



# Tecnologias e Processos Industriais IV

*Marcelo Freitas da Silva*



Santa Maria - RS  
2014

**Presidência da República Federativa do Brasil**

**Ministério da Educação**

**Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica**

© Colégio Técnico Industrial de Santa Maria

Este caderno foi elaborado pelo Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria para a Rede e-Tec Brasil.

**Equipe de Acompanhamento e Validação**

**Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM**

**Coordenação Institucional**

Paulo Roberto Colusso/CTISM

**Professor-autor**

Marcelo Freitas da Silva/CTISM

**Coordenação de Design**

Erika Goellner/CTISM

**Revisão Pedagógica**

Elisiane Bortoluzzi Scrimini/CTISM

Jaqueleine Müller/CTISM

**Revisão Textual**

Carlos Frederico Ruviaro/CTISM

**Revisão Técnica**

Diego de Oliveira Carrilho/CTISM

Marcos Daniel Zancan/CTISM

**Ilustração**

Marcel Santos Jacques/CTISM

Rafael Cavalli Viapiana/CTISM

Ricardo Antunes Machado/CTISM

**Diagramação**

Cássio Fernandes Lemos/CTISM

Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM

**Ficha catalográfica elaborada por Maristela Eckhardt – CRB 10/737**

**Biblioteca Central da UFSM**

**S586t Silva, Marcelo Freitas da  
Tecnologias e processos industriais IV / Marcelo Freitas da  
Silva.– Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria,  
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria ; Rede e-Tec Brasil, 2014.  
136 p. : il. ; 28 cm  
ISBN 978-85-63573-53-7**

**1. Engenharia elétrica 2. Eletricidade 3. Magnetismo  
4. Eletrostática 5. Avaliação de riscos I. Universidade Federal de  
Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria  
II. Título.**

**CDU 621.31**

# Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,  
Bem-vindo a Rede e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional de ensino, que por sua vez constitui uma das ações do Pronatec – Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego. O Pronatec, instituído pela Lei nº 12.513/2011, tem como objetivo principal expandir, interiorizar e democratizar a oferta de cursos de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) para a população brasileira propiciando caminho de o acesso mais rápido ao emprego.

É neste âmbito que as ações da Rede e-Tec Brasil promovem a parceria entre a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) e as instâncias promotoras de ensino técnico como os Institutos Federais, as Secretarias de Educação dos Estados, as Universidades, as Escolas e Colégios Tecnológicos e o Sistema S.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

A Rede e-Tec Brasil leva diversos cursos técnicos a todas as regiões do país, incentivando os estudantes a concluir o ensino médio e realizar uma formação e atualização contínuas. Os cursos são ofertados pelas instituições de educação profissional e o atendimento ao estudante é realizado tanto nas sedes das instituições quanto em suas unidades remotas, os polos.

Os parceiros da Rede e-Tec Brasil acreditam em uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!  
Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação  
Março de 2014

Nosso contato  
[etecbrasil@mec.gov.br](mailto:etecbrasil@mec.gov.br)



# Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



**Atenção:** indica pontos de maior relevância no texto.



**Saiba mais:** oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



**Glossário:** indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



**Mídias integradas:** sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



**Atividades de aprendizagem:** apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



# Sumário

<b>Palavra do professor-autor.....</b>	<b>11</b>
<b>Apresentação da disciplina.....</b>	<b>13</b>
<b>Projeto instrucional.....</b>	<b>15</b>
<b>Aula 1 – Eletrostática.....</b>	<b>17</b>
1.1 Considerações iniciais.....	17
1.2 Histórico.....	17
1.3 Teoria eletrônica da matéria.....	17
1.4 Princípios da eletrostática.....	19
1.5 Processos de eletrização.....	19
1.6 Leis de Coulomb.....	21
1.7 Campo elétrico.....	22
1.8 Potencial elétrico.....	23
1.9 Equilíbrio eletrostático.....	23
1.10 Descargas atmosféricas.....	24
1.11 Para-raios.....	25
1.12 Gaiola de Faraday.....	26
<b>Aula 2 – Eletrodinâmica.....</b>	<b>29</b>
2.1 Considerações iniciais.....	29
2.2 Grandezas fundamentais do circuito elétrico.....	29
2.3 1 <sup>a</sup> Lei de Ohm.....	32
2.4 2 <sup>a</sup> Lei de Ohm.....	33
2.5 Associação de resistores.....	34
2.6 Circuitos elétricos.....	36
2.7 Potência e energia elétrica.....	37
2.8 Lei de Joule.....	38
<b>Aula 3 – Capacitores.....</b>	<b>41</b>
3.1 Considerações iniciais.....	41
3.2 Capacitância elétrica de um condutor.....	41
3.3 Capacitores.....	42

<b>Aula 4 – Magnetismo</b>	<b>45</b>
4.1 Considerações iniciais	45
4.2 Histórico	45
4.3 Ímãs	45
4.4 Materiais magnéticos e não magnéticos	48
4.5 Processos de magnetização	48
4.6 Classificação dos materiais magnéticos	48
4.7 Lei de Coulomb	48
4.8 Fluxo magnético [ $\Phi$ (Wb)]	49
4.9 Indução magnética [ $\beta$ (T)]	49
4.10 Intensidade magnética [H (A/m)]	49
4.11 Permeabilidade magnética [ $\mu$ (T.m/A)]	50
4.12 Relutância [ $\mathfrak{R}$ (A/Wb)]	50
4.13 Ponto Curie	51
4.14 Curva de histerese magnética	51
<b>Aula 5 – Eletromagnetismo</b>	<b>53</b>
5.1 Considerações iniciais	53
5.2 Histórico	53
5.3 Campo magnético criado por corrente elétrica	54
5.4 Força magnética	58
5.5 Indutância de uma bobina	63
5.6 Força eletromotriz autoinduzida (femai)	63
5.7 Transformador	64
<b>Aula 6 – Corrente alternada – CA</b>	<b>67</b>
6.1 Considerações iniciais	67
6.2 Energia elétrica	67
6.3 Gerador de corrente alternada	68
6.4 Definições em corrente alternada	69
6.5 Potências e energias em circuitos CA monofásicos	71
<b>Aula 7 – Sistema trifásico</b>	<b>75</b>
7.1 Considerações iniciais	75
7.2 Sistema monofásico	75
7.3 Sistema trifásico	77
7.4 Sistema Elétrico de Potência (SEP)	79

<b>Aula 8 – Riscos elétricos .....</b>	<b>83</b>
8.1 Considerações iniciais.....	83
8.2 Choque elétrico.....	83
8.3 Arco elétrico.....	94
8.4 Campo eletromagnético.....	95
8.5 Medidas de controle de riscos elétricos.....	95
<b>Aula 9 – NR 10: Instalações e Serviços em Eletricidade .....</b>	<b>101</b>
9.1 Considerações iniciais.....	101
9.2 Objetivo e campo de aplicação.....	101
9.3 Habilitação, qualificação, capacitação e autorização dos trabalhadores.....	104
9.4 Documentação elétrica e de segurança e procedimentos de trabalho.....	107
9.5 Responsabilidades.....	109
9.6 Segurança em projetos.....	110
9.7 Segurança em instalações elétricas desenergizadas.....	112
9.8 Segurança em instalações elétricas energizadas em baixa e alta tensão.....	112
<b>Aula 10 – Iluminação .....</b>	<b>115</b>
10.1 Conceitos iniciais.....	115
10.2 Histórico.....	115
10.3 Conceitos básicos.....	116
10.4 Definições luminotécnicas básicas.....	118
10.5 Iluminação em ambientes de trabalho.....	123
10.6 Projeto luminotécnico.....	130
<b>Referências .....</b>	<b>135</b>
<b>Curriculum do professor-autor .....</b>	<b>136</b>



## Palavra do professor-autor

O grande desenvolvimento tecnológico da atualidade tem motivado, cada vez mais, o uso das diversas formas de energia. Entretanto, nem sempre o uso dessas formas de energia tem sido acompanhado dos devidos cuidados, pertinentes ao seu uso.

A eletricidade é uma das mais utilizadas formas de energia nesse grande avanço tecnológico, porém seu uso envolve cada vez mais conhecimentos técnicos e a observância dos perigos relativos ao uso da mesma.

Essa disciplina possui como objetivo promover conhecimentos básicos sobre eletricidade, de maneira a fornecer ao aluno condições de entender os princípios e fundamentos que regulam os circuitos elétricos. Essa disciplina promoverá, também, conhecimentos sobre os riscos inerentes ao uso da eletricidade e às normas regulamentadoras envolvidas nessa área. Ao final da mesma, serão analisados diversos conhecimentos luminotécnicos e suas normas, com foco no conforto e segurança na utilização de sistemas de iluminação.

Fico feliz pela sua opção em estudar essa importante área de conhecimento. Tenho certeza do comprometimento e potencial de todos. A construção do grande profissional passa pelo estudo e qualificação, portanto, saibam que vocês estão nesse caminho. Parabéns!

Marcelo Freitas da Silva



# Apresentação da disciplina

Passa pelo uso da eletricidade os maiores avanços tecnológicos dos últimos séculos. Em nosso dia a dia, diversas atividades fazem uso da eletricidade, contudo a mesma envolve um elevado risco. O manuseio da eletricidade, sem o pertinente cuidado ou conhecimento, traz um grande perigo a seus usuários.

Dessa forma, o entendimento dos princípios fundamentais que regem a eletricidade é de suma importância para o seu correto uso. Ao longo do desenvolvimento tecnológico, diversas ferramentas foram criadas a fim de tornar o uso da eletricidade mais segura. Além disso, leis que determinavam a adoção de medidas preventivas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores em eletricidade foram criadas.

Entre as diversas leis e Normas Regulamentadoras (NR), que tratam de segurança no trabalho, citamos uma especialmente desenvolvida para os trabalhadores do setor elétrico, a NR 10. A NR 10 foi criada em 1978, porém sua primeira versão não mais contemplava diversos aspectos importantes do manuseio da eletricidade dos dias atuais. O crescente número de acidente no setor levou o governo à criação de um grupo de trabalho tripartite para a revisão da NR 10. Tal grupo foi instituído, por portaria, em 9 de fevereiro de 2000 e era composto pelas bancadas governamental, patronal e dos trabalhadores. Possuindo ainda, como convidados, membros do Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA). O principal objetivo desse grupo seria criar normativas que tornassem o setor elétrico mais eficaz e seguro.

Após diversas discussões e análises, no dia 07 de dezembro de 2004, através de Portaria nº 598 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) foi instituída a versão atual da NR 10, tema esse que será objeto principal dessa disciplina.

No início dessa disciplina, serão trabalhados os conceitos básicos de eletricidade para um melhor entendimento dos pontos abordados na NR 10. Ao final dessa disciplina será apresentado os conteúdos relacionados a luminotécnica, item este de suma importância nas atividades de trabalho.

Assim, o estudo dos fatores que envolvem o setor elétrico, constitui-se num pré-requisito fundamental para a formação técnica na área de segurança do trabalho.



# Projeto instrucional

**Disciplina:** Tecnologias e Processos Industriais IV (carga horária: 72h).

**Ementa:** Noções básicas de eletricidade. NR 10 – Instalações e Serviços em Eletricidade. Iluminação (definições básicas). Normas de avaliação do nível de iluminamento. Projeto luminotécnico básico.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Eletrostática	Reconhecer, através do histórico da eletricidade, a importância da pesquisa científica para a evolução tecnológica, especialmente relacionada à energia elétrica. Compreender os fenômenos eletrostáticos e suas aplicações. Empregar a nomenclatura técnica no estudo e na interpretação da eletricidade.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	08
2. Eletrodinâmica	Conhecer, compreender e aplicar as grandezas fundamentais dos circuitos elétricos. Relacionar as grandezas fundamentais dos circuitos elétricos através da aplicação das Leis de Ohm. Compreender e aplicar os elementos que compõem um circuito elétrico.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	08
3. Capacitores	Compreender o funcionamento básico dos capacitores, bem como suas características e propriedades. Estudar a forma de armazenamento de energia, bem como os processos de carga e descarga dos capacitores. Compreender e aplicar a associação de capacitores e os seus efeitos no circuito elétrico.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	08
4. Magnetismo	Reconhecer, através da história, a importância do magnetismo para a eletricidade. Caracterizar e aplicar propriedades de um imã. Caracterizar e aplicar as grandezas magnéticas.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	08
5. Eletromagnetismo	Estabelecer a relação entre eletricidade e magnetismo, compreendendo, dessa forma, o eletromagnetismo. Compreender e aplicar as Leis de Faraday e de Lenz. Entender a magnitude e o comportamento dos campos magnéticos e suas influências nos circuitos elétricos.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	08

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
6. Corrente Alternada – CA	<p>Reconhecer as vantagens da energia elétrica diante de outras modalidades energéticas, identificando as suas formas de geração.</p> <p>Reconhecer as vantagens dos sistemas elétricos em CA, bem como compreender os fenômenos eletromagnéticos que os envolvem.</p> <p>Analizar e interpretar circuitos elétricos monofásicos em CA, diferenciando as formas de representação das grandezas elétricas.</p> <p>Empregar a nomenclatura técnica no estudo e interpretação da eletricidade em CA.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios.</p>	06
7. Sistema trifásico	<p>Reconhecer as características e vantagens do sistema trifásico.</p> <p>Diferenciar e aplicar as ligações estrela e triângulo em circuitos trifásicos.</p> <p>Conhecer as etapas de um sistema elétrico de potência.</p> <p>Diferenciar e determinar as potências em circuitos trifásicos.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios.</p>	06
8. Riscos elétricos	<p>Conhecer as definições e conceitos básicos sobre riscos de origem elétrica.</p> <p>Reconhecer a importância de sua determinação.</p> <p>Conhecer os tipos de choques elétricos e quais as medidas de controle para trabalhar com esse risco.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios.</p>	06
9. NR 10: Instalações e Serviços em Eletricidade	<p>Conhecer as normativas pertinentes aos trabalhos com eletricidade.</p> <p>Conhecer a abrangência dessa norma regulamentadora.</p> <p>Diferenciar os perfis dos trabalhadores.</p> <p>Determinar e executar medidas preventivas e corretivas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que interagem direta ou indiretamente com instalações e serviços em eletricidade.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios.</p>	08
10. Iluminação	<p>Conhecer as definições e conceitos básicos sobre iluminação.</p> <p>Reconhecer a importância das normas técnicas pertinentes e suas aplicações.</p> <p>Aplicar as normas técnicas em um projeto luminotécnico.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios.</p>	06

# Aula 1 – Eletrostática

## Objetivos

Reconhecer, através do histórico da eletricidade, a importância da pesquisa científica para a evolução tecnológica, especialmente relacionada à energia elétrica.

Compreender os fenômenos eletrostáticos e suas aplicações.

Empregar a nomenclatura técnica no estudo e na interpretação da eletricidade.

## 1.1 Considerações iniciais

O termo eletrostática refere-se à eletricidade estática, isto é, cargas elétricas em repouso. Os fenômenos eletrostáticos constituem a base para o estudo da eletricidade, que permite entender a sua natureza e sua presença no nosso dia a dia. Dessa forma, essa aula abordará o histórico da eletricidade, os fenômenos e princípios físicos relacionados às cargas elétricas em repouso e suas manifestações na natureza.

## 1.2 Histórico

Os fenômenos da eletricidade eram conhecidos desde a antiguidade, porém sem aplicabilidade. No século VII a.C., Tales, na cidade de Mileto – Grécia – observou que uma substância chamada âmbar, quando atritada, adquiriu a propriedade de atrair outros corpos. Âmbar, em grego, significa *elektron*, motivo pelo qual os fenômenos daí originados denominam-se fenômenos elétricos, e a ciência que os estuda denomina-se eletricidade.



Para saber mais sobre o histórico da eletricidade, acesse:  
<http://www.mundociencia.com.br/fisica/electricidade/historiaelectricidade.htm>

## 1.3 Teoria eletrônica da matéria

Matéria é tudo aquilo que possui massa e ocupa lugar no espaço. Seu entendimento é de vital importância na compreensão dos conceitos elétricos.

### 1.3.1 Matéria e substância

Aquilo que constitui todos os corpos e pode ser percebido por qualquer um dos nossos sentidos é matéria. A madeira de que é feita a mesa e o vidro de que se faz o bulbo de uma lâmpada é matéria. Dessa forma, percebemos que o nome matéria se relaciona com uma variedade grande de coisas. Cada tipo particular de matéria é uma substância, e, portanto, existem milhares de substâncias diferentes.



Assista a um vídeo sobre substâncias, moléculas e átomos em:  
<http://br.youtube.com/watch?v=W5gE09xX618>

### 1.3.2 Moléculas e átomos

Qualquer substância é formada por partículas muito pequenas e invisíveis, mesmo com auxílio de microscópios, chamadas moléculas. A molécula é a menor parte em que se pode dividir uma substância, e que apresenta todas as suas características. Por exemplo, uma molécula de água é a menor quantidade de água que pode existir. As moléculas são constituídas por átomos. O número de átomos que compõem uma molécula varia de acordo com a substância; numa molécula de água ( $H_2O$ ), por exemplo, encontramos três átomos.

