternativa para minimizar este tipo de acidente são os interruptores Diferenciais Residuais, conhecidos como DRs. Estes equipamentos são dispositivos que, quando instalados junto com minidisjuntores nos quadros de energia, detectam as correntes de fuga que possam eventualmente existir nos circuitos de sua casa. Sua função é desativar o fornecimento de energia em determinado ponto da residência no momento de uma fuga de corrente elétrica, protegendo as pessoas contra choques elétricos (Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-minidisjuntores-mdw-disjuntores-em-caixa-moldada-predial-dwp-interruptores-rdw-e-dispositivos-spw-50009824-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2016.).

2.6.1 Definição

De acordo com a norma NBR 5410, desde dezembro de 1997 é obrigatório, em todas as instalações elétricas de baixa tensão no Brasil, o uso do chamado dispositivo DR nos circuitos elétricos que atendam aos seguintes locais: banheiros, cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço e áreas externas. O dispositivo DR é um interruptor de corrente de fuga automático que desliga o circuito elétrico caso haja uma fuga de corrente que coloque em risco a vida de pessoas e animais domésticos e a instalação elétrica. Isso garante a segurança contra choques elétricos e incêndios (Disponível em: <<https://www.ensinonacional.com.br/to/curso/curso-eletricidade/p9.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2016.).

Conforme Bolsoni (2006, p. 17), “um interruptor de fuga, também chamado **interruptor diferencial**, é na realidade um disjuntor. Mas não se destina à proteção contra curtos ou sobrecargas e sim contra falhas na isolação de aparelhos”. A Figura 108 representa os interruptores de fuga.

FIGURA 108 – REPRESENTAÇÃO DOS INTERRUPTORES DE FUGA



FONTE: Cotrim (2009)

2.6.2 Princípio de funcionamento

O interruptor DR mede a soma das correntes que percorrem os condutores de um circuito. Se o circuito elétrico estiver funcionando sem problemas, a soma das correntes nos seus condutores é praticamente nula. Ocorrendo falha de isolamento em um equipamento alimentado por esse circuito, surgirá uma corrente de falta à terra. Quando isto ocorre, a soma das correntes nos condutores monitorados pelo DR não é mais nula e o dispositivo detecta justamente essa diferença de corrente. Da mesma forma, se alguma pessoa vier a tocar uma parte viva do circuito protegido, a corrente irá circular pelo corpo da pessoa, provocando igualmente um desequilíbrio na soma das correntes. Este desequilíbrio será também detectado pelo DR tal como se fosse uma corrente de falta à terra (Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-servicos/Controls/Protecao-de-Circuitos-Eletricos/Interruptores-Diferenciais-Residuais-DRs-RDW>>. Acesso em: 25 maio 2016.).

2.6.3 Componentes de um interruptor de fuga

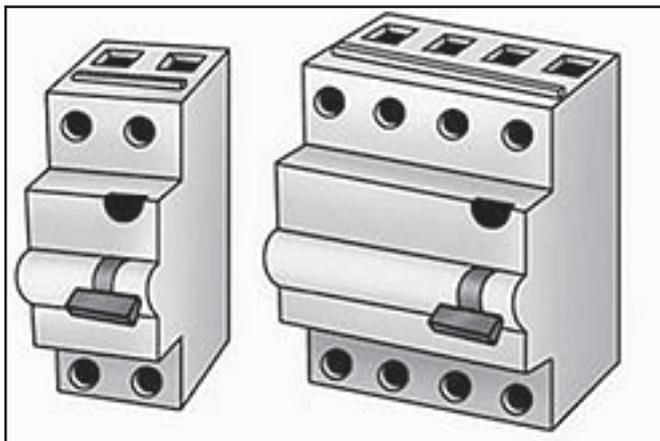
“O interruptor de corrente de fuga possui um transformador de corrente, um disparador e um mecanismo liga-desliga. Ele funciona comparando a corrente de entrada com a de saída. Essa diferença é chamada de “Corrente Diferencial Residual” (IDR) (Apostila SENAI/SP).

2.6.4 Tipos construtivos

Conforme Cotrim (2009), os tipos construtivos de interruptores existentes no mercado podem ser agrupados:

- Interruptores diferenciais-residuais, para uso em painéis (Figura 109).

FIGURA 109 - INTERRUPTORES DIFERENCIAIS-RESIDUAIS PARA USO EM PAINÉIS



FONTE: Cotrim (2009)

- Interruptores diferenciais-residuais para uso móvel ou incorporado em cordões de ligação de equipamentos (Figura 110).

FIGURA 110 - INTERRUPTORES DIFERENCIAIS-RESIDUAIS PARA USO MÓVEL OU INCORPORADO EM CORDÕES DE LIGAÇÃO DE EQUIPAMENTOS



FONTE: Cotrim (2009)

- Tomadas com interruptor diferencial-residual incorporado para uso em caixas de ligação instaladas em paredes ou tipo condutele (Figura 111).

FIGURA 111 – TOMADAS COM INTERRUPTOR DIFERENCIAL-RESIDUAL



FONTE: Cotrim (2009)

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu que:

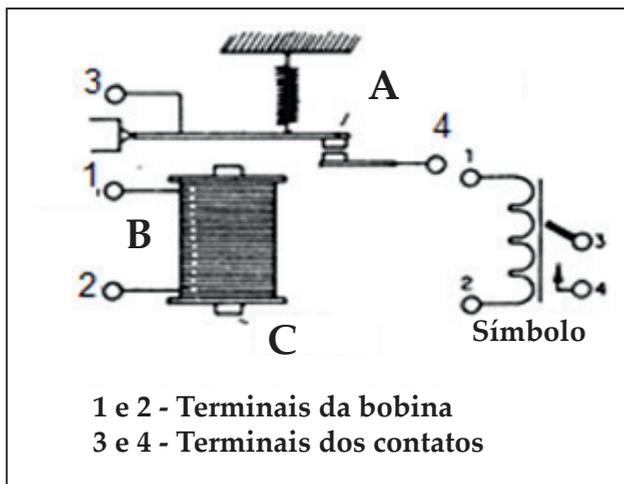
- O disjuntor é um interruptor de desarme automático quando o mesmo identifica um curto-circuito ou uma sobrecarga.
- Os disjuntores são conhecidos também como “chaves” para ligar ou desligar o padrão de energia, ou mesmo as chaves de segurança dentro dos painéis e quadros de distribuição.
- Os disjuntores podem ser classificados em função de: sua tensão de trabalho, tipo de execução, meio isolante, localização da instalação, mecanismo de operação e em relação ao princípio de extinção do arco elétrico.
- A principal função do disjuntor é ser um componente para proteção e segurança.
- O fusível é um dispositivo de proteção simples e econômico.
- Fusíveis são dispositivos que conectados ao circuito elétrico têm como função principal a proteção do circuito contra as sobrecargas da corrente elétrica.
- Os relés de tempo ou temporizadores são dispositivos eletrônicos que permitem comutar um sinal de saída de acordo com a sua função.
- Os relés de tempo são utilizados em automação de máquinas e processos industriais como partidas de motores, quadros de comando, fornos industriais, injetoras, entre outros.
- Interruptores Diferenciais Residuais, conhecidos como DRs, são dispositivos que, quando instalados nos quadros de energia, detectam as correntes de fuga que possam eventualmente existir nos circuitos de sua casa.
- Sua função é desativar o fornecimento de energia em determinado ponto da residência no momento de uma fuga de corrente elétrica, protegendo as pessoas contra choques elétricos.
- O interruptor de fuga não é destinado à proteção contra curtos ou sobrecargas e sim contra falhas na isolação de aparelhos.

- O interruptor de corrente de fuga possui um transformador de corrente, um disparador e um mecanismo liga-desliga. Ele funciona comparando a corrente de entrada com a de saída. Essa diferença é chamada de “Corrente Diferencial Residual”.

AUTOATIVIDADE



- Um aumento no fluxo de corrente ocasiona:
 - Aumento de temperatura.
 - Diminuição de temperatura.
 - O fluxo de corrente não tem influência na temperatura.
- Como podem ser originadas as sobrecorrentes em um circuito?
- O fusível é um dispositivo que protege o circuito elétrico, pois só permite a passagem de corrente elétrica até um determinado valor. Acima desse valor o fusível queima, interrompendo a passagem da corrente. Uma lâmpada *de 100W é fabricada para funcionar em uma rede de tensão 220V*. O fusível, para proteger essa lâmpada, deve permitir passar corrente elétrica até:
 - 0,45 A
 - 2,2 A
 - 6 A
 - 288 mA
- Dimensione de forma completa o fusível para os seguintes motores:
 - Motor trifásico W21 de 1cv, 380V/60Hz, supondo que o seu tempo de partida seja de 1s.
 - Motor trifásico W21 de 10cv, 220V/60Hz, supondo que o seu tempo de partida seja de 5s.
- Dado o esquema de um relé, identifique seus componentes principais:



- 6 Como se classificam os disjuntores?
- 7 O que são fusíveis NH?
- 8 Quais são as funções do disjuntor?
- 9 Quais são os componentes de um interruptor de fuga?
- 10 Cite os principais tipos construtivos de interruptores diferenciais residuais.

SISTEMAS DE ENERGIA ININTERRUPTA: *NOBREAKS*

1 INTRODUÇÃO

Caro acadêmico, como você sabe, com a evolução da tecnologia e, principalmente, da indústria eletroeletrônica, os equipamentos eletrônicos estão presentes em todos ou quase todos os setores da sociedade. Em setores essenciais à sociedade, tais como: telecomunicações, informática, saúde, transporte, financeiro, indústria e energia, há necessidade de que alguns equipamentos operem de modo adequado e ininterrupto, a fim de evitar falhas nos mesmos e possíveis danos aos consumidores (LANGA, 2012).

Muitos consumidores imaginam que os problemas de qualidade da rede elétrica se resumem à falta de energia, talvez porque a ausência de energia elétrica é a única parte do problema que é visível, entretanto, a grande maioria dos problemas são fenômenos não detectáveis a olho nu, mas que estão presentes em todas as redes elétricas (Disponível em: <http://logmaster.com.br/novo/Downloads/Artigo_TOPOLOGIAS_DE_NOBREAK.pdf>. Acesso em: 25 maio 2016.).

Surtos, quedas ou problemas de ruído podem ser corrigidos através do uso de vários tipos de condicionadores de linha; no entanto, interrupções temporárias ou interrupções momentâneas ainda podem ser uma parte importante do problema. A solução é um Sistema de Alimentação Ininterrupta ou, como é conhecido popularmente no Brasil, *NOBREAK*.

2 DEFINIÇÃO

Os sistemas ininterruptos de energia ou, em inglês, *Uninterruptible Power Systems - UPS*, conhecidos popularmente no Brasil como *nobreaks*, são equipamentos que possuem a função de fornecer energia ininterrupta para a carga (computadores, servidores, impressoras etc.).

Têm como função principal o suprimento temporário de energia ao sistema, fazendo isso de forma automática em caso de falha no sistema de transmissão elétrica.

O *nobreak*, além de evitar interrupções no equipamento em caso de uma falha de energia, também protege o equipamento contra descargas estáticas e variações da rede elétrica, prolongando a vida útil do equipamento nele ligado (LANGA, 2012).

Em resumo, o *nobreak* irá proteger todos os tipos de equipamentos eletrônicos sensíveis às faltas de energia não programadas, fornecendo energia ininterrupta e corrigindo a rede elétrica.

2.1 ONDE SÃO UTILIZADOS OS NOBREAKS

De acordo com Gouvêa (2011, p. 18), alguns equipamentos são considerados críticos em suas aplicações e não podem ficar sem alimentação, como:

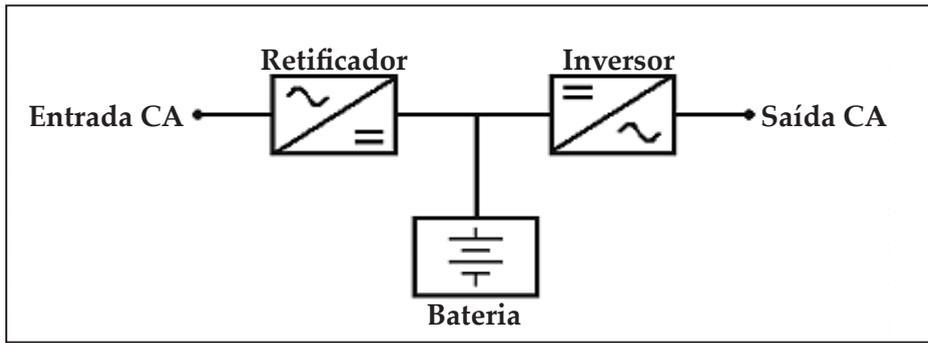
- Computadores de centros de processamento de dados (servidores de internet, *datacenters*);
- Centrais telefônicas de serviços emergenciais (bombeiros, polícia, serviços médico-hospitalares e de resgate);
- Sistemas de proteção de patrimônios (sensores e alarmes, fechaduras elétricas);
- Controladores de processos industriais críticos, que se forem desligados aumentam consideravelmente o risco de acidentes ou de perda de grandes quantidades de matéria-prima, como, por exemplo, processos químicos.

Nestes casos, os *nobreaks* utilizados têm alta capacidade e permitem o funcionamento prolongado das cargas ou então dão tempo suficiente para que grupos geradores sejam ativados e assumam o fornecimento temporário de energia. No caso de usuários residenciais, os *nobreaks* são utilizados em computadores pessoais (*desktops*), a fim de evitar que problemas na rede elétrica impliquem na perda imediata de dados, fornecendo energia por um período suficiente para que o usuário possa interromper suas tarefas e desligar o computador adequadamente (BONAN; GABIATTI; MARTINS, 2011c apud GOUVÊA, 2011).

2.2 DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM NOBREAK

Um *nobreak*, essencialmente, possui os seguintes blocos básicos, apresentados na Figura 112.

FIGURA 112 – DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM NOBREAK



FONTE: Gouvêa (2011)



Conversores CC-CA, normalmente chamados de “inversores de frequência”, têm como principal função converter uma fonte contínua (de tensão ou de corrente - CC) aplicada à sua entrada em uma fonte alternada (de tensão ou de corrente - CA) na saída do conversor (PACHECO, 2012).

- Conversor CA/CC (retificador), responsável por alimentar o *nobreak* e carregar o sistema armazenador de energia;
- Conversor CC/CA (inversor), responsável por alimentar a carga quando é solicitado;
- Armazenador de energia (bateria), que fornece energia ao conversor CC/CA quando há alguma falha da rede elétrica.

RESUMO DO TÓPICO 2

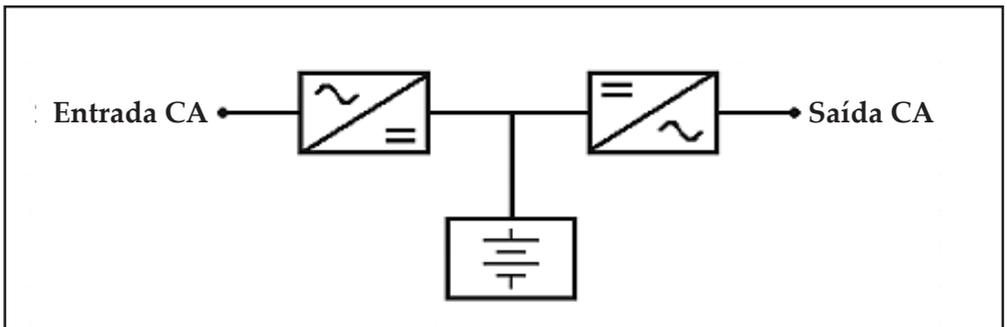
Neste tópico, você aprendeu que:

- Os sistemas ininterruptos de energia, conhecidos popularmente no Brasil como *nobreaks*, são equipamentos que possuem a função de fornecer energia ininterrupta para a carga (computadores, servidores, impressoras etc.).
- A função principal do *nobreak* é o suprimento temporário de energia ao sistema, fazendo isso de forma automática em caso de falha na transmissão elétrica.
- Os *nobreaks* são utilizados em computadores; centrais telefônicas de serviços emergenciais (bombeiros, polícia, serviços médico-hospitalares e de resgate); sistemas de proteção de patrimônios (sensores e alarmes, fechaduras elétricas) etc.
- Os *nobreaks* possuem um conversor CA/CC (retificador), conversor CC/CA (inversor), armazenador de energia (bateria).

AUTOATIVIDADE



- 1 O *nobreak* protege todos os tipos de equipamentos eletrônicos sensíveis à falta de energia não programada, fornecendo energia ininterrupta e corrigindo a rede elétrica. Alguns equipamentos são considerados críticos em suas aplicações e não podem ficar sem alimentação. Cite alguns destes equipamentos.
- 2 Dado o diagrama de blocos de um *nobreak*, identifique os seus principais componentes e suas funções.



SEMICONDUCTORES E DÍODOS

1 INTRODUÇÃO

Os dispositivos eletrônicos, tais como díodos, transístores e circuitos integrados, são feitos de material semicondutor. Para entender como esses dispositivos funcionam, você deve ter um conhecimento básico da estrutura dos átomos e a interação das partículas atômicas. Um conceito importante que será introduzido neste tópico é o da junção PN que é formada quando dois tipos diferentes de material semicondutor são unidos. A junção PN é fundamental para o funcionamento de dispositivos tais como a célula solar, o diodo, e certos tipos de transistores.

2 MATERIAIS SEMICONDUCTORES

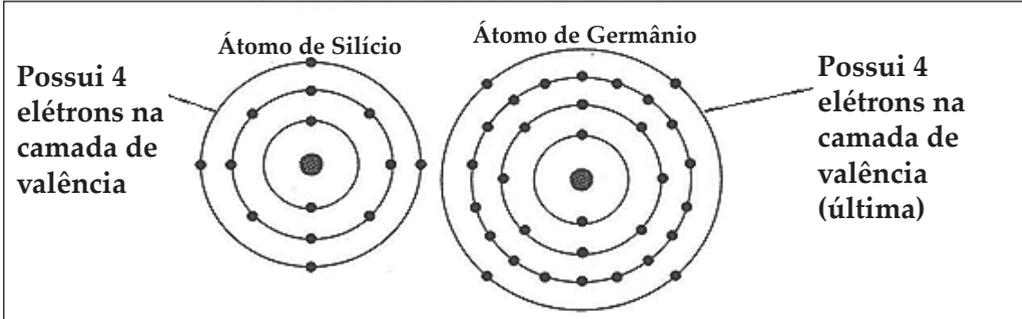
Os semicondutores são sólidos cristalinos que têm uma condutividade elétrica intermediária entre os condutores (tais como o alumínio e cobre) e isolantes (alguns vidros e plásticos). Condutividade elétrica é a capacidade de conduzir cargas elétricas (corrente elétrica) quando submetido a uma diferença de potencial elétrico (tensão elétrica). Resistividade elétrica é a resistência que um material apresenta ao fluxo de uma corrente elétrica, ou seja, é inversamente proporcional à sua condutividade elétrica.