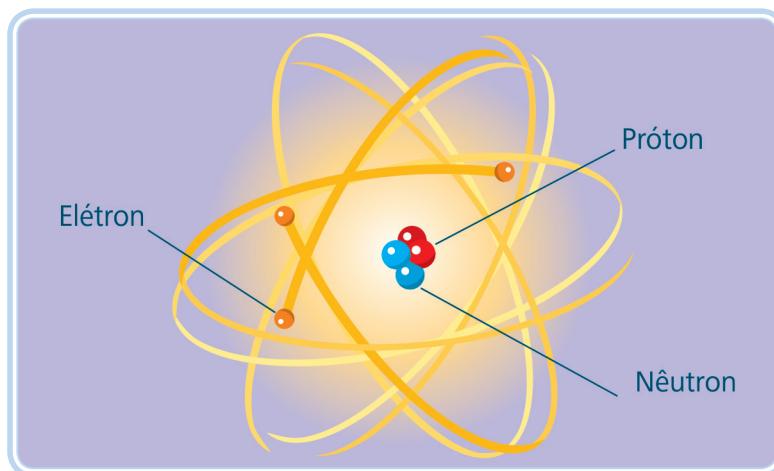


Para saber mais sobre átomos, acesse:  
<http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81tomo>

### 1.3.3 Carga elétrica (Q)

Existem dois tipos de cargas elétricas na natureza, convencionalmente chamadas de cargas positivas e de cargas negativas. Os portadores de cargas elétricas são partículas elementares, em particular, são aquelas que constituem os átomos: elétrons e prótons.

Os átomos são compostos de um núcleo e de uma coroa eletrônica, conforme mostra a Figura 1.1. O núcleo contém os prótons e os nêutrons, enquanto a coroa eletrônica contém os elétrons. Os prótons têm carga positiva, os elétrons têm carga negativa e os nêutrons não tem carga.



**Figura 1.1: Estrutura do átomo**

Fonte: CTISM

### 1.3.4 Condutores e isolantes

Em todos os átomos, existe uma força de atração entre prótons e elétrons que mantém a órbita dos elétrons em torno do núcleo. Entretanto, existem átomos cujos elétrons estão firmemente ligados às suas órbitas e outros com condições de se deslocarem de uma órbita para outras. Os primeiros elétrons, denominamos elétrons presos e os outros, elétrons livres.

Os elétrons livres existem em grande número nos materiais chamados **bons condutores** de eletricidade e não existem, ou praticamente não existem, nos chamados **isolantes**. É essa particularidade que permite a distinção entre essas duas categorias de materiais. Como exemplos de materiais bons condutores, podemos citar o ouro, a prata, o cobre, o alumínio, o ferro e o mercúrio. A madeira, o vidro, a porcelana, o papel e a borracha classificam-se como isolantes.

A-Z

#### condutor

É o material ou a substância que possui portadores de cargas livres, isto é, cargas que são facilmente movimentadas quando sujeitas à ação de forças originadas por um campo elétrico que atue em seu interior.



Para saber mais sobre condutores e isolantes, acesse: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Isolante\\_eletrico](http://pt.wikipedia.org/wiki/Isolante_eletrico)

## 1.4 Princípios da eletrostática

Eletrostática é a parte da eletricidade que estuda o comportamento e as propriedades das cargas elétricas em repouso.

### 1.4.1 Princípios da atração e repulsão

Da observação experimental pode-se obter a chamada Lei de DuFay:

“Corpos eletrizados com cargas de mesmo sinal **repelem-se**. Corpos eletrizados com cargas de sinais contrários **atraem-se**”.

### 1.4.2 Princípio da conservação de cargas elétricas

Num sistema eletricamente isolado, a soma algébrica das cargas elétricas permanece constante. Um sistema eletricamente isolado é um conjunto de corpos que não troca cargas elétricas com o meio exterior.

## 1.5 Processos de eletrização

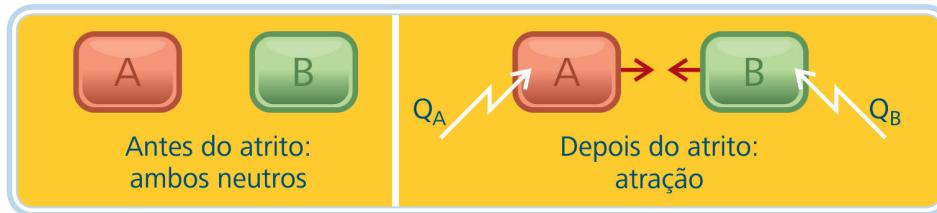
Existem vários processos de eletrização de um material. A seguir cita-se:

### 1.5.1 Eletrização por atrito

Sempre que dois corpos distintos (de substâncias diferentes), inicialmente neutros, são atritados entre si, ambos se eletrizam, com cargas numericamente iguais, mas de sinais opostos, conforme Figura 1.2. A explicação deste fenômeno é que, durante o atrito, a quantidade de elétrons trocados entre os corpos é diferente.



Assista a um vídeo sobre eletrização por atrito em:  
<http://br.youtube.com/watch?v=rDwGI9LwaLM>



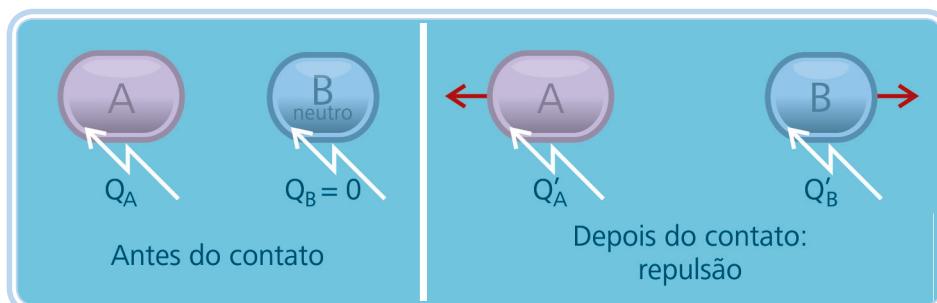
**Figura 1.2: Eletrização por atrito**

Fonte: CTISM

Após o atrito, os corpos A e B ficam eletrizados com cargas de mesmo valor absoluto, mas de sinais opostos. Observe que  $Q_B = -Q_A$  e que  $Q_{TOTAL} = 0$ .

### 1.5.2 Eletrização por contato

Consiste em eletrizar um corpo inicialmente neutro com outro corpo previamente eletrizado. Na Figura 1.3, o corpo B está neutro, enquanto que o corpo A está carregado positivamente.



**Figura 1.3: Eletrização por contato**

Fonte: CTISM

Antes do contato, o corpo A estava com falta de elétrons e o corpo B estava neutro ( $Q_B = 0$ ). Durante o contato, o corpo A atraiu elétrons de B, absorvendo-os. Note que o princípio da conservação de cargas é observado, conforme Equação 1.1:

Equação 1.1

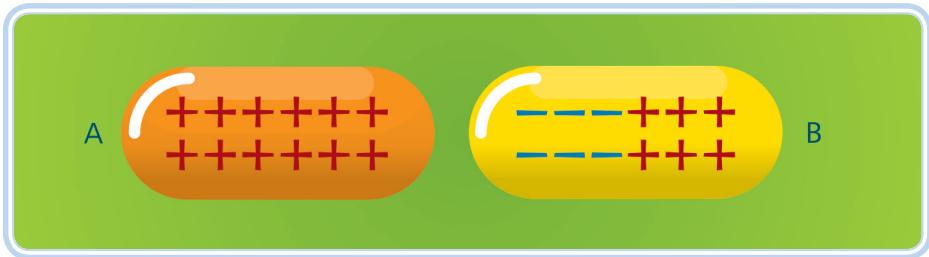
$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B$$

### 1.5.3 Eletrização por indução

Denomina-se eletrização por indução o processo onde, havendo uma simples aproximação (sem contato) de um condutor eletrizado A (indutor) com um condutor neutro B (induzido), ocorra no induzido uma separação de cargas, ficando uma região positiva, uma região negativa e uma região neutra, porém sem a alteração da carga total do induzido, conforme mostra a Figura 1.4.



Para saber mais sobre processos de eletrização, acesse:  
<http://efisica.if.usp.br/eletrostatica/basico/fenomenos/eletrizacao>



**Figura 1.4: Eletrização por indução**

Fonte: CTISM

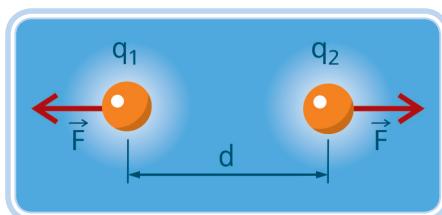
## 1.6 Leis de Coulomb

O estudo correto das forças que se manifestam entre as cargas elétricas foi feito, experimentalmente, por Charles Augustin Coulomb. Segundo Coulomb, a intensidade da força de atração ou repulsão entre duas cargas elétricas:

- É diretamente proporcional à quantidade de carga de cada corpo e, portanto, ao seu produto.
- É inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas.
- Depende do meio onde estão colocadas as cargas.



Conforme a Figura 1.5, matematicamente temos a Equação 1.2:



**Figura 1.5: Lei de Coulomb**

Fonte: CTISM

Equação 1.2

$$\vec{F} = K \times \frac{q_1 \times q_2}{d^2}$$

Onde:  
 $\vec{F}$  – intensidade da força de atração ou repulsão [unidade newton (N)]  
 $K$  – constante eletrostática (seu valor depende do meio e do sistema de unidades utilizado)  
 $q_1$  e  $q_2$  – módulos das cargas puntiformes [unidade coulomb (C)]  
 $d$  – distância entre as cargas [unidade metro (m)]

## 1.7 Campo elétrico



Para saber mais sobre campo elétrico, acesse:  
[http://educar.sc.usp.br/  
licenciatura/1999/wtexto1.html](http://educar.sc.usp.br/licenciatura/1999/wtexto1.html)

Campo elétrico é a região do espaço ao redor de uma carga elétrica, em que esta exerce efeitos eletrostáticos. A carga geradora do campo é denominada carga fonte ( $Q$ ). Uma carga de valor pequeno (que não altere o campo da carga fonte) usada para detectar o campo gerado é denominada carga de prova ( $q$ ).

A equação fundamental do campo elétrico expressa a força ( $\vec{F}$ ) sofrida pela carga de prova ( $q$ ) no referido campo elétrico da carga fonte ( $Q$ ) e é dada pela Equação 1.3:

Equação 1.3

$$\vec{F} = \vec{E} \times q$$

O campo elétrico é uma grandeza vetorial, possuindo módulo (unidade N/C), conforme Equação 1.4, direção e sentido, conforme a Figura 1.6 descritos a seguir:

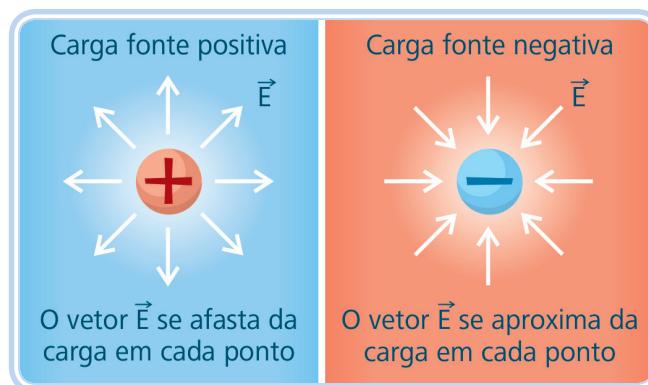
### Módulo

Equação 1.4

$$\vec{E} = K \times \frac{Q}{d^2}$$

**Direção** – reta que une a carga de prova à carga fonte.

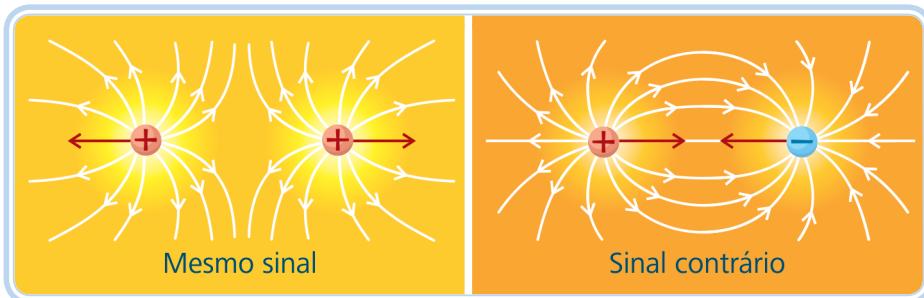
**Sentido** – depende do sinal da carga fonte.



**Figura 1.6: Direção e sentido do campo elétrico**

Fonte: CTISM

As linhas de força permitem representar um campo elétrico, e são traçadas tangente ao vetor campo elétrico em cada ponto do campo, saindo nas superfícies dos corpos positivos (fontes) e chegando nas superfícies dos corpos negativos (sorvedouros). A Figura 1.7 mostra espectros do campo elétrico entre duas cargas iguais em módulo, com mesmo sinal e com sinais contrários.



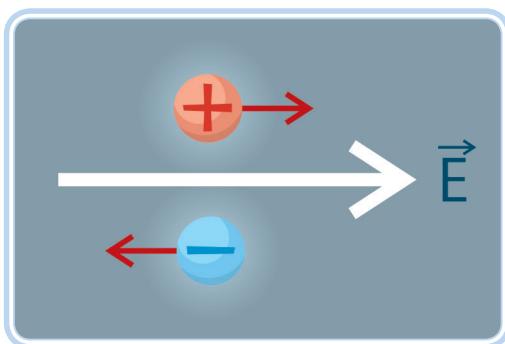
**Figura 1.7: Espectros do campo elétrico**

Fonte: CTISM

Quando uma carga elétrica puntiforme livre é abandonada no interior de um campo elétrico, sua trajetória coincidirá sempre com a linha de força do campo. As cargas positivas livres se deslocam espontaneamente a favor do campo elétrico e as cargas negativas livres se deslocam contra o campo elétrico, conforme a Figura 1.8.



Assista a um vídeo sobre uma descarga elétrica entre potenciais diferentes em:  
[http://br.youtube.com/watch?v=bodsfDn\\_Mtw](http://br.youtube.com/watch?v=bodsfDn_Mtw)



**Figura 1.8: Trajetória das cargas no campo elétrico**

Fonte: CTISM

## 1.8 Potencial elétrico

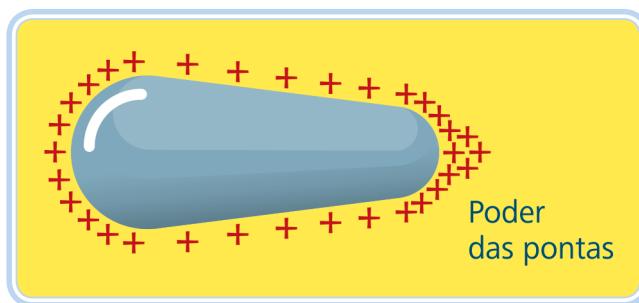
Potencial elétrico é a capacidade que uma carga elétrica tem de realizar trabalho através de seu campo elétrico. Cargas elétricas deslocam-se dos maiores potenciais para os menores potenciais elétricos. A diferença de potencial elétrico entre dois pontos (ddp) é chamada de tensão elétrica cuja unidade é o volt (joule/coulomb) e indica a capacidade de os elétrons realizarem trabalho no seu deslocamento entre esses pontos.

## 1.9 Equilíbrio eletrostático

O equilíbrio eletrostático representa a estabilidade das cargas elétricas de um determinado condutor, isto é, não há deslocamento de cargas elétricas. Observa-se que:



- O potencial elétrico em todos os pontos internos ou da superfície externa do condutor em equilíbrio eletrostático é constante.
- O campo elétrico no interior de um condutor em equilíbrio eletrostático é nulo.
- A distribuição das cargas elétricas em excesso (positivas ou negativas) num condutor em equilíbrio eletrostático é sempre pela superfície externa.
- A distribuição de cargas elétricas em excesso num condutor em equilíbrio eletrostático se dá com maior concentração nas regiões do corpo onde existe menor raio de curvatura, conforme mostra a Figura 1.9.



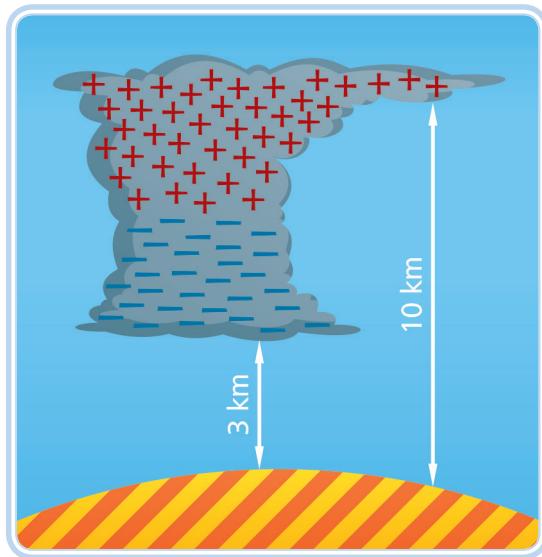
**Figura 1.9: Distribuição das cargas elétricas num condutor**

Fonte: CTISM

## 1.10 Descargas atmosféricas

Pesquisas comprovam que as descargas atmosféricas ocorrem devido a um processo de eletrização por atrito entre as partículas de água que compõem as nuvens, provocadas por ventos de forte intensidade. Este atrito dá às nuvens uma característica bipolar, conforme mostra a Figura 1.10.

Como podemos ver na Figura 1.10, a concentração de cargas elétricas negativas na base da nuvem atrai as cargas positivas para a superfície da Terra, originando uma diferença de potencial. Quando esta diferença de potencial ultrapassa a capacidade de isolação do ar, cargas elétricas migram na direção da terra, ocasionando a descarga atmosférica.



**Figura 1.10: Eletrização das nuvens**

Fonte: CTISM



Assista a um vídeo sobre um raio atingindo uma árvore em:  
[http://www.youtube.com/watch?v=3tp-ghN\\_v6Y](http://www.youtube.com/watch?v=3tp-ghN_v6Y)

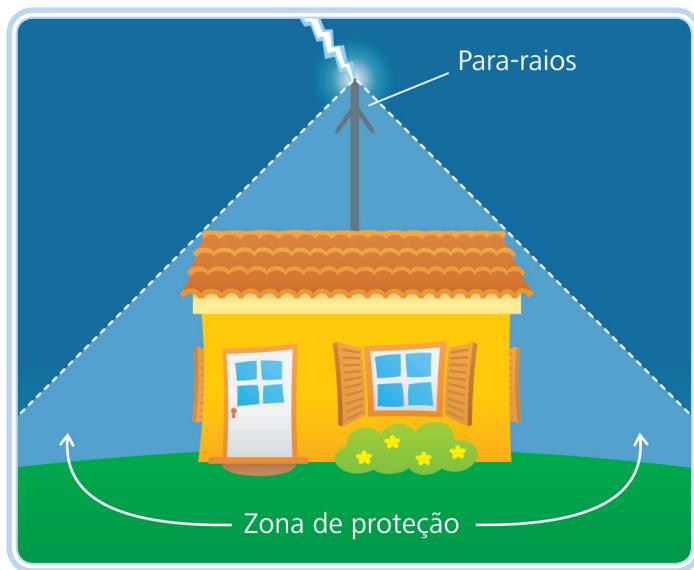
## 1.11 Para-raios

As descargas atmosféricas causam sérias perturbações nas redes aéreas de transmissão e distribuição de energia elétrica, além de provocarem danos materiais nas construções atingidas por elas, sem contar o risco de vida a que as pessoas e animais são submetidos. Induzem, também, surtos de tensão que chegam a milhares de volts nas redes aéreas de transmissão e distribuição das concessionárias de energia elétrica, obrigando a utilização de cabos-guarda ao longo das linhas de tensão mais elevadas e para-raios para a proteção de equipamentos instalados nesses sistemas.

Quando as descargas elétricas entram em contato direto com qualquer tipo de construção, tais como edificações, tanques metálicos de armazenamento de líquidos, partes estruturais ou não de subestações, são registrados grandes danos materiais que poderiam ser evitados, caso essas construções estivessem protegidas adequadamente por para-raios. Um tipo de para-raios é a haste **Franklin**, que se baseia fundamentalmente no poder das pontas, conforme mostra a Figura 1.11.



Assista a um vídeo sobre para-raios em:  
[http://www.youtube.com/watch?v=CpF4e7A\\_IMM](http://www.youtube.com/watch?v=CpF4e7A_IMM)



**Figura 1.11: Aplicação de para-raios**

Fonte: CTISM

## 1.12 Gaiola de Faraday



Assista a um vídeo sobre uma descarga atmosférica em um avião em:  
<http://www.youtube.com/watch?v=oK5XsmNn364>

Uma gaiola de Faraday é uma blindagem eletromagnética, ou seja, uma superfície condutora que envolve uma dada região do espaço e que pode, em certas situações, impedir a entrada de perturbações produzidas por campos elétricos e ou campos magnéticos externos. Este nome foi dado em homenagem ao pesquisador Michael Faraday, que descobriu estes efeitos.

Esse fenômeno pode ser percebido quando uma descarga atmosférica atinge um avião em pleno voo. A corrente de descarga percorre a estrutura metálica do avião, concentrando-se na superfície externa, produzindo um potencial constante no interior do avião e, consequentemente, diferença de potencial igual a zero, sem afetar a tripulação, passageiros, nem instrumentos de bordo.

## Resumo

A eletrostática constitui-se em base científica para o estudo da eletricidade, uma vez que aborda os princípios físicos naturais da eletricidade, fundamentais para o entendimento dos fenômenos elétricos. Dessa forma, ao concluirmos essa aula, adquirimos os conhecimentos necessários para avançarmos no estudo da eletrodinâmica, que compõe a próxima aula.

## Atividades de aprendizagem



1. Diferencie matéria e substância.
2. Defina condutores e isolantes.
3. Cite e explique os princípios da eletrostática.
4. Conceitue eletrização, diferenciando seus tipos.
5. Atritando-se dois bastões de vidro eletricamente neutros, observa-se que ambos não se eletrizam. Por que isso ocorre?
6. Dispõe-se de três esferas metálicas idênticas e isoladas uma da outra. Duas delas, A e B, estão descarregadas enquanto a esfera C contém uma carga elétrica Q. Faz-se a esfera C tocar primeiro a esfera A e depois a esfera B. No final deste procedimento, qual a carga elétrica das esferas A, B e C?
7. Faça o seguinte experimento envolvendo eletrização: utilizando um pente plástico, execute movimentos repetitivos de pentear-se, e, a seguir, aproxime a parte do pente que esteve em contato com os cabelos a pequenos pedaços de papel. Observe que os pedaços de papel são atraídos pelo pente. Por que isso ocorre? Quais os tipos de eletrização envolvidos neste procedimento?
8. Explique a Lei de Coulomb, equacionando-a.
9. Duas cargas elétricas puntiformes separadas por uma distância "d" exercem entre si uma força de interação eletrostática "F". Se a distância for reduzida à metade, o que acontecerá com a força?
10. Diferencie campo elétrico e potencial elétrico.
11. Explique como se formam as descargas atmosféricas, bem como suas consequências e formas de proteção.
12. Uma esfera e uma haste pontiaguda, ambas devidamente conectadas ao solo, são submetidas em condições iguais a uma tempestade. Onde haverá maior probabilidade de descarga atmosférica? Por quê?



# Aula 2 – Eletrodinâmica

## Objetivos

Conhecer, compreender e aplicar as grandezas fundamentais dos circuitos elétricos.

Relacionar as grandezas fundamentais dos circuitos elétricos através da aplicação das Leis de Ohm.

Compreender e aplicar os elementos que compõem um circuito elétrico.

## 2.1 Considerações iniciais

A eletrodinâmica estuda os elétrons e seus efeitos em movimento. Para que possamos estudá-la, devemos ter um bom entendimento prévio da teoria eletrostática, mais especificamente sobre a teoria da matéria, condutores e isolantes, campo elétrico e potencial elétrico.

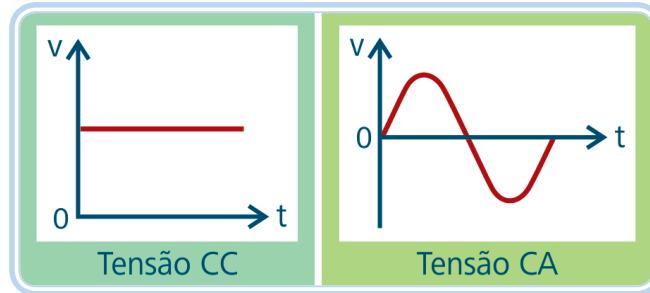
## 2.2 Grandezas fundamentais do circuito elétrico

Para compreensão dos fenômenos elétricos é necessário o conhecimento de todas as suas grandezas. A seguir, serão apresentadas as principais, com suas definições e unidades de medição.

### 2.2.1 Tensão elétrica

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:  $1\text{ V} = 1\text{ J/C}$ .

Em função do campo elétrico que origina a tensão, podemos defini-las em tensão continua (CC), cuja origem é um campo elétrico constante, e tensão alternada (CA), cuja origem é um campo elétrico alternado, periodicamente invertendo seu sentido, ao longo do tempo, conforme mostra a Figura 2.1. A tensão CA mais utilizada é de característica senoidal.



**Figura 2.1: Tipos de tensão**

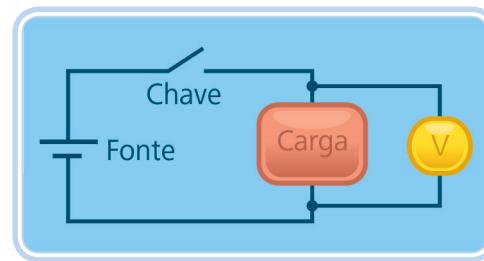
Fonte: CTISM

## A-Z

### medição de tensão

Para medição de tensão utilizamos o voltímetro, ligado em paralelo com o elemento que consome energia elétrica a ser medida.

O voltímetro possui alta resistência a fim de não interferir nas características elétricas do circuito ao qual está ligado.



**Figura 2.2: Medição de tensão em um circuito elétrico**

Fonte: CTISM

## 2.2.2 Corrente elétrica

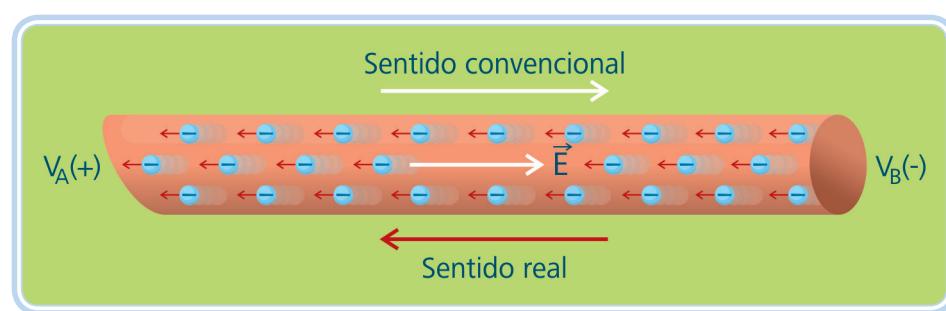
Corrente elétrica em um condutor é o movimento ordenado de suas cargas livres devido à ação de um campo elétrico estabelecido no seu interior pela aplicação de uma ddp entre dois pontos desse condutor.

O sentido da corrente é convencionado como o deslocamento das cargas livres positivas do condutor. É chamada corrente convencional a corrente de cargas positivas num condutor metálico, enquanto a corrente real é a corrente das cargas livres negativas, isto é, dos elétrons, conforme a Figura 2.3.



Para saber mais sobre os efeitos da corrente elétrica, acesse:

[http://efisica.if.usp.br/electricidade/basico/corrente/elementos\\_corrente\\_eletrica](http://efisica.if.usp.br/electricidade/basico/corrente/elementos_corrente_eletrica)



**Figura 2.3: Sentidos da corrente elétrica**

Fonte: CTISM

Já a sua intensidade é a quantidade de carga que atravessa a seção transversal de um condutor na unidade de tempo, conforme Equações 2.1 e 2.2. Sua unidade é o ampère (A) ( $1\text{ A} = 1\text{ C/s}$ ).

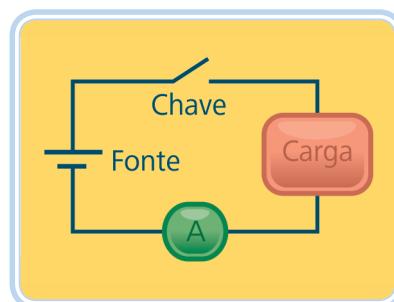
Equação 2.1

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

Equação 2.2

$$\text{ampère} = \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}}$$

Da mesma forma que a tensão, a corrente elétrica pode ser CC ou CA. A corrente CC é produzida por uma tensão CC, cujos elétrons se deslocam num único sentido, enquanto a corrente CA é produzida por uma tensão CA, cujos elétrons tem deslocamento bidirecional, acompanhando a variação de polaridade da tensão. A **medição de corrente** é realizada conforme o circuito da Figura 2.4.



**Figura 2.4: Medição de corrente em um circuito elétrico**

Fonte: CTISM

## 2.2.3 Resistência elétrica

É a dificuldade que um material apresenta à passagem da corrente elétrica. A resistência de um condutor é dada pela constante de proporcionalidade igual à razão entre a tensão mantida entre os terminais deste condutor e a intensidade da corrente por ela ocasionada, conforme Equação 2.3.

Equação 2.3

$$\frac{\text{Tensão}}{\text{Corrente}} = \text{Constante para um mesmo condutor}$$

Sua unidade é o ohm ( $\Omega$ ), onde  $1\text{ }\Omega = 1\text{ V/A}$ .



Para saber mais sobre ampère, acesse:

[http://pt.wikipedia.org/  
wiki/Andr%C3%A9-Marie\\_  
Amp%C3%A8re](http://pt.wikipedia.org/wiki/Andr%C3%A9-Marie_Amp%C3%A8re)

## A-Z

### medição de corrente

Para medição de corrente utilizamos o amperímetro, ligado em série com o elemento que consome energia elétrica a ser medido.

O amperímetro possui baixa resistência a fim de não interferir nas características elétricas do circuito ao qual está ligado.

## A-Z

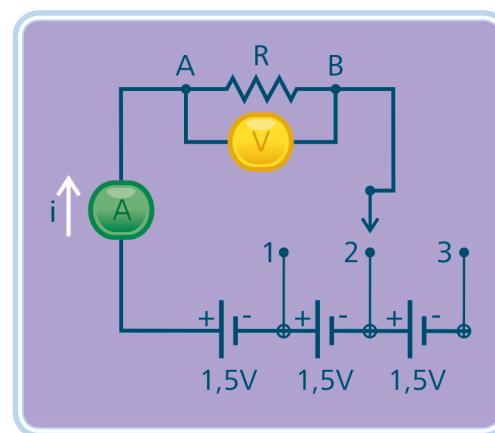
### resistência elétrica

Para medição de resistência utilizamos o ohmímetro, ligado em paralelo com o elemento a ser medido.

Quando um elemento apresenta resistência nula dizemos que este representa um curto-círcuito. Quando um elemento apresenta resistência infinita dizemos que este representa um circuito aberto.

## 2.3 1<sup>a</sup> Lei de Ohm

Entre dois pontos de um material percorrido por uma corrente elétrica, existe uma proporcionalidade entre a corrente que circula e a diferença de potencial aplicada ao material. Toda vez que se variar a tensão no circuito (terminais 1, 2 e 3), através de uma chave seletora, conforme a Figura 2.5, a corrente também irá variar na ordem direta dos seus valores, isto é, se aumentarmos a tensão, a corrente também irá aumentar; se diminuirmos a tensão a corrente também irá diminuir.



**Figura 2.5: 1<sup>a</sup> Lei de Ohm**

Fonte: CTISM

Observou-se, também, que se a tensão fosse mantida constante a corrente apenas variaria à medida que fosse variada a resistência elétrica do condutor na ordem inversa de seus valores.

Assim, chegou-se ao seguinte enunciado, conhecido como Lei de Ohm:



"A intensidade da corrente que percorre um condutor é diretamente proporcional à tensão elétrica que a ocasionou, e inversamente proporcional à resistência elétrica do condutor."

As Equações 2.4, 2.5 e 2.6 representam as relações entre as grandezas elétricas de corrente, tensão e resistência.

Equação 2.4

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

Equação 2.5

$$V = R \times i$$

Equação 2.6

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

## 2.4 2<sup>a</sup> Lei de Ohm

Ohm realizou estudos a fim de analisar o comportamento da resistência elétrica dos materiais, variando a resistência R de quatro formas diferentes, conforme se descreve na Figura 2.6.

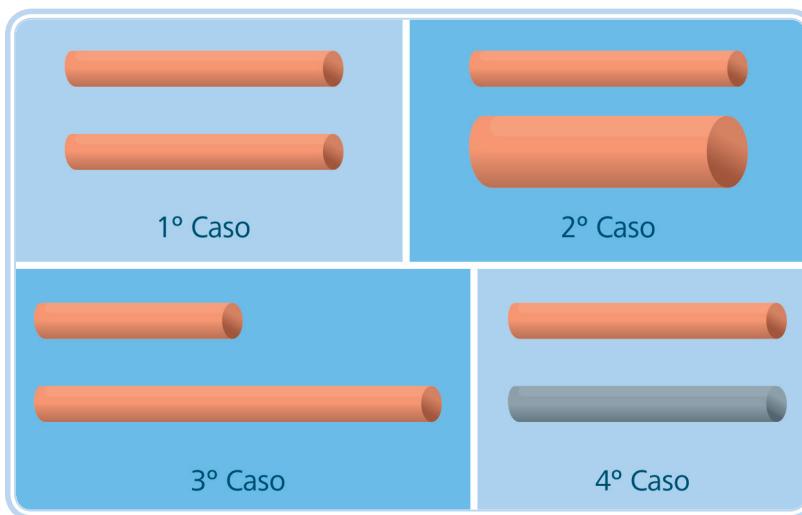


Figura 2.6: 2<sup>a</sup> Lei de Ohm

Fonte: CTISM

**1º Caso** – aplicou uma mesma ddp em dois condutores de mesma área, comprimento e material.

**2º Caso** – aplicou uma mesma ddp em dois condutores de mesmo comprimento e material, mas a área do segundo é igual ao dobro da área do primeiro.

**3º Caso** – aplicou uma mesma ddp em dois condutores de mesmo material e área, mas o comprimento do primeiro é igual à metade do segundo.

**4º Caso** – aplicou uma mesma ddp em dois condutores de mesmo comprimento e área, porém de materiais diferentes, constatando que a corrente em cada material é diferente.

Com essa experiência, Ohm observou que a variação de resistência depende do material, do comprimento e da área, enunciando a segunda lei:



"A resistência elétrica ( $R$ ) do condutor é diretamente proporcional ao seu comprimento ( $l$ ), inversamente proporcional a sua secção ( $A$ ) e depende ainda do material com que é feito este condutor ( $\rho$ )", conforme representado na Equação 2.7.

Equação 2.7

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

Onde:  $\rho$  – resistividade ou resistência específica

O valor de  $\rho$  depende exclusivamente da natureza da substância da qual o condutor é feito, da temperatura e das unidades utilizadas.

## 2.5 Associação de resistores

Podemos associar resistores em série, em paralelo ou de forma mista, combinando as duas formas anteriores.