Fique atento! Você poderá relembrar os conceitos de condutividade elétrica e resistividade elétrica consultando a Unidade 1 deste nosso estudo.

Há um grande número de materiais que exibem comportamento semicondutor, mas apenas poucos deles são de grande interesse para a eletrônica. Os principais materiais em uso atualmente são o silício e o germânio. Algumas das qualidades raras do germânio e do silício são devidas às suas estruturas atômicas. Silício e germânio possuem quatro elétrons na última camada (camada de valência). Observe a figura abaixo, a qual representa as estruturas atômicas do silício e do germânio.

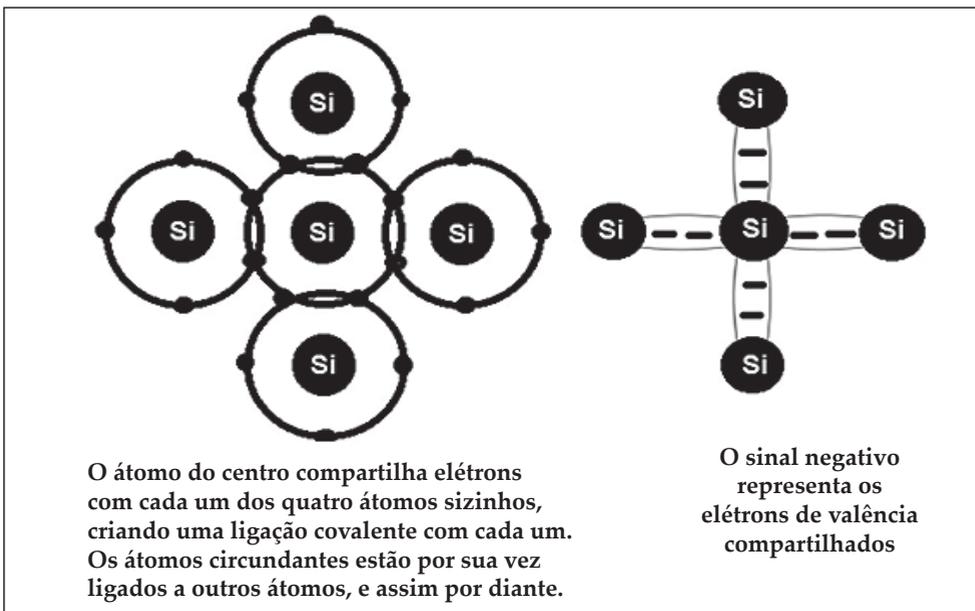
FIGURA 113 – ESTRUTURA ATÔMICA DOS ÁTOMOS DE SILÍCIO E GERMÂNIO



FONTE: Floyd (1992)

Os átomos de ambos os materiais formam um modelo bem definido que se repete por natureza. Quando os átomos de germânio (ou silício) agrupam-se entre si, formam uma estrutura cristalina, ou seja, são substâncias cujos átomos se posicionam no espaço, formando uma estrutura ordenada (ver Figura 114).

FIGURA 114 – LIGAÇÕES COVALENTES DE UM CRISTAL DE SILÍCIO – O CRISTAL REAL É EM 3 DIMENSÕES



FONTE: Floyd (2004)

Nessa estrutura, cada átomo busca sua estabilidade (ficar com oito elétrons na camada de valência), unindo-se a quatro outros átomos vizinhos através de ligações covalentes (observe na figura que o átomo do centro compartilha dois elétrons com seu vizinho), cada um dos quatro elétrons de valência de um átomo é compartilhado com um átomo vizinho, de modo que dois átomos vizinhos compartilham os dois elétrons.

O compartilhamento de elétrons é realizado por ligações covalentes, que são ligações fracas se comparadas à ligação iônica.

Há necessidade de se quebrar ligações entre átomos de semicondutores para obter elétrons livres, mesmo que sejam ligações fracas (covalentes). É uma situação bem menos favorável à circulação de corrente elétrica do que em condutores, onde a liberação de elétrons ocorre com maior facilidade.

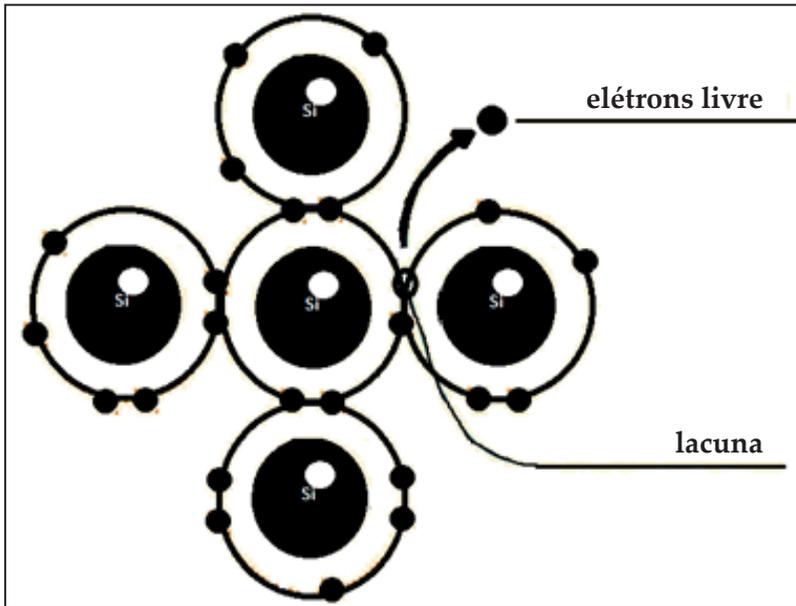


Lembre-se!!! Elétrons livres são necessários para que a corrente elétrica possa fluir.

Em temperaturas suficientemente elevadas, os átomos na rede cristalina do semicondutor começam a vibrar; com uma energia cinética suficiente, alguns dos elétrons de valência rompem suas ligações e tornam-se disponíveis como elétrons de condução. Estes elétrons livres permitem que ocorra um fluxo de corrente em um semicondutor. De acordo com Fuentes e Nascimento (2013, p. 22):

com a quebra das ligações covalentes, no local onde havia um elétron de valência, passa a existir uma região com carga positiva, uma vez que o átomo era neutro e um elétron o abandonou (elétron é carga negativa, se este átomo perdeu carga negativa surge um espaço positivo). Essa região positiva recebe o nome de lacuna, sendo também conhecida como buraco.

FIGURA 115 - FORMAÇÃO DE UM ELÉTRON LIVRE E DE UMA LACUNA



FONTE: Fuentes e Nascimento (2013)

Estas lacunas que aparecem na Figura 115 não têm existência real, são apenas espaços vazios provocados por elétrons que abandonam as ligações covalentes rompidas.

Sempre que uma ligação covalente é rompida, surge simultaneamente um elétron livre e uma lacuna. Entretanto, pode ocorrer o inverso, um elétron preencher o lugar de uma lacuna, completando a ligação covalente (processo de recombinação). Tanto os elétrons como as lacunas sempre surgem e desaparecem aos pares. O número de lacunas é sempre igual ao de elétrons livres. Quando o cristal de silício ou germânio é submetido a uma diferença de potencial, os elétrons livres se movem em direção ao polo positivo e as lacunas se movem em direção ao polo negativo (FUENTES; NASCIMENTO, 2013, p. 22).

2.1 SEMICONDUTORES INTRÍNSECOS

Quando os semicondutores são totalmente puros, ou seja, não há impurezas adicionadas a eles, estes são chamados de intrínsecos, tendo pouca ou nenhuma utilidade quando estão nestas condições. Por exemplo: os cristais de elementos puros como o germânio (Ge) e o silício (Si) são considerados como semicondutores intrínsecos (PINTO; ALBUQUERQUE, 2011).

2.2 SEMICONDUTORES EXTRÍNSECOS

Quando alguma impureza é adicionada no semicondutor intrínseco, um semicondutor extrínseco pode ser produzido. Na prática, não usamos o semicondutor intrínseco, e sim o extrínseco. O semicondutor extrínseco é obtido pela adição de elementos chamados de impurezas (tipos de átomos), cuja principal finalidade é alterar algumas propriedades elétricas, principalmente a resistividade em relação ao fluxo de elétrons (PINTO; ALBUQUERQUE, 2011, p. 29).

Características:

- A condutibilidade elétrica é alta.
- A condutividade elétrica depende da temperatura e da quantidade de impureza adicionada neles.

Os materiais extrínsecos possuem impurezas adicionadas de propósito, o que altera a sua estrutura atômica, alterando sua resistividade. Os materiais extrínsecos podem ser do tipo **N** ou do tipo **P**.

2.3 DOPAGEM

É o processo de adição de impurezas aos semicondutores intrínsecos para alterar suas propriedades. Ou seja, dopar um cristal significa introduzir um elemento estranho em sua rede cristalina. O elemento estranho é chamado de elemento dopante.

Como sabemos, silício e germânio são conhecidos como semicondutores intrínsecos. Para dopar estes elementos são utilizados elementos trivalentes e pentavalentes.

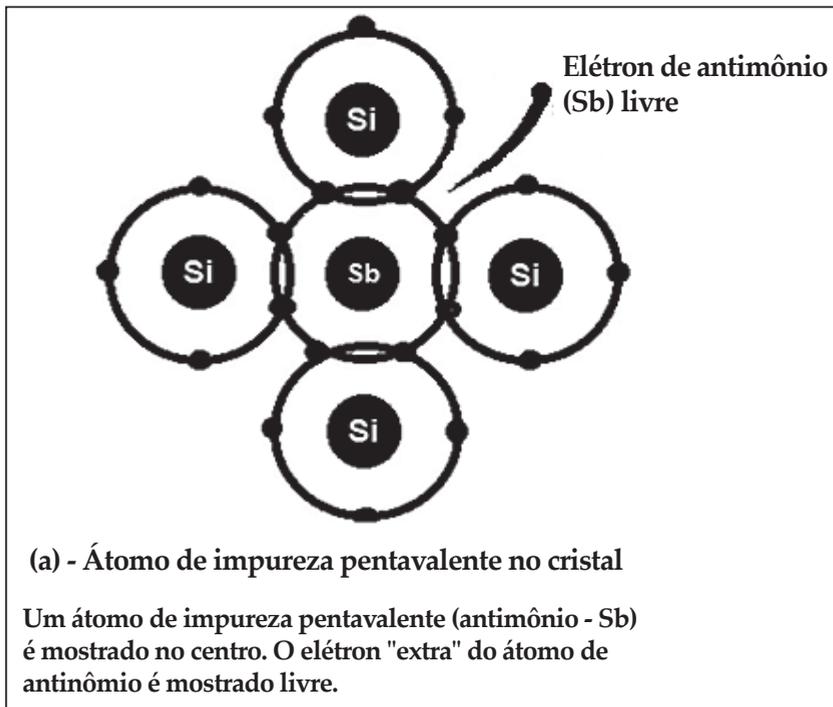


Elementos trivalentes são aqueles que possuem três elétrons na última camada de valência. Os elementos trivalentes mais utilizados como dopantes são: o alumínio, o boro e o gálio. Elementos pentavalentes são aqueles que possuem cinco elétrons na camada de valência. Os elementos pentavalentes mais utilizados como dopante são: o arsênio, o antimônio e o fósforo.

Como vimos anteriormente, o silício é tetravalente por possuir quatro elétrons em sua última camada (camada de valência). O que acontecerá se introduzirmos no cristal um átomo de elemento pentavalente (cinco elétrons na última camada)?

O novo átomo se encaixará na estrutura, ligando-se a quatro átomos de silício (ver Figura 116), e sobrar um elétron livre. Com um número adequado de átomos pentavalentes ("penetras"), tem-se um cristal com mais elétrons do que lacunas (buracos). Ou seja, esse cristal terá energia predominantemente negativa, porque a carga do elétron é negativa. Um cristal desse tipo recebe a denominação de semiconductor do tipo N (de negativo).

FIGURA 116 – ÁTOMO DE SILÍCIO COM IMPUREZA PENTAVALENTE

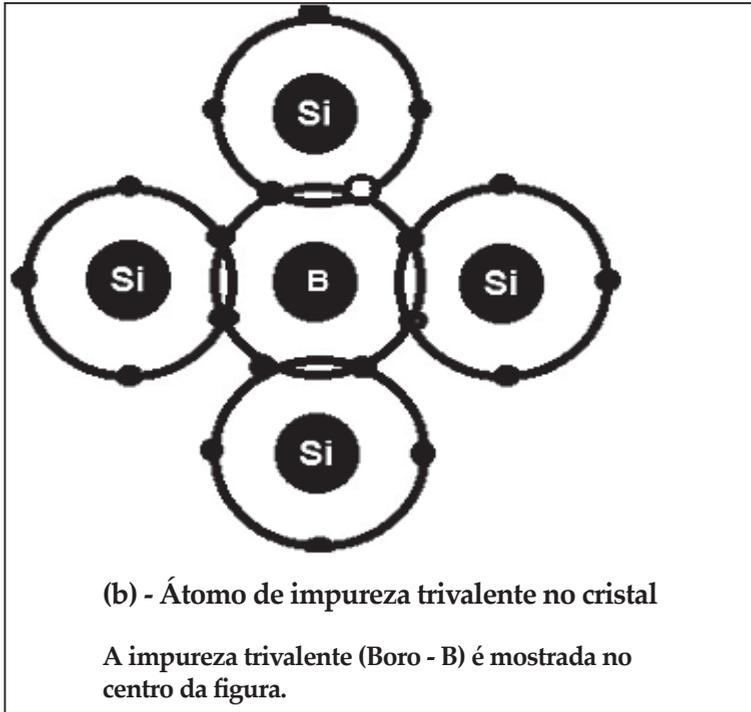


FONTE: Floyd (2004)

Agora, o que acontece se doparmos o cristal com um elemento trivalente (três átomos na última camada)?

O inverso ocorrerá: o elemento dopante conseguirá estabelecer apenas três ligações com outros átomos. Um átomo de silício ficará, portanto, com uma lacuna a mais. Com o número adequado de átomos trivalentes, teremos um cristal com mais lacunas do que elétrons. Esse cristal terá energia predominantemente positiva (Figura 117). Um cristal desse tipo recebe a denominação de semiconductor do tipo P (de positivo).

FIGURA 117 - ÁTOMO DE SILÍCIO COM IMPUREZA TRIVALENTE



FONTE: Floyd (2004)

2.4 DÍODO SEMICONDUTOR

Os conceitos abordados anteriormente agora irão nos ajudar a entender um novo componente - o díodo semiconductor.

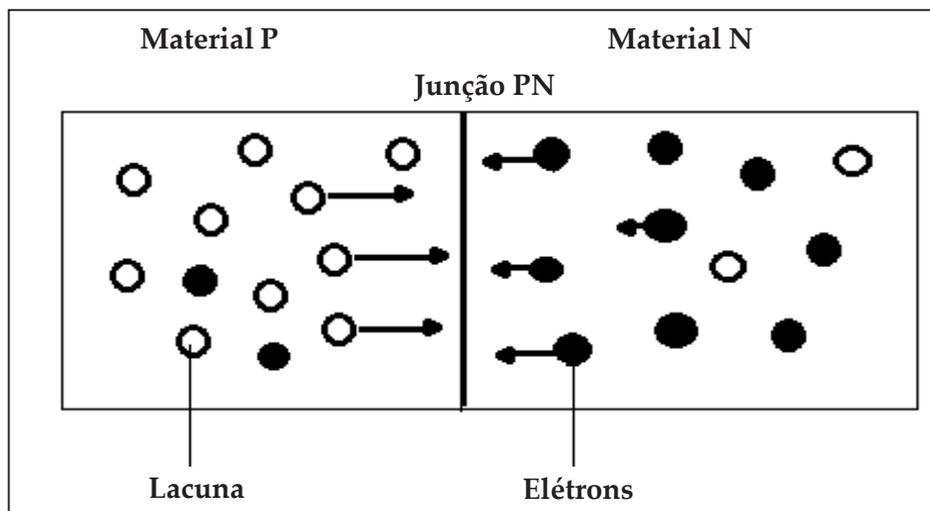
“O díodo semiconductor de junção é o componente mais simples da eletrônica e tem como função principal transformar corrente alternada em corrente contínua. Ele é utilizado em aparelhos eletrônicos, como televisão, computador, aparelhos de som, entre outros” (Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/diodo-semicondutor.htm>>. Acesso em: 30 maio 2016.).

2.4.1 Díodo semiconductor de junção

Em termos simples, um díodo é um dispositivo que restringe o sentido do fluxo de elétrons. Essencialmente, isso permite que uma corrente elétrica possa fluir em uma direção, mas a bloqueia em outra. Assim, o díodo pode ser pensado como uma versão eletrônica de uma válvula de retenção. Circuitos que requerem o fluxo de corrente em apenas uma direção, tipicamente, incluem um ou mais díodos no desenho do circuito. Hoje, a maioria dos díodos comuns é feita de materiais semicondutores, tais como silício ou germânio.

Um díodo semiconductor é composto por uma região de material N e uma região de material P, separadas por uma junção PN (Figura 118).