### 2.5.1 Associação em série

Dois ou mais resistores constituem uma associação em série quando estão ligados, de modo que a mesma corrente percorra cada um deles, conforme a Figura 2.7.

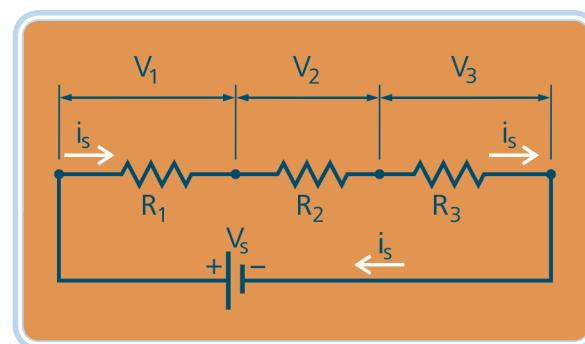


Figura 2.7: Associação em série

Fonte: CTISM

Na associação em série, pode-se dizer que:

- a) A intensidade da corrente que percorre o resistor é igual a intensidade da corrente que percorre cada resistor associado, conforme Equação 2.8:

Equação 2.8

$$i_s = i_1 = i_2 = i_3 = \text{constante}$$

- b) A ddp entre os seus terminais é a soma das ddp entre os terminais de cada resistor associado, conforme Equação 2.9:

Equação 2.9

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3$$

- c) A sua resistência é igual a soma das resistências de cada um dos resistores associados, conforme Equação 2.10:

Equação 2.10

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

## 2.5.2 Associação em paralelo

Dois ou mais resistores constituem uma associação em paralelo quando estão ligados de modo que a ddp entre seus terminais é a mesma, conforme a Figura 2.8.

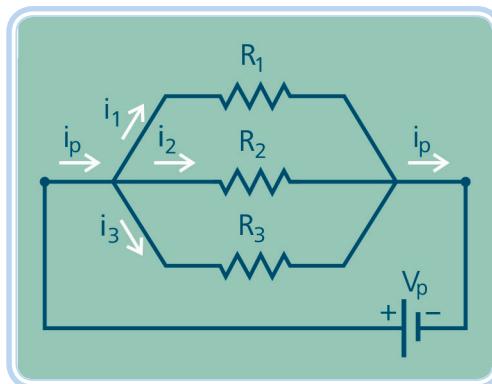


Figura 2.8: Associação em paralelo

Fonte: CTISM

Na associação em paralelo, pode-se dizer que:

- a) A intensidade da corrente que percorre o resistor equivalente é igual a soma das intensidades das correntes que percorrem cada um dos resistores associados, conforme Equação 2.11:

Equação 2.11

$$i_p = i_1 + i_2 + i_3$$

- b) A ddp entre os terminais do resistor equivalente é igual a ddp entre os terminais de cada um dos resistores associados, conforme Equação 2.12:

Equação 2.12

$$V_p = V_1 = V_2 = V_3 = \text{constante}$$

- c) O inverso da resistência do resistor equivalente ( $R_p$ ) é a soma dos inversos das resistências dos resistores associados, conforme Equação 2.13:

Equação 2.13

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

Para  $n$  resistores iguais associados em paralelo, pode-se utilizar a Equação 2.14:

Equação 2.14

$$R_p = \frac{R}{n}$$

Para a associação de dois resistores em paralelo ( $R_p$ ), pode-se utilizar a Equação 2.15:

Equação 2.15

$$R_p = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

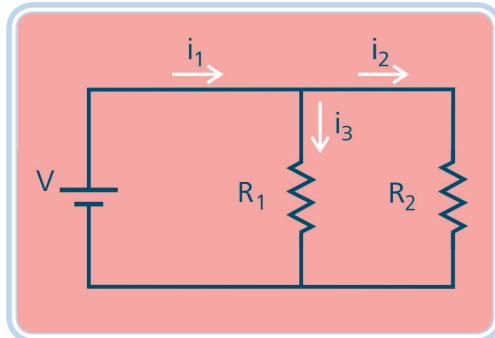
## 2.6 Circuitos elétricos

Os circuitos elétricos podem ser ligados de diversas formas diferentes. Entretanto esses arranjos obedecem leis físicas específicas.

### 2.6.1 Leis de Kirchhoff

**1<sup>a</sup> Lei** – a soma das correntes que chegam a um nó do circuito é igual à soma das correntes que saem desse nó, conforme a Figura 2.9.

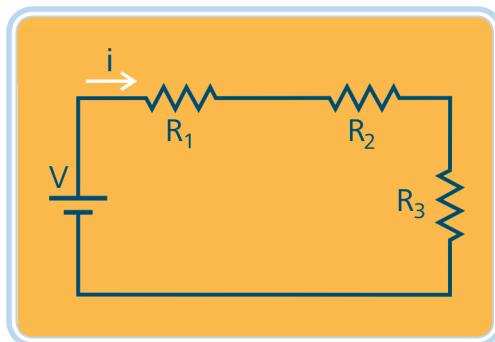
Observe que  $i_1 = i_2 + i_3$ .



**Figura 2.9: 1<sup>a</sup> Lei de Kirchhoff**

Fonte: CTISM

**2<sup>a</sup> Lei** – o somatório das quedas de tensão em um caminho fechado é igual a zero. Por exemplo, na Figura 2.10 a soma dos produtos das correntes pelas resistências (quedas de tensão) em cada malha do circuito é igual à tensão aplicada a esta malha, conforme demonstrado na Equação 2.16.



**Figura 2.10: 2<sup>a</sup> Lei de Kirchhoff**

Fonte: CTISM

Equação 2.16

$$i \times R_1 + i \times R_2 + i \times R_3 = V$$

## 2.7 Potência e energia elétrica

Potência é a relação entre o trabalho realizado e o tempo gasto para realizá-lo. Sua unidade é o watt (W), e sua medição se dá através do wattímetro.

Matematicamente a energia pode ser expressa pelo produto da potência pelo tempo. Sua unidade no sistema internacional de unidades é o joule (J), existindo subunidades como o Wh (watt-hora) ou kWh (quilowatt-hora), e sua medição se dá através de um medidor de kWh.



Para saber mais sobre conversão de unidades, acesse:  
<http://jumk.de/calc/energia-pt.shtml>

## 2.8 Lei de Joule

A energia potencial elétrica ( $W$ ) dissipada num resistor por efeito joule, é diretamente proporcional à resistência do resistor, ao tempo de duração da corrente e ao quadrado da intensidade da corrente, conforme Equações 2.17, 2.18 e 2.19. A Figura 2.11 mostra uma aplicação do efeito joule.

Assista a um vídeo sobre  
medidores de energia em:  
[http://pt.wikipedia.org/  
wiki/Medidor\\_de\\_energia\\_  
el%C3%A9trica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Medidor_de_energia_eletrica)

Equação 2.17

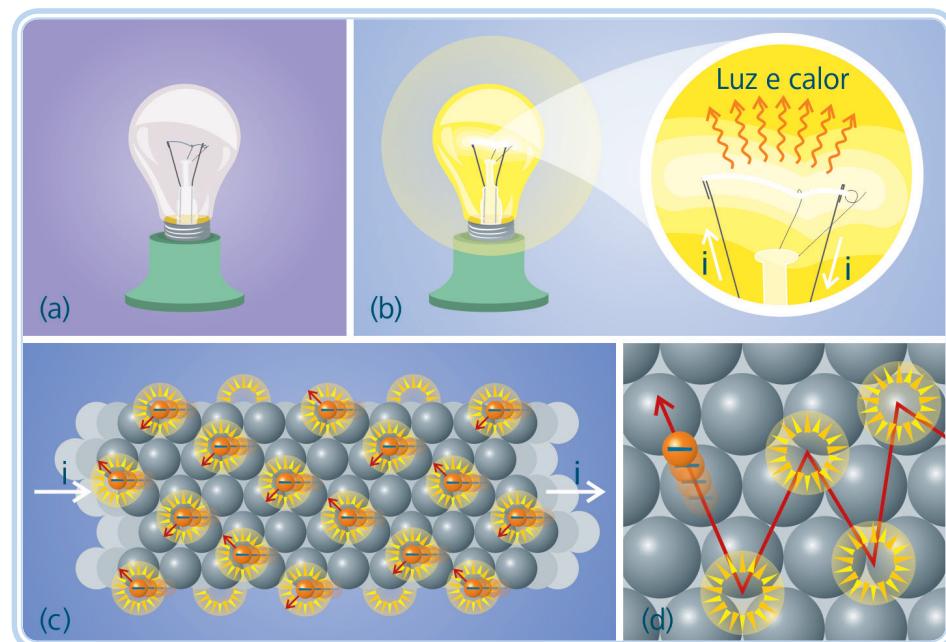
$$W = R \times i^2 \times t$$

Equação 2.18

$$W = V \times i \times t$$

Equação 2.19

$$W = \frac{V^2}{R} \times t$$



**Figura 2.11: Efeito joule em um condutor**

Fonte: CTISM

Deduzindo as equações que seguem em termos de potência elétrica, conforme as Equações 2.20, 2.21, 2.22 e 2.23:

Equação 2.20

$$P = V \times i$$

Equação 2.21

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

Equação 2.22

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

Equação 2.23

$$P = \frac{V^2}{R}$$

## Resumo

Ao final do estudo da eletrodinâmica, estamos aptos a analisar circuitos elétricos em corrente contínua, relacionando suas grandezas fundamentais, bem como a definir e aplicar os conceitos de potência elétrica e energia elétrica. Nessa aula estudamos os circuitos elétricos com cargas resistivas, isto é, capazes de transformar energia elétrica em energia térmica (calor). Na próxima aula, estudaremos os capacitores, que são dispositivos de armazenamento de energia elétrica.

## Atividades de aprendizagem



1. Cite e conceitue as grandezas fundamentais de um circuito elétrico.
2. Explique a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> Lei de Ohm.
3. Diferencie associação série de paralelo. Cite exemplos de suas aplicações.
4. Considerando as formas de se associarem resistores, como estão associadas as cargas elétricas em sua residência?
5. Três resistências iguais estão conectadas em série e ligadas a uma bateria, sendo percorridas por uma corrente  $i$ . Determine quantas vezes a corrente irá aumentar ou diminuir, se ligarmos essas três resistências em paralelo à mesma bateria.
6. Explique as Leis de Kirchhoff.
7. Agora que você já sabe o que é um circuito elétrico e conhece as Leis de Kirchhoff, explique o que é queda de tensão em um circuito elétrico.

- 8.** Diferencie potência elétrica de energia elétrica.
- 9.** Explique como ocorre o efeito joule.
- 10.** Que aparelhos do nosso cotidiano utilizam a Lei de Joule como princípio de funcionamento?
- 11.** Tendo em mãos a potência de seu chuveiro elétrico, o tempo médio mensal de uso, bem como, a nota fiscal de energia elétrica. Determine a despesa mensal de energia em sua casa, apenas para o aquecimento de água no chuveiro.

# Aula 3 – Capacitores

## Objetivos

Compreender o funcionamento básico dos capacitores, bem como suas características e propriedades.

Estudar a forma de armazenamento de energia, bem como os processos de carga e descargas dos capacitores.

Compreender e aplicar a associação de capacitores e os seus efeitos no circuito elétrico.

## 3.1 Considerações iniciais

O estudo sobre capacitores é fundamental para o conhecimento da eletricidade. Características como o armazenamento de energia, filtragem de ondações em retificadores e produção de circuitos oscilatórios o tornam um importante componente dentro de um circuito elétrico.

## 3.2 Capacitância elétrica de um condutor

É um valor característico de um dado corpo e avaliado pela razão entre seu potencial e sua carga, conforme Equações 3.1 e 3.2. É constante em cada meio onde o corpo for colocado, tendo como unidade o farad (F), sendo 1 farad igual à capacidade elétrica de um condutor que com carga de 1 coulomb atinge um potencial de 1 volt.

Dessa forma, a capacidade elétrica de um condutor pode ser determinada matematicamente através da relação entre a carga e o potencial do condutor; porém, fisicamente, a capacidade depende da forma geométrica do condutor, de suas dimensões e da natureza do isolante que o envolve.

Equação 3.1

$$C = \frac{Q}{V}$$

Equação 3.2

$$Q = C \times V$$

### 3.3 Capacitores



Para saber mais sobre tipos de capacitores, acesse:  
<http://www.dsee.fee.unicamp.br/~sato/ET515/node16.html>

Os condutores podem armazenar grandes quantidades de carga, mas desparam-se rapidamente, inviabilizando seu uso como elementos capacitivos. Porém, existem dispositivos de altas capacitâncias elétricas denominados capacitores, com grande vantagem sobre os condutores pelo seu reduzido tamanho.

O capacitor é composto por dois eletrodos de placas condutoras separadas por um meio isolante (dielétrico) que armazena cargas opostas.

#### 3.3.1 Capacitor plano

As placas iguais e paralelas armazena cargas elétricas iguais e opostas. Assim, a carga total do capacitor é igual à zero, conforme a Figura 3.1.

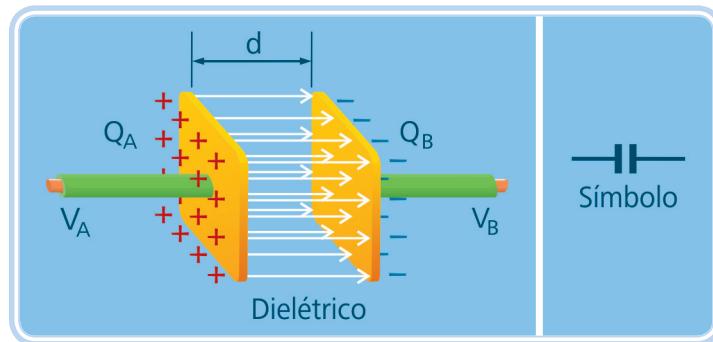


Figura 3.1: Capacitor plano

Fonte: CTISM

A capacidade de um capacitor plano é diretamente proporcional à área das placas e inversamente proporcional à espessura do dielétrico (distância entre as placas), conforme Equações 3.3 e 3.4.

Equação 3.3

$$C = \epsilon \times \frac{A}{d}$$

Equação 3.4

$$C = \frac{1}{4\pi \times K} \times \frac{A}{d}$$

Onde:  $\epsilon$  – permeabilidade elétrica  
A – área útil das placas planas  
d – distância entre as placas

### 3.3.2 Processo de carga de um capacitor

Suponhamos um circuito constituído de uma bateria de tensão E, um capacitor de capacidade C, duas chaves ch<sub>1</sub> e ch<sub>2</sub> e uma resistência R, conforme a Figura 3.2.

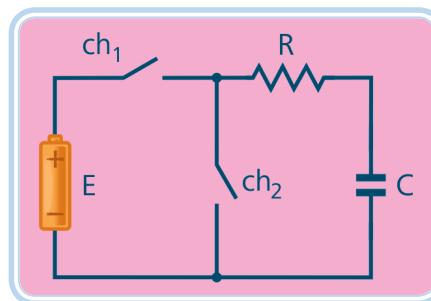


Figura 3.2: Circuito com capacitor

Fonte: CTISM

No instante em que a chave ch<sub>1</sub> é ligada, a tensão nos extremos do capacitor é zero, passando a crescer rapidamente até o valor de tensão da pilha E. Enquanto a tensão nos extremos do capacitor aumenta, sua carga Q cresce proporcionalmente, o que significa que enquanto a tensão estiver variando no sentido de aumentar, a bateria estará fornecendo corrente. Esta, entretanto, não circula através do dielétrico, pois o fluxo de elétrons se produz no circuito externo ao capacitor, ficando a placa ligada ao polo positivo do gerador com deficiência de elétrons, e a placa ligada ao polo negativo com excesso. O fluxo de elétrons continuará até que as duas placas tenham adquirido uma carga suficiente para que a tensão entre elas seja exatamente igual e oposta à tensão aplicada E.

Quando isso ocorrer, a corrente no circuito se torna igual à zero, sendo, pois, de natureza transitória: é máxima no instante em que se liga a chave ch<sub>1</sub> (capacitor descarregado = curto-circuito), diminui e tende para zero quando o capacitor estiver carregado (capacitor carregado = circuito aberto).

### 3.3.3 Processo de descarga de um capacitor

Se abrirmos a chave ch<sub>1</sub> depois de carregado o capacitor, a tensão nos extremos das placas do capacitor permanece igual à tensão da bateria, mas com o decorrer do tempo vai diminuindo até anular-se, pois, mesmo com os terminais abertos, o capacitor irá descarregar. Isso se deve ao fato de que os materiais

que constituem o dielétrico não são isolantes perfeitos, e uma corrente de fraca intensidade chamada corrente de fuga circula através do dielétrico. Quando o número de elétrons for igual ao número de cargas positivas em cada placa, a tensão será nula, e o capacitor estará descarregado.

Agora, se após abrirmos a chave  $ch_1$ , fecharmos a chave  $ch_2$ , a descarga acontecerá no resistor R, dissipando a energia armazenada no capacitor sob forma de calor no resistor.

## Resumo

Nessa aula, estudamos o comportamento de um capacitor no circuito elétrico em corrente contínua, envolvendo os processos de carga e descarga de capacitores. Na próxima aula, estudaremos os fundamentos do magnetismo, permitindo, posteriormente, relacioná-lo com a eletricidade.



## Atividades de aprendizagem

1. Conceitue capacitors. De que depende a capacitors de um capacitor?
2. Explique o processo de carga e descarga de um capacitor.
3. Pesquise e explique as diferenças entre regime transitório e regime permanente de um circuito.
4. Cite aplicações de capacitores.
5. Entre as placas de um capacitor plano afastadas de uma distância d, existe uma diferença de potencial V. Reduzindo-se à metade o afastamento entre as placas, o que ocorre com a capacitors deste capacitor?