FIGURA 118 - ESTRUTURA BÁSICA DE UM DÍODO SEMICONDUTOR DE JUNÇÃO

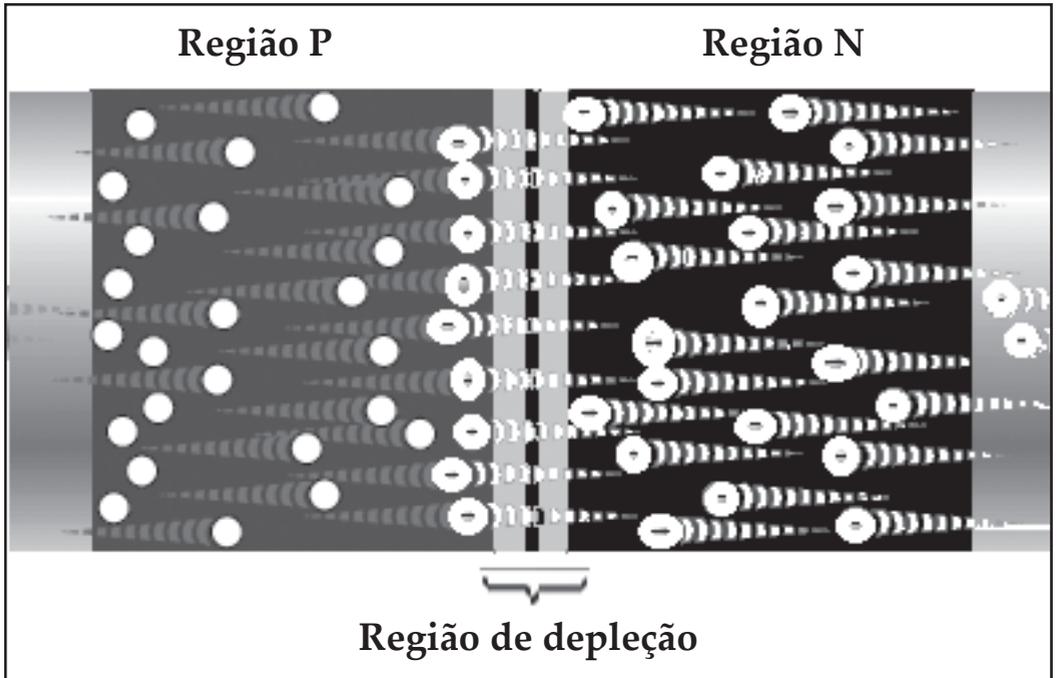


FONTE: O autor

Você deve estar lembrado da Unidade 1, onde foi dito que as cargas de mesmo sinal se repelem, portanto os elétrons livres do lado N irão começar a se repelir e se espalhar por todas as direções. Alguns atravessam a junção e se combinam com as lacunas (buracos). Cada vez que um elétron atravessa a junção, cria um par de íons (íons são átomos carregados eletricamente com carga negativa ou positiva), a lacuna desaparece, e o átomo associado torna-se carregado negativamente (um íon negativo), enquanto o átomo do cristal N que perdeu o elétron torna-se um íon positivo (FUENTES; NASCIMENTO, 2013).

Na Figura 119 se pode perceber que à medida que o número de íons aumenta, a região próxima à junção fica sem elétrons livres e sem lacunas. Chamamos essa região de zona de depleção.

FIGURA 119 – ZONA DE DEPLEÇÃO DE UM DÍODO SEMICONDUTOR DE JUNÇÃO - PN



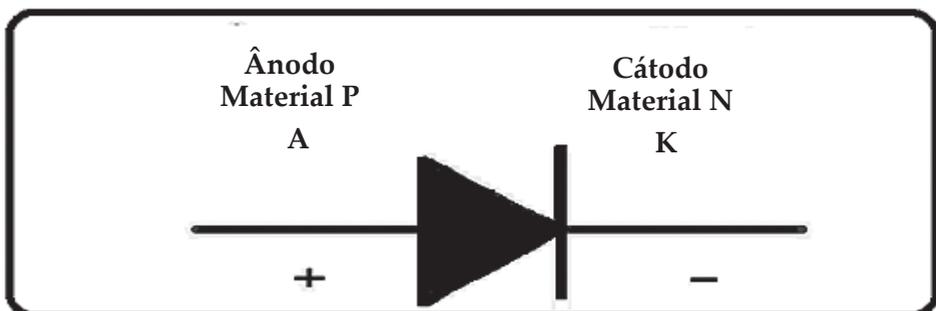
FONTE: Floyd (1992)

De acordo com Fuentes e Nascimento (2013, p. 29):

a zona de depleção age como uma barreira, impedindo a continuação da difusão dos elétrons livres. A intensidade da zona de depleção aumenta com cada elétron que atravessa a junção, até que se atinja um equilíbrio. A diferença de potencial através da zona de depleção é chamada de barreira de potencial.

A figura a seguir apresenta o símbolo mais usual para o diodo:

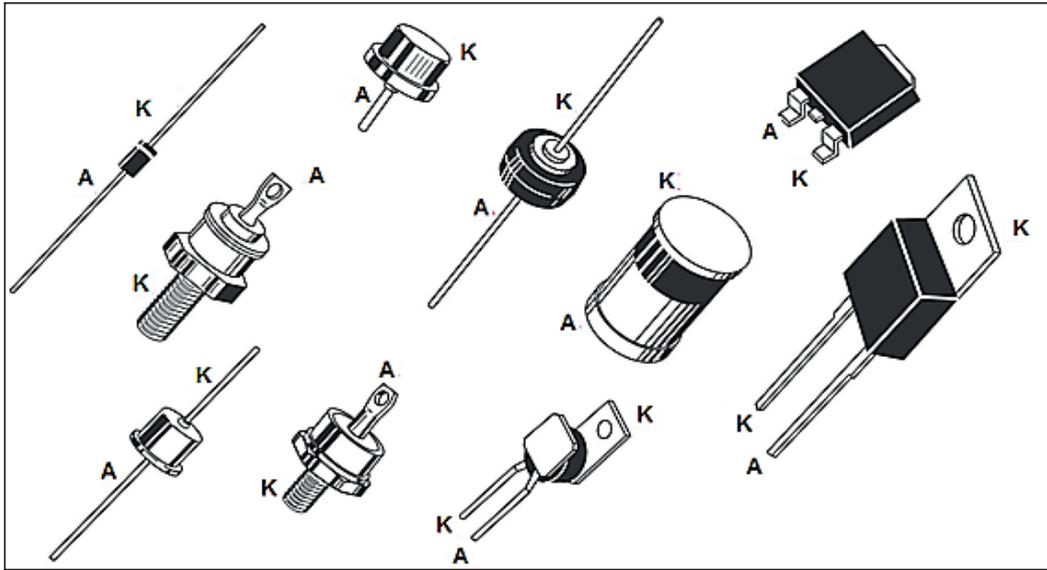
FIGURA 120 - SÍMBOLO DO DÍODO



FONTE: Fuentes e Nascimento (2013)

A Figura 121 mostra alguns tipos de díodos e a identificação de cada terminal. Ânodo (A) e Cátodo (K).

FIGURA 121 – TIPOS DE DÍODOS E A IDENTIFICAÇÃO DE CADA TERMINAL



FONTE: Floyd (2004)

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu que:

- Os semicondutores são sólidos cristalinos que têm uma condutividade elétrica intermediária entre os condutores e isolantes.
- Os semicondutores de grande interesse para a eletrônica são o silício e o germânio.
- Quando os materiais semicondutores são totalmente puros, ou seja, não há impurezas adicionadas a eles, estes são chamados de materiais intrínsecos.
- Quando alguma impureza é adicionada no semicondutor intrínseco, este é chamado de material extrínseco.
- Os materiais extrínsecos podem ser do tipo **N** ou do tipo **P**.
- O díodo semicondutor de junção é o dispositivo mais simples da eletrônica.
- Este dispositivo é formado pela junção de dois cristais semicondutores, silício e germânio, com polaridades diferentes que possibilitam a circulação de corrente.
- A polaridade positiva **P** de um díodo é onde há falta de elétrons, sendo essa região também chamada de lacuna ou buraco.
- A parte negativa **N** possui excesso de elétrons. Apesar de sua simplicidade, é amplamente utilizado, já que tem como característica controlar o fluxo de corrente elétrica através de sua junção.