# Aula 4 – Magnetismo

## Objetivos

Reconhecer, através da história, a importância do magnetismo para a eletricidade.

Caracterizar e aplicar propriedades de um imã.

Caracterizar e aplicar as grandezas magnéticas.

### 4.1 Considerações iniciais

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.

### 4.2 Histórico

Não se tem registro do início do estudo sobre o magnetismo, nem de sua origem. Os gregos já sabiam desde a antiguidade que certas pedras da região da Magnésia, na Ásia Menor, atraíam pedaços de ferros. Esta rocha era a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). As rochas que contém o minério que apresenta este poder de atração são chamadas de imãs naturais.



Para saber mais sobre a história do magnetismo, acesse:  
[http://servlab.fis.unb.br/matdid/1\\_2004/airton-josafa/magnetismo/principal.htm](http://servlab.fis.unb.br/matdid/1_2004/airton-josafa/magnetismo/principal.htm)

Em 1600, William Gilbert, descobriu a razão de a agulha de uma bússola orientar-se em direções definidas: a Terra é um imã permanente. E o fato de o polo norte da agulha ser atraído pelo polo norte geográfico da Terra, quer dizer que este polo é, na realidade, polo sul magnético. Isso se verifica ao saber que polos de mesmo nome de dois imãs repelem-se e de nomes opostos se atraem.



Assista a um vídeo sobre magnetismo da Terra em:  
<http://www.youtube.com/watch?v=BRDJmXhWaAM>

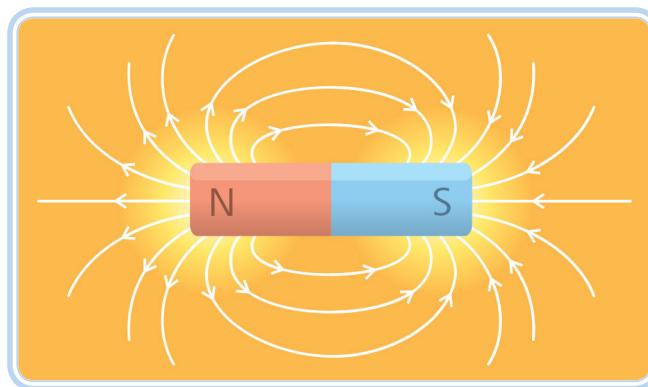
### 4.3 Ímãs

Os imãs têm seus domínios magnéticos orientados em um único sentido e possuem ao seu redor um campo magnético onde exercem ações magnéticas como a magnetita, que é um imã natural.

Todo ímã possui duas regiões denominadas polos, situados nos extremos do ímã, onde este exerce de forma mais intensa suas interações magnéticas. Os polos são denominados norte e sul.

### 4.3.1 Campo magnético de um ímã

O campo magnético é a região do espaço em torno de um material magnético onde se observam seus efeitos magnéticos, isto é, sua atração e sua repulsão com outros corpos. Por ser invisível, convencionou-se que o sentido das linhas de indução é tal, que elas saem do polo norte e entram no polo sul por fora do ímã, e saem do polo sul e entram no polo norte por dentro do ímã, conforme a Figura 4.1.

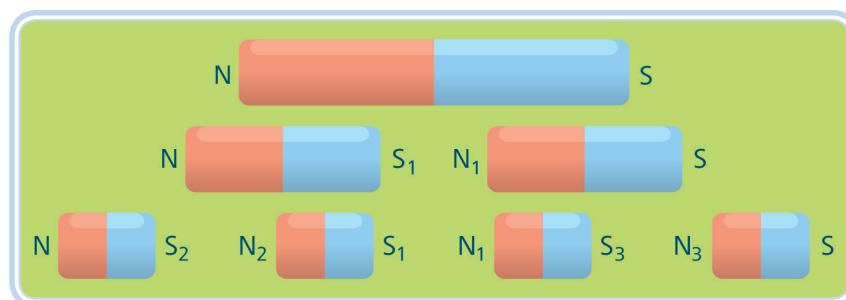


**Figura 4.1:** Linhas de indução

Fonte: CTISM

### 4.3.2 Inseparabilidade dos polos

Quebrando-se um ímã em forma de barra, em duas partes, não obteremos dois ímãs, um com somente o polo sul e o outro somente com o polo norte, mas dois ímãs menores com ambos os polos, conforme a Figura 4.2. Se continuarmos dividindo o mesmo ímã, obteremos sempre o mesmo resultado. Isto se deve ao fato de que as propriedades magnéticas são intrínsecas às moléculas que constituem o material.

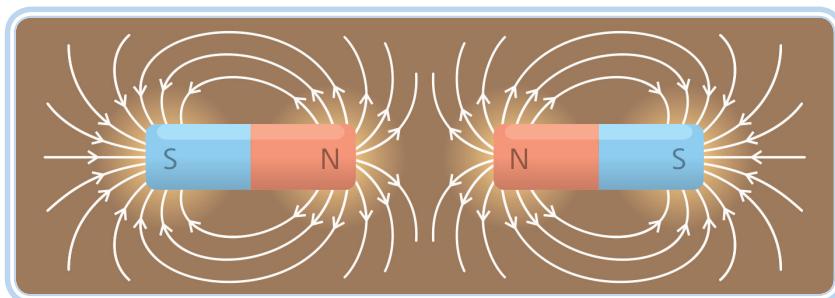


**Figura 4.2:** Inseparabilidade dos polos

Fonte: CTISM

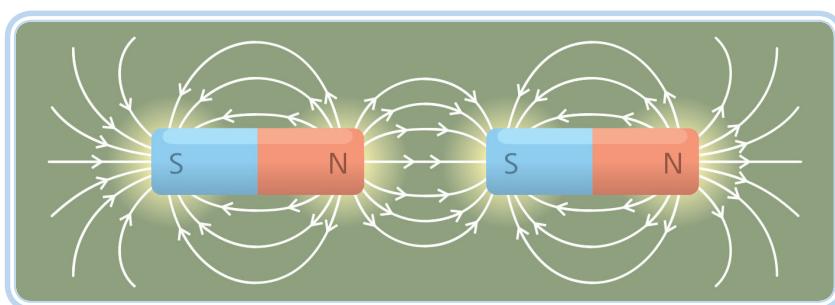
### 4.3.3 Interação magnética entre dois ímãs

Observe nas Figuras 4.3 e 4.4 o comportamento das linhas de campo quando interagimos polos de mesmo nome (repulsão) e polos de nomes contrários (atração).



**Figura 4.3: Repulsão magnética entre polos de mesmo nome**

Fonte: CTISM



**Figura 4.4: Atração magnética entre polos de nomes contrários**

Fonte: CTISM

### 4.3.4 Tipos de ímãs

O único ímã natural é a magnetita. Sua utilidade é, no entanto, apenas histórica, pois é rara, fraca e de difícil industrialização. A magnetita não passa de dióxido de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

Também temos o ímã artificial, que é qualquer objeto que tenha adquirido propriedades magnéticas através de processos de imantação. Porém, interessa-nos, em nosso estudo, os que são imantados pelo uso de corrente elétrica, que podem ser classificados em artificiais permanentes e artificiais temporários. Os artificiais permanentes tem a característica de conservarem o seu próprio campo magnético, mesmo depois de cessado o campo indutor ou a corrente elétrica, tal como o aço. Os artificiais temporários têm a característica de não conservarem o campo magnético após cessado o campo indutor ou a corrente elétrica, tal como o ferro.

## 4.4 Materiais magnéticos e não magnéticos

Materiais magnéticos são aqueles que permitem a orientação de seus ímãs elementares, tais como ferro, aço e níquel.

Os materiais não magnéticos são aqueles onde os efeitos magnéticos de seus ímãs elementares anulam-se completamente e não reagem a um campo magnético externo, tais como plásticos, madeiras e borrachas.

## 4.5 Processos de magnetização

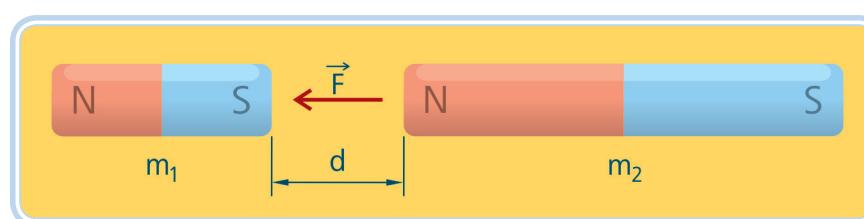
Como um material pode magnetizar-se alinhando suas moléculas? A melhor maneira de fazê-lo é aplicando-lhe uma força magnética. Tal força deverá agir contra o campo magnético de cada molécula, orientando-as. Isso pode ser feito por atrito, por indução e, principalmente, por corrente elétrica, que ocorre quando uma bobina é ligada a uma bateria. A corrente elétrica produz um campo magnético que magnetiza o ferro. A magnetização do ferro se produz pela ação do campo magnético que se origina da corrente elétrica, ao circular pelas espiras. As linhas de força orientam os domínios magnéticos do ferro numa só direção, imantando o núcleo.

## 4.6 Classificação dos materiais magnéticos

Os materiais podem ser ferromagnéticos, quando são atraídos fortemente pelos polos de um ímã; paramagnéticos, quando, na presença de um campo magnético, são atraídos fracamente pelos dois polos dos ímãs; e diamagnéticos, quando, na presença de um campo magnético, são repelidos pelos dois polos dos ímãs.

## 4.7 Lei de Coulomb

Coulomb realizou uma experiência onde dois ímãs compridos e finos foram dispostos a certa distância, conforme Figura 4.5, a fim de atribuir um valor quantitativo de magnetismo, chegando a seguinte afirmação:



**Figura 4.5: Polos de nomes contrários se atraem**

Fonte: CTISM

Para saber mais sobre Charles Augustin de Coulomb, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Charles\\_de\\_Coulomb](http://pt.wikipedia.org/wiki/Charles_de_Coulomb)

“A força de atração entre dois ímãs é diretamente proporcional ao produto das massas magnéticas dos corpos e inversamente proporcional ao quadrado das distâncias entre eles e depende ainda do meio em que se encontra o fenômeno” conforme representado pela Equação 4.1.

Equação 4.1

$$\vec{F} = h \times \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

Onde:  $\vec{F}$  – força magnética [newton (N)]  
h – constante magnética do meio  
m – massa magnética [weber (Wb)]  
r – distância entre os corpos [metros (m)]

## 4.8 Fluxo magnético [ $\phi$ (Wb)]

É definido como o número total de linhas de campo magnético que atravessam determinada seção. Sua unidade no Sistema Internacional (SI) é o weber (Wb). Um weber é igual a  $1 \times 10^8$  linhas de campo magnético.

## 4.9 Indução magnética [ $\beta$ (T)]

Também chamada de densidade de fluxo magnético, representa o fluxo magnético por unidade de área de uma secção perpendicular ao sentido do fluxo, conforme Equação 4.2. A unidade de indução magnética é o Wb/m<sup>2</sup> que é chamado de tesla (T).

Equação 4.2

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

## 4.10 Intensidade magnética [H (A/m)]

É uma grandeza vetorial definida em cada ponto do campo. Para representar, no interior do imã, a intensidade de magnetização e, ao mesmo tempo, a direção e o sentido da orientação dos ímãs elementares que o constituem, dá-se à intensidade de magnetização o caráter de um vetor, tendo a direção do eixo magnético dos ímãs elementares orientados e dirigidos no sentido sul-norte.

Se cada unidade de volume de um imã é constituída por um igual número de ímãs elementares igualmente orientados, a intensidade magnética do imã é, então constante em valor, direção e sentido. Em todos os outros casos,

a intensidade de magnetização varia em valor e direção de um ponto para o outro do imã, sendo a intensidade magnética resultante da média das intensidades desses pontos. A unidade da intensidade magnética é o A/m.

## 4.11 Permeabilidade magnética [ $\mu$ (T.m/A)]

A permeabilidade magnética exprime a facilidade que um determinado meio, com dimensões (comprimento e área de seção transversal) unitárias, oferece ao estabelecimento de um campo magnético. Essa grandeza é expressa pela Equação 4.3:

Equação 4.3

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

No vácuo,  $\mu_0 = 4 \times \pi \times 10^{-7}$  T.m/A.

O valor de  $\mu$  é uma grandeza característica de cada material, pois indica a aptidão que um determinado material possui em reforçar um campo magnético inicial sendo  $\beta = \mu \times H$ .

A permeabilidade relativa,  $\mu_R$ , de um determinado material é representada pelo quociente entre a permeabilidade do material e a permeabilidade do vácuo, representando, assim, um fator de proporção relativa à permeabilidade do vácuo.

## 4.12 Relutância [ $\mathfrak{R}$ (A/Wb)]

A relutância magnética, de um circuito magnético, pode ser definida como a dificuldade oferecida pelo circuito à passagem do fluxo magnético através do mesmo. Sua unidade é o ampère/weber. A relutância é o inverso da permeânciia (facilidade oferecida pelo circuito à passagem do fluxo magnético).

A relutância é diretamente proporcional ao comprimento do caminho magnético ( $l$ ) e inversamente proporcional a permeabilidade ( $\mu$ ) e a seção transversal do material ( $A$ ). A relutância pode ser calculada conforme Equação 4.4.

Equação 4.4

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu \times A}$$

## 4.13 Ponto Curie

Quando a temperatura de um material ferromagnético é elevada acima de certo valor crítico, o material perde suas propriedades magnéticas tornando-se simplesmente paramagnético.



Para saber mais sobre ponto Curie e histerese, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura\\_de\\_Curie](http://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura_de_Curie)

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Histerese>

## 4.14 Curva de histerese magnética

É a curva que relaciona a intensidade magnética e a indução magnética ( $\beta \times H$ ) em um determinado material.

## Resumo

Nessa aula, estudamos os princípios básicos do magnetismo, envolvendo as propriedades magnéticas dos materiais e as grandezas magnéticas. Estes conhecimentos são fundamentais para prosseguirmos com o estudo do electromagnetismo, o qual visa relacionar a eletricidade e o magnetismo.

## Atividades de aprendizagem



1. O que é um ímã?
2. Diferencie materiais magnéticos dos não magnéticos.
3. Cite e explique os processos de magnetização e de desmagnetização.
4. Conceitue fluxo magnético e indução magnética.
5. De que depende a relutância de um circuito magnético?
6. Explique o significado da histerese magnética de um material.
7. Qual a importância da curva de histerese no projeto de máquinas elétricas?
8. O que determina o ponto Curie de uma dada substância?



# Aula 5 – Eletromagnetismo

## Objetivos

Estabelecer a relação entre eletricidade e magnetismo, compreendendo, desta forma, o eletromagnetismo.

Compreender e aplicar as Leis de Faraday e de Lenz.

Entender a magnitude e o comportamento dos campos magnéticos e suas influências nos circuitos elétricos.

## 5.1 Considerações iniciais

O eletromagnetismo estuda as propriedades elétricas e magnéticas da matéria a fim de compreender a relação existente entre elas. É esta relação que possibilitará a utilização das propriedades e dos recursos do magnetismo na eletricidade.

## 5.2 Histórico

Procurando identificar a origem do magnetismo nos corpos, William Gilbert, no século XIV, pesava metais antes e depois de serem magnetizados e concluindo que a magnetização não modifica o peso do corpo. Naquela ocasião, a eletricidade e o magnetismo ainda não se apresentavam como ciência, o que só foi alcançado no século XVIII. Mas no século XIX, uma nova descoberta lançou os físicos numa tarefa que levou à formulação da ciência do eletromagnetismo.

Hans Christian Oersted (1777-1851), físico dinamarquês, descobriu a relação entre circuitos magnéticos e elétricos através de uma experiência, relatada no decorrer desta aula. Além de sugerir que os fenômenos elétricos e magnéticos estão relacionados, a descoberta de Oersted levou à conclusão de que a corrente elétrica cria um campo magnético no espaço que a circunda.

Dessa forma, campos magnéticos idênticos aos originados por ímãs naturais podem ser produzidos através de corrente elétrica, permitindo o desenvolvi-

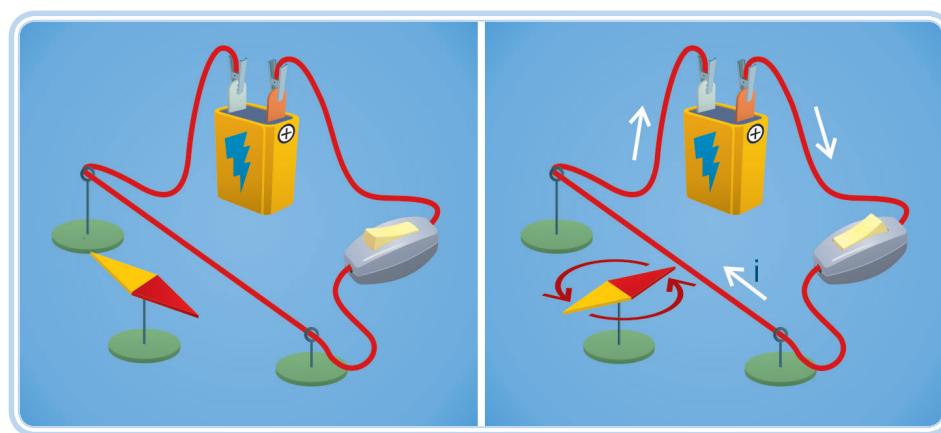
mento de diversos equipamentos diretamente relacionados à produção e à utilização da energia elétrica, tais como geradores, motores e transformadores.

## 5.3 Campo magnético criado por corrente elétrica



Para saber mais sobre campos magnéticos, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Campo\\_magn%C3%A9tico](http://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_magn%C3%A9tico)

Sempre que houver cargas elétricas em movimento, em torno dessas cargas surgirá um campo magnético. A Figura 5.1 mostra a experiência de Oersted; onde o campo magnético criado por corrente elétrica interage com a agulha de uma bússola, desviando-a.



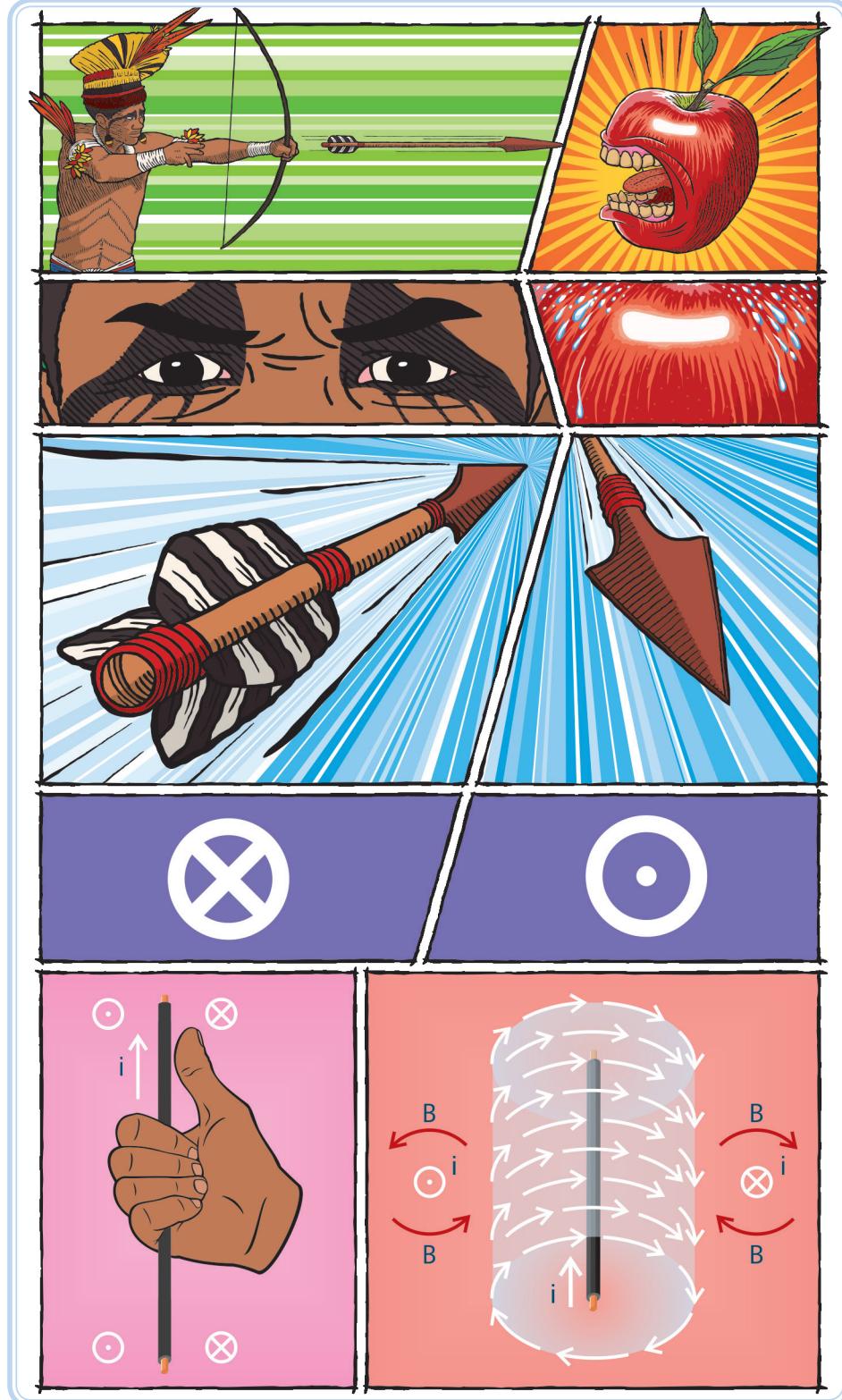
**Figura 5.1: Experiência de Oersted**

Fonte: CTISM

O aspecto do campo magnético gerado por corrente elétrica depende do tipo e formato do condutor, conforme veremos a seguir.

### 5.3.1 Campo magnético criado por condutor retilíneo

O campo magnético gerado por um fio retilíneo extenso é tal, que as linhas de indução são circunferências concêntricas, centradas no próprio fio. O sentido desse campo magnético pode ser obtido pela regra da mão direita, aplicada conforme a Figura 5.2. O polegar é colocado no sentido convencional da corrente e os outros dedos que envolvem o condutor, indicam o sentido de  $\beta$ .



**Figura 5.2: Regra da mão direita**

Fonte: CTISM

Num determinado ponto P do campo magnético, o vetor  $\vec{B}$  pode ser representado num plano que seja perpendicular ao condutor e que contenha o

ponto P. Observe que  $\beta$  é tangente à circunferência que contém o ponto P. Nessas condições, a intensidade de  $\beta$  pode ser determinada pela Equação 5.1:

Equação 5.1

$$\beta = \frac{\mu_0 \times i}{2 \times d}$$

Onde:  $\mu_0$  – permeabilidade magnética do meio, no caso, o vácuo  
 $i$  – corrente  
 $d$  – distância do ponto P ao fio

### 5.3.2 Campo magnético criado por espira circular

Espira circular é um fio condutor moldado em forma de circunferência. Os polos norte e sul da espira circular são determinados, respectivamente, pela saída e entrada das linhas de indução. Para relacionar o sentido do vetor  $\beta$  com o sentido da corrente  $i$ , utiliza-se a regra da mão direita, conforme a Figura 5.3.

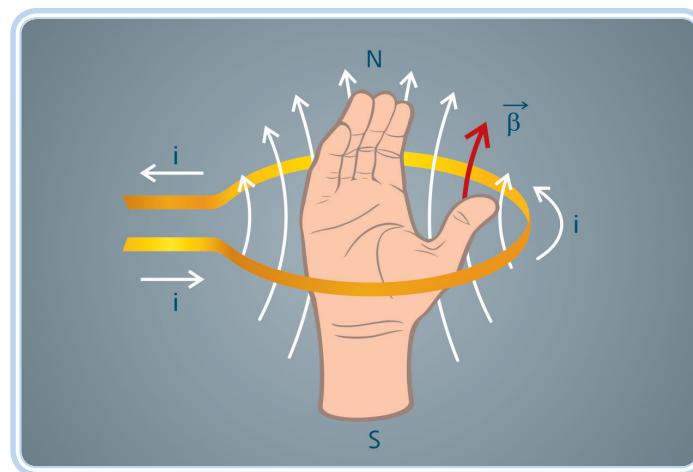


Figura 5.3: Polaridade magnética em uma espira

Fonte: CTISM

A intensidade de  $\beta$  é dada pela Equação 5.2:

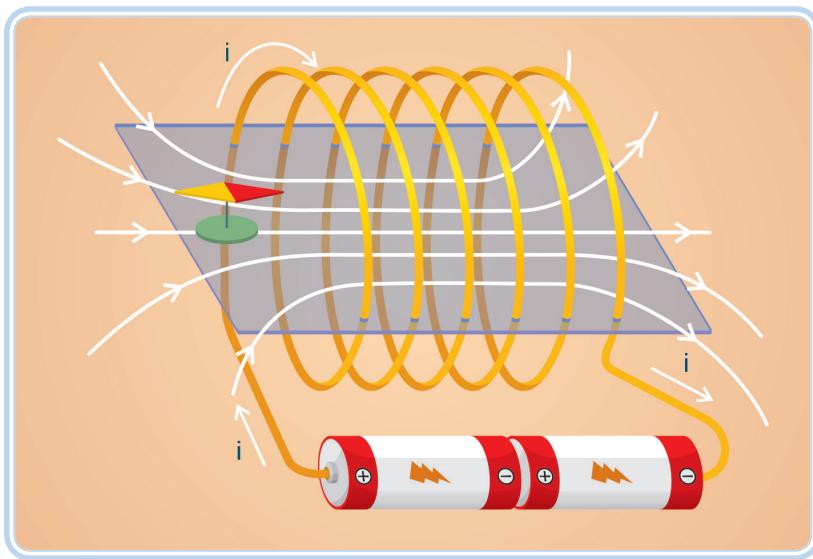
Equação 5.2

$$\beta = \frac{\mu_0 \times i}{2 \times r}$$

Onde:  $r$  – raio da espira

### 5.3.3 Campo magnético criado por bobina

Uma bobina (solenóide) é constituída por um fio enrolado várias vezes, tomando uma forma cilíndrica, conforme a Figura 5.4. Cada uma das voltas do fio da bobina é denominada uma espira.



**Figura 5.4: Campo magnético criado por uma bobina**

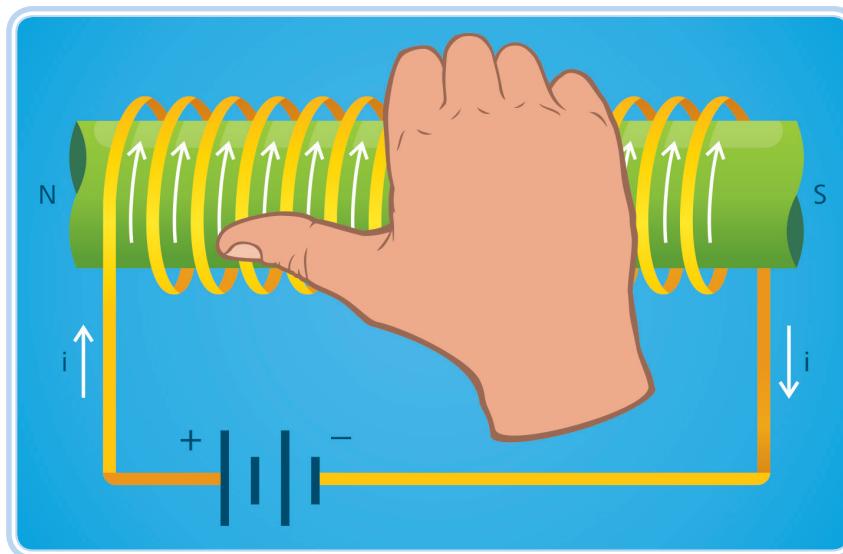
Fonte: CTISM

Dessa forma, considerando as espiras muito próximas e desprezando o comprimento da bobina, temos a Equação 5.3:

Equação 5.3

$$\beta = N \times \frac{\mu_0 \times i}{2 \times r}$$

Se inserirmos um núcleo ferromagnético em uma bobina, teremos um eletroímã cuja polaridade pode ser determinada, aplicando-se a regra da mão direita, conforme a Figura 5.5.



**Figura 5.5: Princípio do eletroímã**

Fonte: CTISM

## 5.4 Força magnética

A força magnética é um dos tipos de força possíveis entre objetos diferentes. Tais forças podem atuar não necessitando contato entre esses objetos.

### 5.4.1 Força magnética numa carga em movimento

Cargas elétricas em movimento originam campo magnético. Estando a carga elétrica em movimento, em um campo magnético, há uma interação entre esse campo e o originado pela carga. Essa interação manifesta-se por forças que agem na carga elétrica que são denominadas forças magnéticas.

### 5.4.2 Força magnética num condutor percorrido por corrente



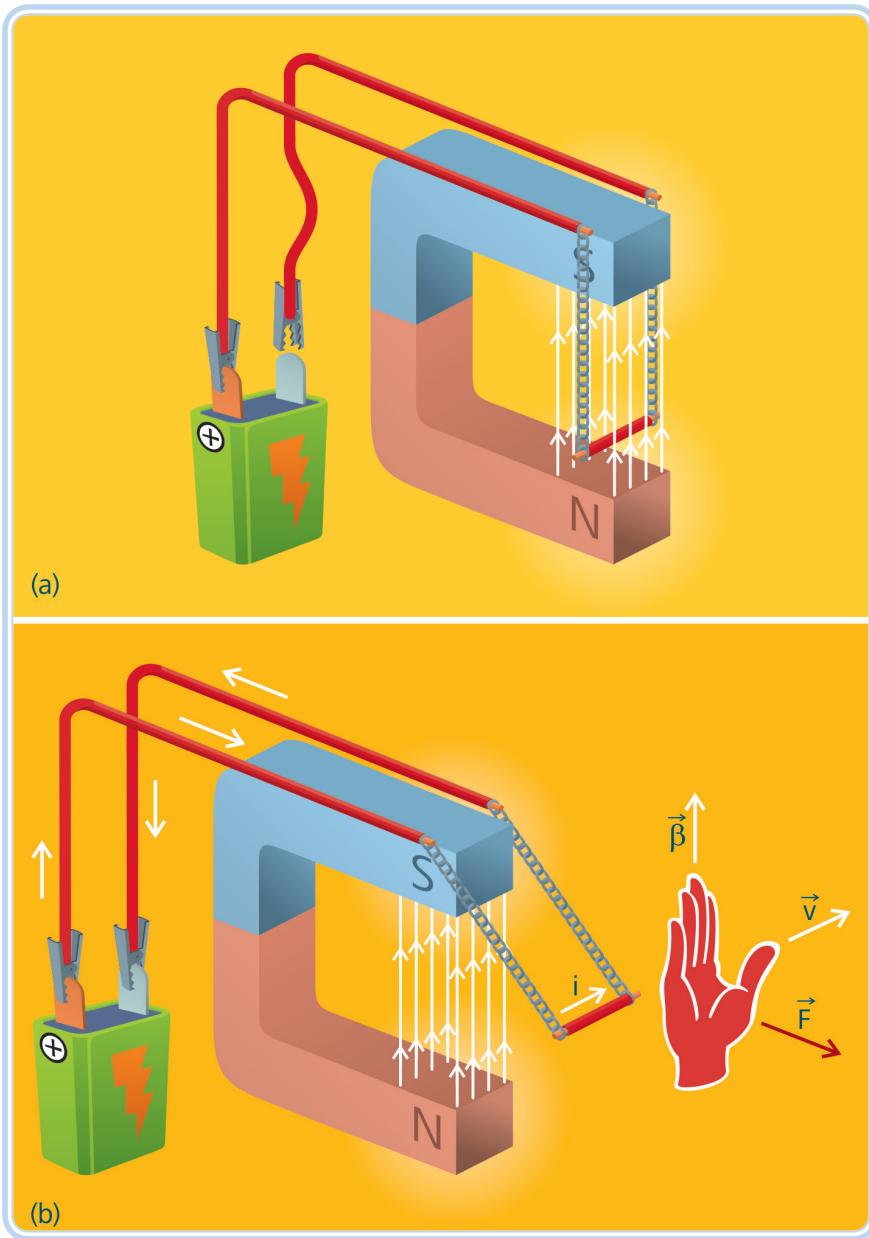
"Em todo condutor percorrido por corrente e imerso num campo magnético de tal forma a cortar suas linhas de fluxo magnético, surge uma força magnética."

O sentido dessa força é dado pela regra da mão direita conforme Figura 5.6, e a magnitude da força é dado pela Equação 5.4:

Equação 5.4

$$F = \beta \times i \times l \times \sin(\theta)$$

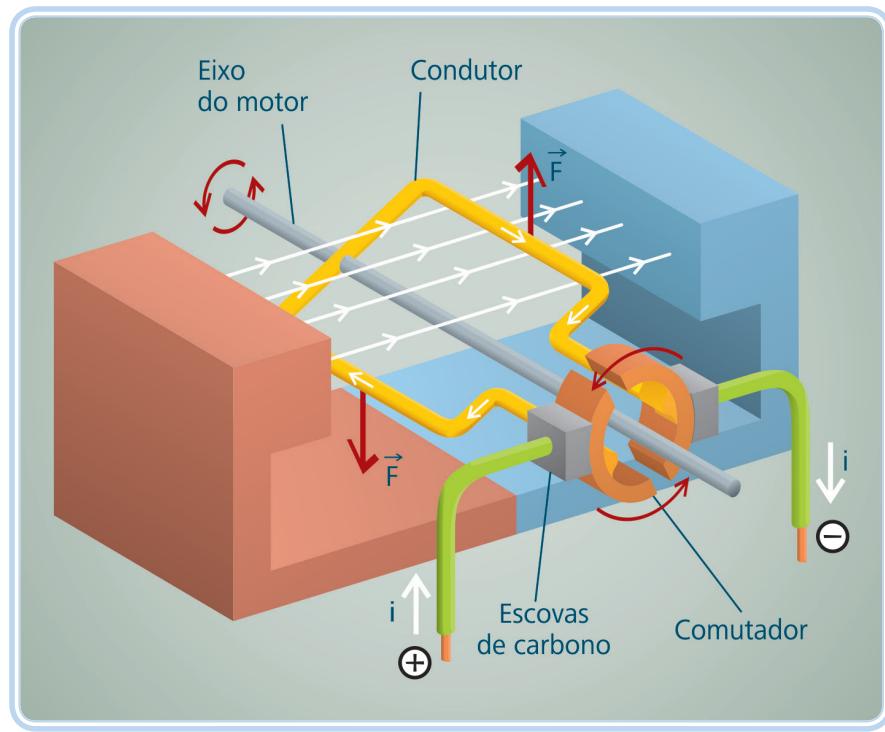
Onde:  
 $\beta$  – vetor indução magnética  
 $i$  – corrente elétrica (ampère)  
 $l$  – comprimento do condutor imerso no campo  
 $\theta$  – ângulo entre  $\beta$  e a corrente  $i$



**Figura 5.6: Força magnética num condutor percorrido por corrente**

Fonte: CTISM

Essa força magnética é usada para fazer funcionar um grande número de aparelhos elétricos como os medidores (amperímetros e voltímetros), bem como motores elétricos, conforme a Figura 5.7.