AUTOATIVIDADE



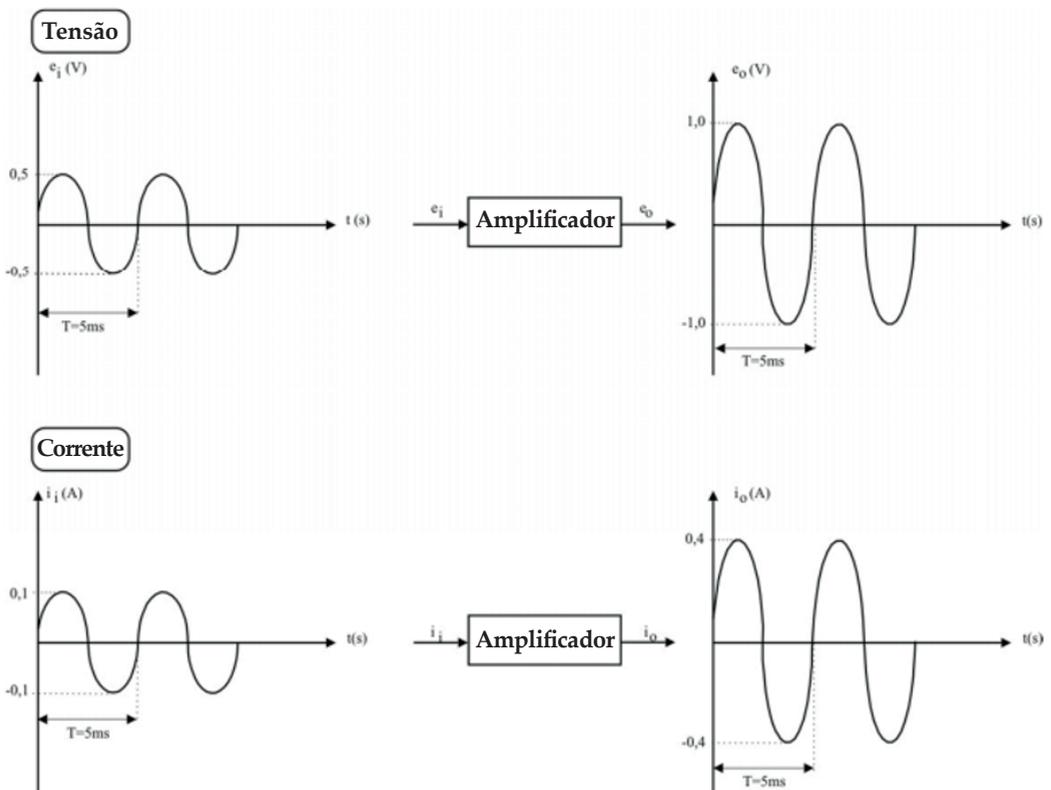
- 1 O que é um material semicondutor? Cite dois exemplos.
- 2 O que é dopagem?
- 3 Se inserirmos um átomo de fósforo em um cristal de semicondutor, o semicondutor ficará positivo ou negativo? Explique.
- 4 O que é um díodo semicondutor de junção?
- 5 Desenhe o símbolo mais usual para um díodo.
- 6 O semicondutor tipo N chama-se assim em razão de:
 - a) () As impurezas adicionadas possuem carga positiva.
 - b) () Possui um excesso de lacunas.
 - c) () As impurezas adicionadas possuem carga negativa.
 - d) () Possui um excesso de elétrons.

CIRCUITOS AMPLIFICADORES,
TRANSISTORES E TIRISTORES

1 INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2013), os AMPLIFICADORES, em geral, são circuitos capazes de aumentar em amplitude uma determinada grandeza, seja ela tensão ou corrente. Observe na Figura 122 as situações onde sinais elétricos são introduzidos num amplificador e o resultado obtido.

FIGURA 122 – CIRCUITO AMPLIFICADOR



FONTE: Silva (2013)

2 FONTES DE ALIMENTAÇÃO

Os equipamentos eletrônicos, por exemplo, computadores e seus periféricos, calculadoras, TV's, equipamentos *Wi-Fi* etc., para que operem de maneira correta, necessitam de suprimento de energia elétrica. Esse suprimento de energia pode ser proveniente de baterias ou pilhas. Entretanto, muitos equipamentos destinam-se a aplicações residenciais ou industriais cuja principal fonte de energia é a rede elétrica de corrente alternada (CA). Portanto, é necessária uma forma de converter a energia das redes elétricas em energia adequada à operação de um circuito.

Essa fonte de energia é composta por diversos componentes: transformador, circuito retificador, capacitor de filtragem e circuito regulador de tensão (FUENTES; NASCIMENTO, 2013).

2.1 TRANSFORMADOR

Como visto anteriormente (Unidade 2), o transformador tem a função de rebaixamento ou aumento do nível de tensão. Como as fontes de tensões utilizadas em sistemas eletrônicos em geral são menores que a tensão de entrada de energia elétrica (127 V ou 220V), é necessário rebaixar esta tensão, isto é realizado pelo transformador.

2.2 CIRCUITOS RETIFICADORES

De acordo com Pinto e Albuquerque (2011, p. 32):

A alimentação de todos os circuitos eletrônicos é feita por meio de tensão contínua, porém, a tensão na rede é alternada. Os circuitos que convertem tensão CA em CC são chamados de conversores ou retificadores. Sua função é converter a tensão senoidal em pulsante, que, em seguida, é filtrada e eventualmente aplicada em um regulador de tensão.

O dispositivo utilizado para obter a retificação é o díodo de junção, estudado no item anterior.

2.3 CIRCUITO REGULADOR DE TENSÃO

Controla o nível de tensão de saída a um VALOR constante independentemente das mudanças na linha, carga e temperatura. Esse é um requisito essencial para as cargas eletrônicas que não suportam grandes variações de tensão para o seu correto funcionamento.

2.4 CAPACITOR DE FILTRAGEM

Conforme Fuentes e Nascimento (2013), a tensão de uma fonte de alimentação deve ser estável. Para obter esse tipo de tensão retificada na carga, torna-se necessário o uso de filtro. O tipo mais comum e simples de filtro para circuitos retificadores é o filtro com capacitor.

3 TRANSISTORES

Conforme Fuentes e Nascimento (2013), existe uma infinidade de sinais elétricos cujos níveis de intensidade são extremamente baixos. Como exemplo:

Podem ser citadas as correntes elétricas que circulam no corpo humano, o sinal de saída de uma cabeça de gravação, elementos sensores etc. Para transformá-los em sinais úteis, torna-se necessário amplificá-los. Antes da década de 50, a válvula era o elemento principal nessa tarefa. Em 1947 foi inventado o transistor. Ele foi desenvolvido a partir da tecnologia utilizada no diodo de junção, como uma alternativa em relação às válvulas, para realizar as funções de amplificação, detecção, oscilação, comutação etc. A partir desse marco, o desenvolvimento da eletrônica foi imenso (FUENTES; NASCIMENTO, 2013, p. 57).

3.1 DEFINIÇÃO

Transistores são como uma espécie de extensão de outro componente semicondutor: o diodo.

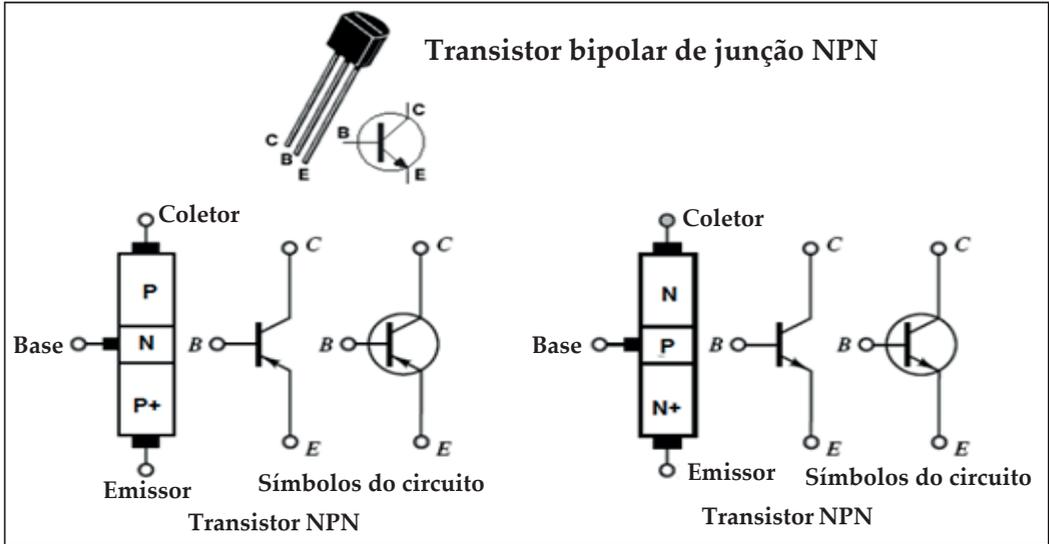
Um transistor é um dispositivo semicondutor de três terminais que pode executar duas funções que são fundamentais para os circuitos eletrônicos: amplificação e comutação. Simplificando, a amplificação consiste da ampliação de um sinal de transferência de energia a partir de uma fonte externa.

Dentre todos os transistores, o bipolar é o mais comum, o qual é semelhante ao diodo estudado anteriormente. A principal diferença é que o transistor é formado por duas junções PN, enquanto o diodo por apenas uma (FUENTES; NASCIMENTO, 2013).

3.2 TRANSISTOR BIPOLAR

Um transistor bipolar é formado pela união de três materiais semicondutores, cada um com uma concentração de elemento dopante diferente. Dois cristais tipo N e um tipo P ou dois cristais tipo P e um tipo N. O primeiro é chamado de transistor NPN e o segundo, de PNP. A Figura 123 ilustra uma forma aproximada de um transistor, símbolos e a nomenclatura para os dois tipos de transistor bipolar de junção. Pode-se perceber na figura que um dos cristais possui um sinal +, isto indica que este material está mais fortemente dopado que os outros.

FIGURA 123 - FORMA APROXIMADA DE UM TRANSISTOR, SÍMBOLOS E A NOMENCLATURA PARA OS DOIS TIPOS DE TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNÇÃO



FONTE: Floyd (2004)

Observando a figura, você deve ter percebido que cada um dos três cristais que compõem o transistor bipolar recebe o nome relativo à sua função. O cristal do centro é chamado de base, pois é comum aos outros dois cristais, é levemente dopado e muito fino. O cristal da extremidade esquerda recebe o nome de emissor, por emitir portadores de carga, e fortemente dopado e, finalmente, o último cristal tem o nome de coletor por receber os portadores de carga, possui uma dopagem média (FLOYD, 2004).