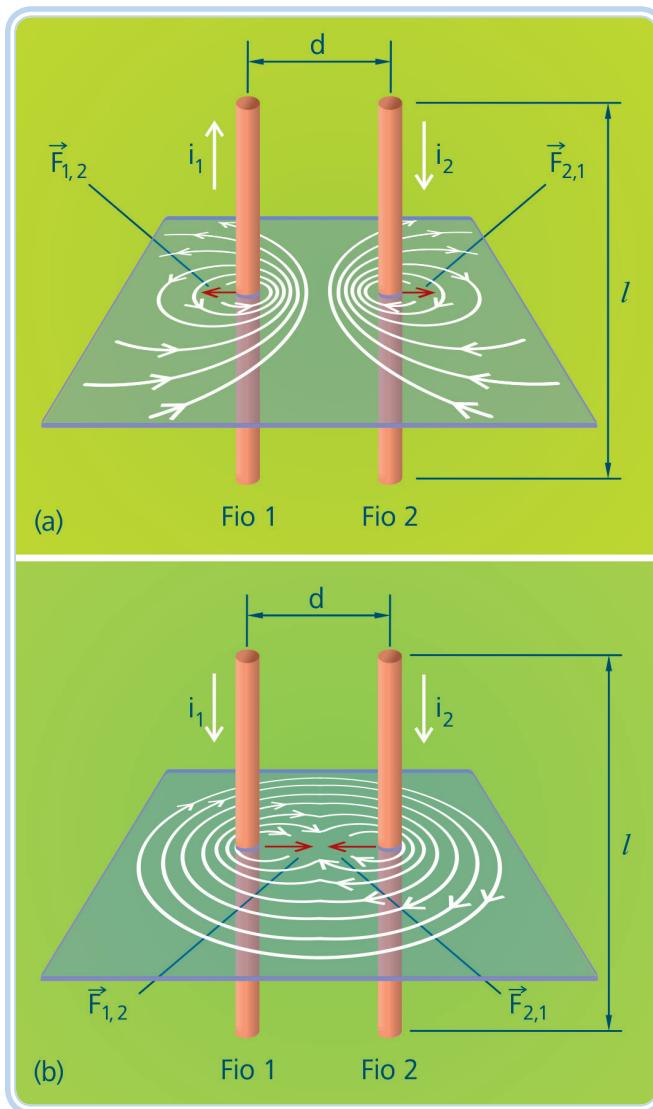


**Figura 5.7: Motor elétrico CC elementar**

Fonte: CTISM

### 5.4.3 Força magnética entre dois condutores retilíneos percorridos por corrente

A Figura 5.8 mostra dois condutores retilíneos de comprimento  $l$  paralelos um ao outro, há uma distância  $d$  e percorridos por correntes elétricas de intensidades  $i_1$  e  $i_2$ , de mesmo sentido e sentidos opostos.



**Figura 5.8: Força magnética entre dois condutores**

Fonte: CTISM

Observe que um condutor está imerso no campo magnético criado pelo outro e que, em cada condutor aparece uma força magnética  $\vec{F}$ , respectivamente perpendicular a eles. Esta força magnética é de atração, quando as correntes elétricas paralelas têm o mesmo sentido; de repulsão, quando as correntes elétricas paralelas têm os sentidos opostos.

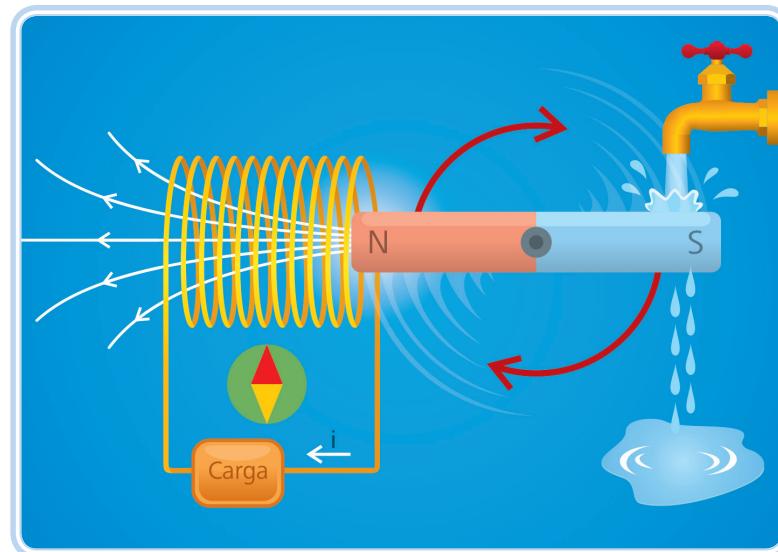
De acordo com a lei da ação e reação, obtém-se a Equação 5.5, onde  $\vec{F}_{1,2} = \vec{F}_{2,1}$ :

Equação 5.5

$$\vec{F}_{1,2} = \frac{\mu_0 \times i_1 \times i_2}{2 \times \pi \times d} = \vec{F}_{2,1}$$

#### 5.4.4 Força eletromotriz induzida (femi) – Lei de Faraday

Faraday descobriu que pode-se produzir corrente elétrica a partir de um campo magnético, através da realização de uma experiência bem simples. Construiu uma bobina de fio de cobre isolado e a partir dela montou um circuito, colocando uma bússola próxima ao circuito, conforme a Figura 5.9.



**Figura 5.9: Força eletromotriz induzida**

Fonte: CTISM

Faraday variou o campo magnético através da movimentação do ímã, observando uma deflexão na agulha da bússola. Entretanto, parando o movimento do ímã, aproximando-se ou afastando-se (ou girando), a agulha da bússola voltava ao normal.

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 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, nominamos de corrente induzida.

Dessa forma, podemos enunciar a Lei de Faraday:



“Em todo condutor imerso num fluxo magnético variado, surge uma força eletromotriz induzida (femi).”

A corrente induzida pode ser gerada através da variação da posição da bobina em relação a um ímã estático. Essa constatação permitiu a geração de energia elétrica, conforme os princípios atuais.

### 5.4.5 Força eletromotriz induzida (femi) – Lei de Lenz

“O sentido da corrente induzida é tal que, por seus efeitos, opõe-se a causa que lhe deu origem.”



Assista um vídeo sobre  
Lei de Lenz em:  
<http://www.youtube.com/watch?v=bkSsgTQOXVI>

## 5.5 Indutância de uma bobina

A indutância é a grandeza que relaciona a variação do fluxo em seu interior à variação da corrente aplicada. Ela depende do meio, do número de espiras (N), da área da bobina e de seu comprimento. A indutância pode ser calculada pelas Equações 5.6 e 5.7.

Equação 5.6

$$L = \frac{\mu \times N^2 \times A}{l}$$

Equação 5.7

$$L = N \times \frac{\Delta\phi}{\Delta i}$$



Símbolo

A unidade de indutância é o henry (H).

## 5.6 Força eletromotriz autoinduzida (femai)

Uma corrente  $i$  origina o campo  $\beta$ . Este campo determina o fluxo magnético  $\phi_a$  através de um condutor, se esse fluxo magnético for variado, a lei de Faraday pode novamente ser aplicada. Isto é, se num condutor variarmos a corrente, o fluxo magnético também irá variar, dessa forma, aparece uma femai no próprio circuito que, por sua vez, é ao mesmo tempo circuito indutor e circuito induzido. A este fenômeno denominamos autoindução e pode ser calculado pela Equação 5.8.

Equação 5.8

$$femai = -N \times \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -L \times \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

## 5.7 Transformador



Para saber mais sobre transformadores, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Transformador#Transformador\\_ideal](http://pt.wikipedia.org/wiki/Transformador#Transformador_ideal)

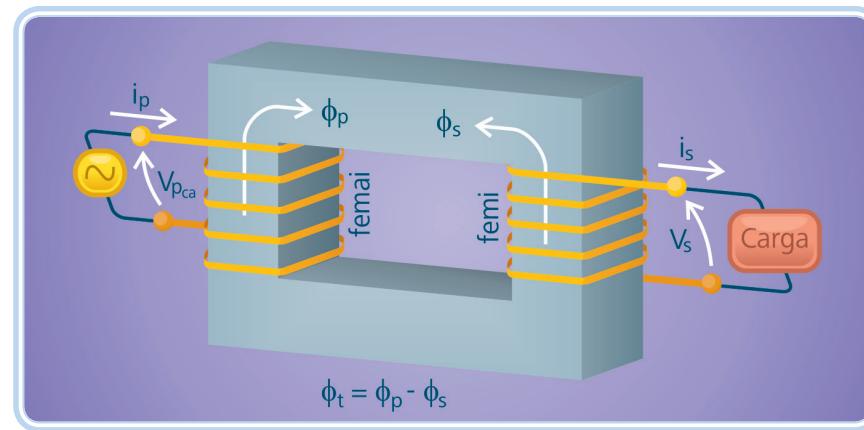


Figura 5.10: Transformador

Fonte: CTISM

A bobina que recebe a tensão a ser transformada ( $V_p$ ) denomina-se primária, a que fornece a tensão transformada ( $V_s$ ) denomina-se secundária.

Para um transformador ideal, temos a Equação 5.9:

Equação 5.9

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

É importante notar que o transformador modifica a amplitude da tensão alternada, porém também modifica a corrente. Em suma, o transformador ideal modifica a tensão e corrente alternada, porém mantém a potência entre entrada e saída.

## Resumo

Nessa aula, estudamos a relação entre o magnetismo e a eletricidade e as leis que regem os fenômenos eletromagnéticos. O eletromagnetismo está diretamente relacionado à geração, transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica e corrente alternada.

## Atividades de aprendizagem



1. Qual a relação existente entre circuitos elétricos e magnéticos?
2. Descreva os aspectos dos campos magnéticos criados por um fio retilíneo e por uma espira circular.
3. Defina eletroímã explicando seu princípio de funcionamento e polaridade.
4. Enuncie as Leis de Faraday e Lenz.
5. Explique o princípio básico de funcionamento de um transformador.
6. Por que um transformador não funciona em corrente contínua?
7. Explique o princípio de funcionamento de um motor de corrente contínua elementar.



# Aula 6 – Corrente Alternada – CA

## Objetivos

Reconhecer as vantagens da energia elétrica diante de outras modalidades energéticas, identificando as suas formas de geração.

Reconhecer as vantagens dos sistemas elétricos em CA, bem como compreender os fenômenos eletromagnéticos que os envolvem.

Analizar e interpretar circuitos elétricos monofásicos em CA, diferenciando as formas de representação das grandezas elétricas.

Empregar a nomenclatura técnica no estudo e interpretação da eletricidade em CA.

## 6.1 Considerações iniciais

A história da eletricidade teve início há muito tempo. Entretanto, os sistemas de potência para geração, transmissão e distribuição de energia elétrica iniciaram a pouco mais de um século, a partir de 1882, com o sistema em corrente contínua (CC) preconizado por Thomas Alva Edison e a partir de 1886, com o sistema em corrente alternada (CA), desenvolvido por George Westinghouse e Nikola Tesla.

Os sistemas em CC apresentaram dificuldades com o aumento da demanda e no atendimento de clientes a longas distâncias. Já o sistema em CA possibilita o uso de transformadores elevando ou rebaixando os níveis de tensão, permitindo o transporte de energia a longas distâncias com reduzidas perdas e menores investimentos na construção de redes elétricas. Dessa forma, sistemas em CA se multiplicaram rapidamente, sendo utilizados mundialmente nas etapas de geração, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica.



Para saber mais sobre histórico da corrente alternada, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Corrente\\_alternada](http://pt.wikipedia.org/wiki/Corrente_alternada)



Assista um vídeo introdutório sobre corrente alternada em:  
[http://br.youtube.com/watch?v=pT\\_DEQOTh4I](http://br.youtube.com/watch?v=pT_DEQOTh4I)

## 6.2 Energia elétrica

A energia elétrica é uma modalidade de energia obtida a partir da transformação da energia de fontes primárias disponíveis no planeta. No atual estágio de

desenvolvimento, a energia elétrica se destaca diante das demais modalidades energéticas devido, principalmente, aos seguintes fatores:



Como qualquer outra forma de energia, a modalidade elétrica deve obedecer ao princípio da conservação de energia. Assim, quando dizemos geração de energia elétrica, devemos entender como uma transformação de outra forma de energia em energia elétrica.

- É facilmente transportável, podendo ser produzida no local mais conveniente e transmitida para consumidores distantes por uma simples rede de condutores (fios).
- É facilmente transformável em outras formas de energia: calor, luz, movimento, etc.
- É o elemento fundamental para a ocorrência de muitos fenômenos físicos e químicos que formam a base de operação de máquinas e equipamentos modernos.

### 6.3 Gerador de corrente alternada

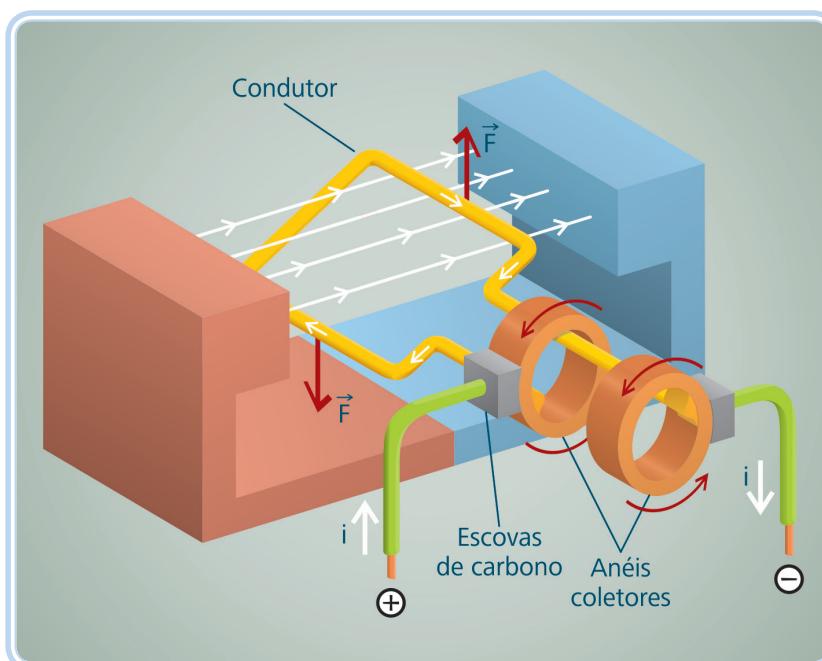
Os geradores CA, também denominados alternadores, são máquinas destinadas a converter energia mecânica em energia elétrica. A transformação de energia nos geradores fundamenta-se nas Leis de Faraday e Lenz.

O gerador elementar monofásico de CA, concebido por Michael Faraday em 1831, na Inglaterra, é constituído por uma espira que girava entre os polos de um ímã, semelhante à Figura 6.1.



Para saber mais sobre geração de energia elétrica, acesse:  
[http://br.wikipedia.org/wiki/Energia\\_eletrica](http://br.wikipedia.org/wiki/Energia_eletrica)

Os alternadores pertencem à categoria das máquinas síncronas, isto é, máquinas cuja rotação é diretamente relacionada ao número de polos magnéticos e a frequência da força eletromotriz.



**Figura 6.1: Gerador monofásico CA elementar**

Fonte: CTISM

No gerador monofásico elementar, uma espira de fio girando em um campo magnético produz uma femi. Os terminais da bobina são ligados ao circuito externo por meio dos anéis coletores e escovas. A força eletromotriz e a corrente de um gerador elementar mudam de direção cada vez que a espira gira 180°. A tensão de saída deste gerador é alternada do tipo senoidal.



Assista a animação do funcionamento de um gerador elementar em:  
<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20011/Vasco/index.html>

Faraday estabeleceu, ainda, que os valores instantâneos da força eletromotriz (ou tensão) podiam ser calculados conforme Equação 6.1:

Equação 6.1

$$e = \beta \times l \times v \times \sin(\theta)$$

Onde:  $e$  – força eletromotriz induzida  
 $\beta$  – indução do campo magnético  
 $l$  – comprimento do condutor  
 $v$  – velocidade linear de deslocamento do condutor  
 $\theta$  – ângulo formado entre  $\beta$  e  $v$

O campo magnético das Figuras 6.1 e 6.2 é constituído por ímãs naturais. Para que seja possível controlar tensão e corrente em um alternador, o campo magnético é produzido por ímãs artificiais (eletroímãs), formados por bobinas alimentadas com corrente contínua.

## 6.4 Definições em corrente alternada

Para o melhor entendimento dos princípios que regem a corrente alternada, se faz necessário o uso de diversas definições técnicas que serão explanadas a seguir.

### 6.4.1 Período

A forma de onda da tensão gerada por um gerador CA é cíclica, isto é, seus valores se repetem periodicamente. O tempo necessário para que a onda senoidal complete um ciclo é chamado de período ( $T$ ), dado em segundos (s).

### 6.4.2 Frequência

A frequência ( $f$ ) de um sinal senoidal corresponde ao número de ciclos no intervalo de tempo de 1 s. Dessa forma  $f = 1/T$  e  $T = 1/f$ . Unidade: 1/s = Hz.

### 6.4.3 Velocidade angular

A velocidade angular ( $\omega$ ) de um sinal senoidal mede a taxa de variação de seus valores cílicos. A velocidade angular depende da frequência (f) da onda senoidal conforme a equação  $\omega = 2 \times \pi \times f$ . Unidade: rad/s.