4 TIRISTORES

Tiristor é um dispositivo semicondutor formado por quatro camadas PNPN e que pode ser usado como interruptor de ação rápida. A condição de um tiristor é LIGA ou DESLIGA, dependendo da tensão de entrada no elemento da porta ou *gate* (G).

Os tiristores podem ser classificados quanto ao:

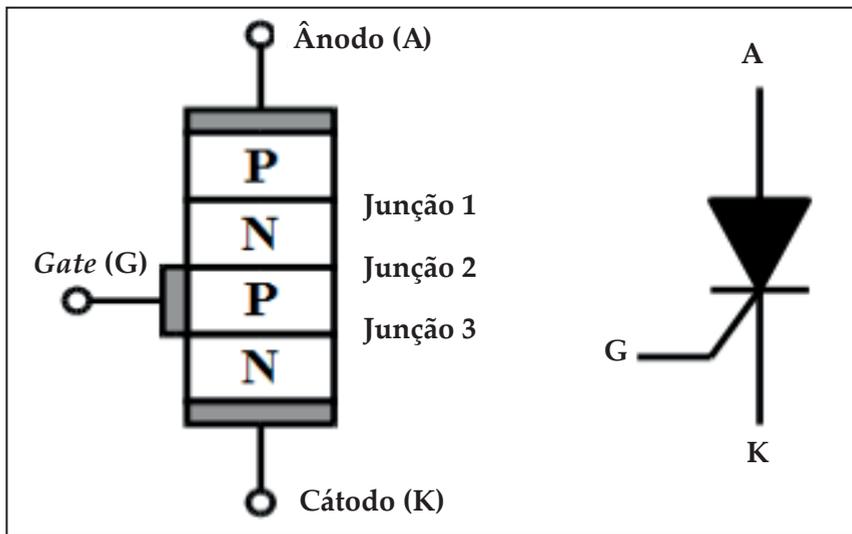
- Número de terminais;
- Sentido de condução de corrente elétrica.

O tiristor de uso mais difundido é o SCR (Retificador Controlado de Silício), usualmente chamado simplesmente de tiristor. Outros componentes, no entanto, possuem basicamente a mesma estrutura: LASCR (SCR ativado por luz), TRIAC (tiristor triodo bidirecional), DIAC (tiristor díodo bidirecional), GTO (tiristor comutável pela porta), MCT (Tiristor controlado por MOS).

4.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

“O tiristor é formado por quatro camadas semicondutoras alternadas P-N-P-N, possuindo três terminais: ânodo e cátodo, pelos quais flui a corrente; e a porta (ou *gate*) que, a uma injeção de corrente, faz com que se estabeleça a corrente anódica” (Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/ee833/Modulo2.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2016.). A figura a seguir mostra a estrutura interna e a simbologia de um tiristor.

FIGURA 124 – ESTRUTURA INTERNA E SIMBOLOGIA DE UM TIRISTOR



FONTE: Rajashekara (2002)

LEITURA COMPLEMENTAR

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO PARA INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS: DTM, IDR E DPS

Para garantir uma instalação elétrica segura e dentro das diretrizes da NBR5410, é necessária a utilização de dispositivos de segurança para a proteção dos circuitos da residência, tanto contra choques quanto sobreaquecimento ou surtos de corrente, ou tensão.

DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO (DTM)

Quando um circuito elétrico é submetido a uma **carga excessiva** por um período prolongado de tempo, ocorre um **sobreaquecimento** dos condutores envolvidos, que pode se propagar inclusive para condutores próximos. Do mesmo modo, **um curto-circuito** gera um **pico de corrente** capaz de aquecer os condutores muito mais rapidamente. Para evitar o desgaste ou mesmo a queima dos condutores da instalação, todo circuito residencial deve ser protegido com um **disjuntor termomagnético**, responsável por interromper o funcionamento de

circuitos assim que eles apresentarem picos muito altos de corrente ou sinais de sobreaquecimento.

A proteção contra curto-circuito se deve a uma **bobina** instalada nesse tipo de disjuntor. Com a variação brusca da corrente elétrica, característica de uma situação de curto-circuito, temos também uma forte variação do campo magnético. Se essa variação for suficiente para mover o núcleo de ferro do disjuntor, haverá interrupção mecânica do circuito.

A proteção contra sobrecarga é possível graças a um segundo mecanismo, composto por um **atuador bimetálico**. Esse atuador é composto por duas placas metálicas em contato, que se deformam e abrem o circuito caso sofram sobreaquecimento.

INTERRUPTOR DIFERENCIAL RESIDUAL (IDR)

A proteção contra **choque elétrico** é também indispensável numa instalação que segue as normas da NBR5410. Para esse fim, é necessário o uso de um **interruptor diferencial residual**, capaz de detectar **fugas de correntes** (também chamadas de **faltas**), ou seja, diferenças entre a corrente que entra e a corrente que sai do dispositivo. Essa diferença significa que uma parte da corrente que deveria circular pelo circuito foi desviada de sua trajetória e volta para o dispositivo com essa parte faltando. Isso pode ocorrer devido a um choque elétrico ou falhas de isolamento.

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS)

Além da proteção contra excesso e a detecção de falta de corrente, há também dispositivos especializados na detecção de variações bruscas da tensão elétrica. Picos de tensão podem ocorrer na presença de descargas atmosféricas, durante chuvas muito fortes, e tendem a danificar os dispositivos eletrônicos da residência. Para prevenir a queima desses equipamentos, é aconselhável a instalação de um **dispositivo de proteção contra surtos**, capaz de limitar sobretensões e enviar para a terra os surtos de corrente que ocorrem caso uma descarga atmosférica entre em contato com a rede elétrica.

CONCLUSÕES

Seja para segurança humana ou manutenção do patrimônio, os dispositivos de proteção para instalação elétrica residencial são essenciais no nosso cotidiano. Saber dimensionar corretamente esses equipamentos garante também que essa proteção não se torne um incômodo, com disjuntores que desarmam em momentos inapropriados graças a falhas de projeto.

Vale lembrar também que a responsabilidade de criar e executar um projeto atendendo a todas as normas de segurança não é só uma exigência profissional, mas também um **compromisso com a vida dos clientes**, tendo em vista que acidentes fatais que podem ser evitados utilizando esse tipo de proteção.

RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você aprendeu que:

- Transistores são uma espécie de extensão de outro componente semiconductor: o diodo.
- Um transistor é um dispositivo semiconductor de três terminais que pode executar duas funções que são fundamentais para os circuitos eletrônicos: amplificação e comutação.
- A principal diferença entre o transistor e o diodo é que: o transistor é formado por duas junções PN, enquanto o diodo por apenas uma.
- Dentre todos os transistores, o bipolar (BJT) é o mais comum.
- Um transistor bipolar é formado pela união de dois cristais tipo N e um tipo P ou dois cristais tipo P e um tipo N.
- Amplificadores são circuitos capazes de aumentar em amplitude uma determinada grandeza, seja ela tensão ou corrente.
- Os equipamentos eletrônicos, para que operem de maneira correta, necessitam de suprimento de energia elétrica. Esse suprimento de energia pode ser proveniente de baterias ou pilhas.
- Tiristor é um dispositivo semiconductor formado por quatro camadas PNPN e que pode ser usado como interruptor de ação rápida.
- Os tiristores podem ser classificados quanto ao número de terminais e quanto ao sentido de condução de corrente elétrica.

AUTOATIVIDADE



- 1 Os circuitos amplificadores são capazes de aumentar em amplitude uma determinada grandeza, seja ela tensão ou corrente. Desenhe as situações onde sinais elétricos são introduzidos num amplificador e o resultado obtido.
- 2 Qual a diferença entre transistores e tiristores?
- 3 Em um circuito retificador, qual das alternativas abaixo representa o papel do transformador?
 - a) () Abaixar ou elevar a tensão
 - b) () Abaixar ou elevar a frequência
 - c) () Abaixar ou elevar a tensão e a frequência
 - d) () Transformar o sinal AC em DC
- 4 Qual o princípio de funcionamento de um tiristor?
- 5 Represente a estrutura interna e a simbologia de um tiristor.
- 6 O que é um transistor bipolar?

REFERÊNCIAS

- AFONSO, A. P.; FILANI, A. P. **Eletrônica**: circuitos elétricos. Fundação Padre Anchieta, Coleção Técnica Interativa. Série Eletrônica, v. 1. São Paulo, 2011.
- ANDRADE, S. C. A. **Apostila de eletricidade básica**. Joinville: Unisociesc, 2015.
- BASOTTI, M. G. **Apostila de ELETRICIDADE**: Instalações Industriais. Centro de Educação Profissional SENAI de Eletromecânica. Sapucaia do Sul-RS, 2001.
- BASOTTI, M. G. **Apostila de ELETRICIDADE**: Instalações Industriais. Centro de Educação Profissional SENAI de Eletromecânica. Sapucaia do Sul-RS, 2001.
- BOLSONI, R. C. R. **Apostila para Eletrônica**. Eletrotécnica Básica. 2. ed. 2006. Disponível em: <file:///C:/Users/ADM/Downloads/eletrotecnica-basica_-_reinaldo_bolsoni%20(1).pdf>. Acesso em: 5 jun. 2016.
- BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos elétricos**. 10. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.
- BRAGA, N. C. **Conceitos básicos de eletrônica**. São Paulo: INCB, 2013.
- BRAGA, N. C. **Relés - Conceitos e Aplicações**. São Paulo: INCB, 2012.
- CATÁLOGO WEG. **Automação. Fusíveis D e NH**. Disponível em: <http://www.multiluzbh.com.br/weg/weg_cat910brand.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2016.
- CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- COELHO, M. F. O. **Fundamentos de física**. Manaus: Centro de Educação Tecnológica do Amazonas, 2010.
- COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- CRUNDELL, M., GOODWIN, G.; MEE, C. **PHYSICS**. 2. ed. Cambridge International AS and A level. 2014. Disponível em: <<http://www.cttech.org/GOODWIN/academics/science-textbook/chap25.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016.
- CST – Arcelor Brasil. **Sistemas de Proteção em Equipamentos e Instalações Elétricas**. Junho, 2005. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/arquivos/40/40.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2016.

CST – Arcelor Brasil. **Sistemas de Proteção em Equipamentos e Instalações Elétricas**. Junho, 2005. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/arquivos/40/40.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2016.

ELETROBRÁS. **Motor elétrico**: guia básico. Brasília: IEL/NC, 2009.

FELTRE, Ricardo. **Química Geral**. Vol. 1. 6. edição. São Paulo: Moderna, 2004.

FERREIRA, J. L. C. **Curso técnico de eletrônica 2º módulo**. 2015. Disponível em: <<http://joaoluizcf.webnode.com/news/apostila-2%C2%BA-modulo-reles>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

FLOYD, T. L. **Electronic Devices**. 3. ed. Merrill: Pearson Addison Wesley, 1992.

FLOYD, T. L. **Electronics Fundamentals**. Electric Circuit Fundamentals, 6. ed. Pearson Education, 2004.

FRAGOSO, C. M. Apostila: **Transformadores**: Teoria e Projeto. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Campus João Pessoa. Paraíba. 1993. Disponível em: <<http://eletronicaifpb.6te.net/files/Transformadores.pdf>>. Acesso 4 mai. 2016.

FRAGOSO, C. M. **Transformadores**. Teoria e Projeto. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Campus João Pessoa – Paraíba, 2010.

FRANCHI, C. M. **Acionamentos elétricos**. 4. ed. São Paulo: Ed. Érica, 2008.

FREITAS, J. A.; ZANCAN, M. D. **Apostila de Eletricidade**: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011. 118p.

FUCHS, R. D. **Transmissão de Energia Elétrica - Linhas Aéreas, Livros Técnicos e Científicos**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Volume 2, 1997.

FUENTES, R. C.; NASCIMENTO, C. R do. **Eletrônica**. 3. ed. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Curso Técnico em Automação Industrial. Santa Maria, 2009.

GALDINO, J. C. S. **Curso**: Manutenção de ferrovia – Eletrotécnica II - Instituto Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

GONÇALVES, F. D. **Resposta de sistemas ininterruptos de energia frente a fenômenos de qualidade da energia**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica. Distrito Federal, 2008.

GONÇALVES, F. L. **Dispositivos de Proteção e Condutores**. Porto Alegre, 2012.

GOUVÊA, E. C. **Incorporação de um sistema nobreak com ultracapacitor em um microcomputador**. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

GRAF - Grupo de Reelaboração de Ensino de Física. **Física 3: Eletromagnetismo**. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2000. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro4.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2016.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**. 2. edição. São Paulo: Pearson Makron Books, 1997.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**. São Paulo: Makron Books, 1995.

INMETRO. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pdf>> 2012. Acesso em: 2 fev. 2016.

KLEMPNER, G.; KERSZENBAUM, I. **Operation and Maintenance of Large Turbo Generators**. Nova Jersey: Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2004.

KNOLSEISEN, A. B.; MARQUES, L. S. B. **Apostila de eletromagnetismo**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Campus Joinville, 2010.

KUPHALDT, T.R. **Lessons in Electric Circuits**, Volume II – AC. New York: Six Edition, 2007.

LANGA, J. M. R. C. **Análise de impactos da produção de alternativas agroenergéticas em Moçambique**: o caso da província de Manica. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Unesp - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2012.

LEÃO, R. **GTD – Geração, Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica**. Departamento de Engenharia Elétrica. Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2009.

LENZ, A. L. **Apostila SENAI – Dispositivos de proteção e Manobra**. São Paulo: SENAI, 2009.

MAMEDE FILHO, J. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

MARKUS, O. **Circuitos elétricos - Corrente Contínua e Corrente Alternada**. São Paulo: Érica Ltda. 2001.

MODESTO, M. **Geração Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**, 2011.

MOYER, E. J. **Basics on electric motors**. U. Chicago, 2010.

NETTO, L. F. **Geradores de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.cee.com.br>>. Acesso em: 3 mai. 2016.

NETTO, L. F. **Motores elétricos**. 1999. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala22/motor_teor1.asp>. Acesso em: 4 mai. 2016.

NISKIER, J. **Manual de instalações elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

PACHECO, J. de O. **Desenvolvimento de um sistema didático para ensino de conversores CC-CA com monitoramento por microcontroladores**. Monografia de especialização (Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos. Florianópolis, SC, 2012.

PEIXOTO, J. A. **Eletrotécnica Básica**. Escola de Educação Profissional SENAI Ney Damasceno Ferreira. Rio Grande do Sul: SENAI, 2000.

PEREIRA, J. C. **Apostila Motores e Geradores**. 2006. Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/mmotor/apostila.pdf>>. Acesso em: 1º maio 2016.

PETRUZELLA, F. D. **Eletrotécnica I**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2014.

PINHEIRO, H. **Máquinas e Acionamentos Elétricos – Geradores de Corrente Alternada**. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/apostila-de-maquinas-de-cc>>. Acesso em: 3 maio 2016.

PINTO, L. F. T.; ALBUQUERQUE, R. O. **Eletrônica: eletrônica analógica**. Coleção Técnica Interativa. Série Eletrônica, v. 2. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.

PÖTTER, C. A. **Apostila de Instalações elétricas – Módulo 3 - Curso de Eletrotécnica**. Instituto Federal Sul-Rio-Grandense.

RAJASHEKARA, K., BHAT, A. K. S., BOSE, B. K. "Power Electronics". **The Electrical Engineering Handbook**. Ed. Richard C. Dorf. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.

- RAMESH, A.; BALAMURUNGAN, R. **Electrical Engineering**. New York: First Edition, 2010.
- SADIKU, Matthew N. O.; MUSA, Sarhan; ALEXANDER, Charles K. **Análise de circuitos elétricos com aplicações**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2014.
- SALAM, Z. **Power Electronics and Drives** (Version 3). New York: UTM-JB, 2003.
- SAMBAQUI, A. B. K.; MARQUES, L. S. B. **Apostila de Eletromagnetismo**. Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Joinville, Julho, 2010.
- SAMPAIO, A. L. P. **Consolidação de material didático para a disciplina de equipamentos elétricos – Disjuntores**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. Rio de Janeiro, RJ – Brasil, 2012.
- SAXENA, et al. Various Types of Circuit Breakers used in Power System for Smooth Working of the Transmission Line. **International Journal of Electrical and Instrumentation Engineering**. vol. 2, n. 2. Aug. 2012, p. 106-111.
- SCHNEIDER-ELECTRIC. **Disjuntores**. Disponível em: <http://www.schneider-electric.com.br/documents/cadernos-tecnicos/tema2_efeitos.pdf>. Acesso em: 13 maio 2016.
- SEIXAS, F. J. M. **Apostila de Máquinas Elétricas II**. São Paulo: UNESP, Campus de Ilha Solteira, 2012.
- SENAI. PETROBRAS, CTGAS-ER. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. SENAI-RN, 2013.
- SENAI. **Apostila de Comandos Elétricos**. Curso técnico em Eletroeletrônica. São Paulo: SENAI, 2005.
- SERAFIM, S. E. **Técnico em eletromecânica**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Campus Araranguá, 2009.
- SIEMENS. Disponível em: <https://www.industry.usa.siemens.com/services/us/en/industry-services/training/self-study-courses/quick-step-courses/Documents/circuit_breakers.pdf>. Acesso em: 11 maio 2016.
- SILVA JR., P. A. **Amplificadores a transistor**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Curso de Telecomunicações. São José, novembro de 2013.

SONNTAG, B. et al. **Abundance, biomass and size structure of the microbial assemblage in the high mountain lake Gossenko-Illesee (Tyrol, Austria) during the ice-free period.** Austria: J. Limnol., 1999.

SOUZA, GIOVANI B.S. **Apostila de eletricidade básica.** Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC - Campus Araranguá, 2009.

VILLAR, G. J de V. **Geradores e motores CC.** CEFETR/ RN – Centro Federal de Educação Tecnológica do RN, 2006.

WEG. **Interruptores Diferenciais Residuais.** Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls/Protecao-de-Circuitos-Eletricos/Interruptores-Diferenciais-Residuais-DRs-RDW>>. Acesso em: 13 maio 2016.

WEG. **Motores síncronos.** Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-5-caracteristicas-e-especificacoes-de-geradores-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2016.