### 6.4.4 Valor de pico

O valor de pico ( $V_p$ ) é o máximo valor que uma grandeza pode assumir. Também é conhecido como valor máximo ou valor de crista. Os valores compreendidos entre o pico de máximo positivo e o de máximo negativo são chamados de valor pico a pico ( $V_{pp} = 2 \times V_p$ ).

### 6.4.5 Valor médio

O valor médio ( $V_m$ ) de uma grandeza puramente senoidal, quando considerado de um período inteiro, é nulo, pois a soma dos valores da área relativa à semionda positiva é igual à negativa. Por essa razão, o  $V_m$  de uma grandeza senoidal normalmente é analisado como a média aritmética dos valores instantâneos no intervalo de meio período. Matematicamente  $V_m = 0,637 \times V_p$ .

### 6.4.6 Valor eficaz

O valor eficaz ( $V_{ef}$ ) de uma grandeza senoidal, também chamado de valor RMS está relacionado ao seu desempenho na produção de trabalho, se comparado a uma grandeza contínua. Assim, se conectarmos duas resistências iguais a duas fontes diferentes, uma CC e outra CA, percebemos que, para ambas as resistências apresentaram os mesmos efeitos térmicos, a tensão de pico da grandeza CA senoidal deverá ser aproximadamente 41,42 % maior que a tensão contínua CC. Isso significa que a potência média de uma fonte CC de 220 V corresponde à de uma fonte CA senoidal com  $V_p$  de aproximadamente 311,12 V. Dessa forma, dizemos que essa fonte CA possui uma tensão eficaz de 220 V, pois seus efeitos térmicos equivalem aos da fonte CC.



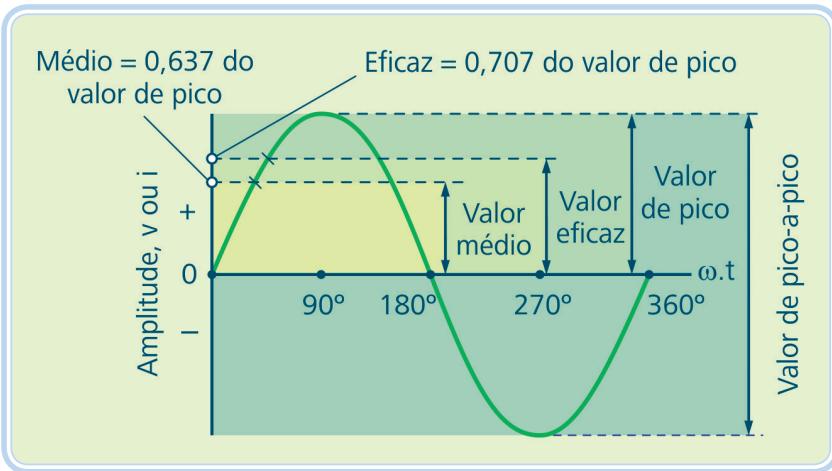
Assista um filme de um experimento prático conceituando valor eficaz em:  
<http://br.youtube.com/watch?v=nxpSgrKOrLU>

Matematicamente,

Equação 6.2

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \times V_p$$

A Figura 6.2 identifica, de forma gráfica, os valores de pico, pico a pico, médio e eficaz de um sinal senoidal.



**Figura 6.2: Valores de um sinal senoidal**

Fonte: CTISM



Para saber mais sobre definição matemática de valor eficaz ou rms, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Valor\\_eficaz](http://pt.wikipedia.org/wiki/Valor_eficaz)

## 6.5 Potências e energias em circuitos CA monofásicos

Num sistema elétrico, existem dois tipos de energia: a energia ativa e a energia reativa. Qualquer equipamento que transforma a energia elétrica em outra forma de energia como um ferro elétrico, que transforma a energia elétrica em energia térmica, não necessita da energia intermediária. Dessa forma, a energia fornecida pelo gerador é totalmente utilizada ou consumida pelo ferro elétrico.

Já os equipamentos que possuem enrolamentos, tais como motores, transformadores, reatores para iluminação fluorescente, reatores para iluminação a vapor de mercúrio, etc., necessitam de energia magnetizante, como intermediária da energia ativa e passam a depender da energia ativa e reativa. O mesmo ocorre com circuitos capacitivos.

### 6.5.1 Potência ativa (P)

A potência ativa de um circuito mede a taxa de transformação de energia elétrica em trabalho, produzindo calor, iluminação, movimento, etc. Sua unidade é o W e seu valor pode ser dado pela Equação 6.3:

Equação 6.3

$$P = |V_{ef}| \times |i_{ef}| \times \cos \phi$$

Onde:  $\phi$  – ângulo de fase ou ângulo da impedância



Através das equações das energias ativa, reativa e aparente, podemos concluir que o triângulo de energias é proporcional ao triângulo de potências cujo fator de proporcionalidade é o tempo. Em função da proporcionalidade entre os triângulos, podemos concluir que ambos possuem o mesmo ângulo de fase  $\phi$ . Entretanto, em uma indústria, esta proporcionalidade só é válida se considerarmos a operação concomitante de todas as cargas que compõem o circuito em análise. Como a maioria das cargas de uma instalação elétrica é indutiva, elas exigem um campo eletromagnético para funcionar. Sendo assim, uma instalação qualquer necessita de dois tipos de energia, a ativa e a reativa indutiva. O módulo do fator de potência sempre é um número de 0 a 1, podendo ser capacitivo ou indutivo, dependendo de a energia reativa resultante ser capacitiva ou indutiva.

## 6.5.2 Potência reativa (Q)

A potência reativa mede a taxa de processo de carga e descarga dos elementos reativos de um circuito, mantendo, assim, os campos elétrico ou eletromagnético. Sua unidade é o volt ampère reativo (VAr), e seu valor pode ser determinado pela Equação 6.4:

Equação 6.4

$$Q = |V_{ef}| \times |i_{ef}| \times \sin \phi$$

Em outras palavras, a energia reativa, que é utilizada para criar o campo magnético ou elétrico do circuito, não é consumida como energia ativa, mas trocada entre os elementos e o sistema. Entretanto, sua presença no circuito é fundamental para a criação dos campos magnéticos e elétricos, os quais possibilitam a ocorrência de fenômenos elétricos e eletromagnéticos, que produzem trabalho através do consumo de energia ativa.

A potência reativa estará presente num circuito elétrico, quando nele estiver inserido algum elemento armazenador de energia, como o indutor ou o capacitor, ou ainda ambos. O valor médio das potências reativas, tanto capacitiva quanto indutiva é zero, indicando que não há consumo de energia. Entretanto, ocorre o processo de carga e descarga de energia reativa cuja taxa é dada pela expressão da potência reativa.

## 6.5.3 Potência aparente (S)

A potência aparente (Figura 6.3) é a soma vetorial das potências ativa e reativa, e é também chamada de potência total ou instalada. Sua unidade é o volt ampère (VA), e seu valor pode ser determinado pela Equação 6.5:

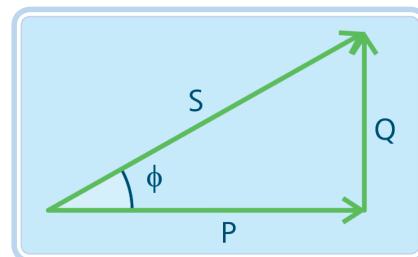


Figura 6.3: Triângulo de potências para uma carga indutiva

Fonte: CTISM

Equação 6.5

$$S = |V_{ef}| \times |i_{ef}|$$

#### 6.5.4 Fator de Potência (FP)

O FP de um circuito mede a relação entre a potência ativa e a potência aparente de um circuito. O FP não possui unidade e pode corresponder ao cosseno do ângulo de fase  $\phi$ , conforme a Equação 6.6:

Equação 6.6

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

O baixo valor de FP é prejudicial para as instalações elétricas, dessa forma a correção desse valor é muito desenvolvida pelos profissionais de eletricidade. Para essa finalidade, normalmente podem ser utilizados capacitores, visto que as cargas elétricas normalmente possuem características indutivas. Como já mencionado, os capacitores armazenam cargas e o manuseio dos mesmos requer grande cuidado e segurança. A Figura 6.4 ilustra tal forma de correção.

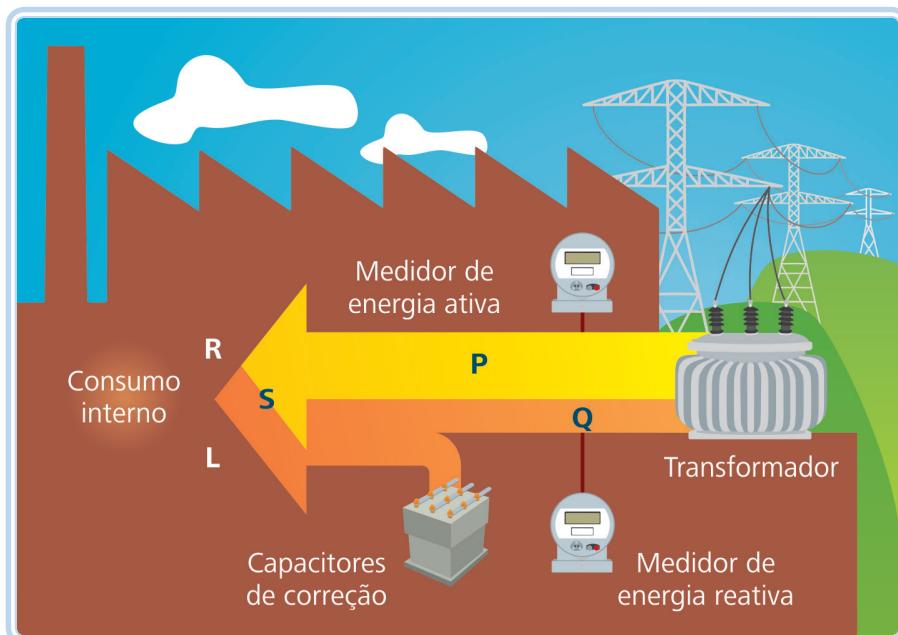


Figura 6.4: Compensação de reativos utilizando capacitores

Fonte: CTISM

### Resumo

Nessa aula, estudamos os princípios e fundamentos que regem os circuitos de corrente alternada monofásicos, desde a geração até a análise de circuitos envolvendo cargas resistivas, capacitivas e indutivas. Nessas cargas, analisamos o comportamento e a relação entre as grandezas elétricas, diferenciando as formas de potências envolvidas.

Os conhecimentos de corrente alternada são fundamentais no setor industrial, sendo base para o estudo da correção do fator de potência e circuitos trifásicos de corrente alternada.



## Atividades de aprendizagem

1. Explique o princípio de funcionamento de um gerador elementar de corrente alternada.
2. De que depende a tensão induzida nas bobinas de um gerador de corrente alternada? Represente matematicamente.
3. Diferencie valor de pico, pico a pico, médio e eficaz de um sinal senoidal.
4. Quais as formas de representação de um sinal senoidal? Exemplifique e explique cada uma.
5. Diferencie potência ativa, potência reativa, potência aparente e fator de potência.
6. Nos dados de placa de motores elétricos consta o FP. Entre dois motores de mesma potência, mas de FP diferentes (0,75 e 0,85), qual é o mais vantajoso do ponto de vista técnico? Por quê?

# Aula 7 – Sistema trifásico

## Objetivos

Reconhecer as características e vantagens do sistema trifásico.

Diferenciar e aplicar as ligações estrela e triângulo em circuitos trifásicos.

Conhecer as etapas de um sistema elétrico de potência.

Diferenciar e determinar as potências em circuitos trifásicos.

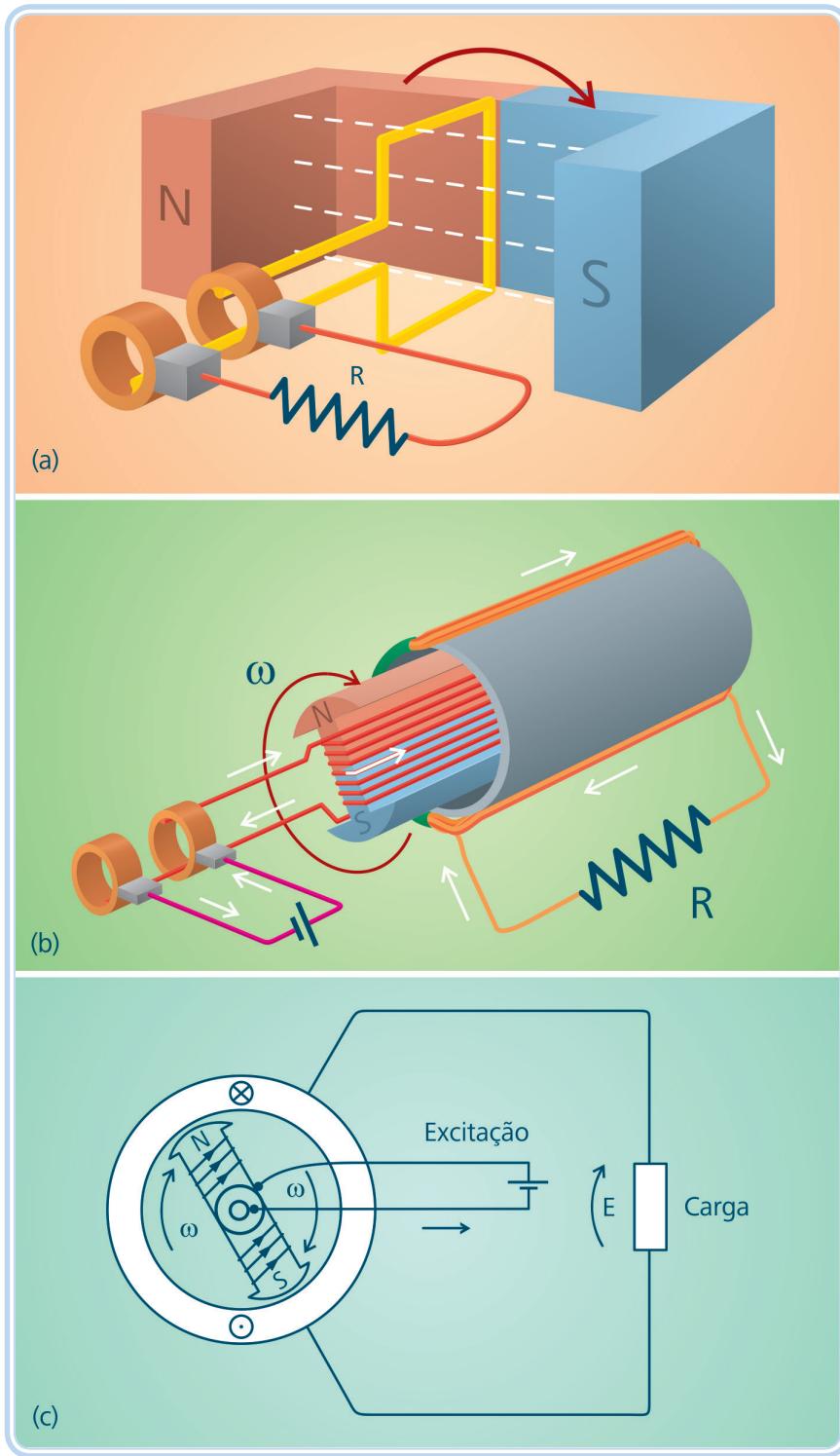
## 7.1 Considerações iniciais

Na aula 6, estudamos os princípios da corrente alternada através de circuitos monofásicos, isto é, constituídos de apenas uma bobina geradora, cuja alimentação das cargas era feita através de dois condutores. Entretanto, sistemas de potência envolvem a geração, transmissão e distribuição de grandes quantidades de energia, necessitando de um sistema elétrico com elevado desempenho.

Tecnicamente, existem vários tipos de sistemas, tais como o monofásico, o bifásico, o trifásico, o hexafásico, etc. Entretanto, as vantagens dos sistemas trifásicos prevaleceram entre os demais sistemas, tornando-o o mais utilizado nos sistemas elétricos de potência em todo o mundo. Os outros sistemas também são utilizados, entretanto em pequena escala e em aplicações específicas.

## 7.2 Sistema monofásico

O entendimento do sistema monofásico é necessário para o estudo do sistema trifásico. Note que um sistema monofásico difere de um circuito monofásico. A instalação de uma lâmpada utiliza um circuito monofásico, na grande maioria das vezes derivado de um sistema trifásico que emprega geradores, transformadores, linhas de transmissão e linhas de distribuição trifásicas. Já um sistema monofásico é aquele oriundo de um gerador monofásico que produz uma única tensão senoidal chamada tensão de fase. A Figura 7.1 mostra, de forma simplificada, duas tipologias de gerador monofásico.



**Figura 7.1:** Gerador monofásico, detalhes construtivos com campo fixo com geração no rotor (parte giratória) (a) e campo móvel com geração no estator (parte estática) (b) e (c)  
 Fonte: CTISM

Na Figura 7.1 (a) temos um gerador monofásico com geração no rotor, isto é, o campo magnético do estator é fixo, enquanto a bobina de geração é forçada

a girar dentro desse campo magnético, induzindo, pelas Leis de Faraday e Lenz, uma tensão alternada em seus terminais. Na Figura 7.1 (b) e (c) temos um gerador monofásico com geração no estator, isto é, o campo magnético é produzido no rotor, que é迫使 a girar no interior da bobina de geração fixa, induzindo, pelas leis de Faraday e Lenz, uma tensão alternada em seus terminais.

## 7.3 Sistema trifásico

Os sistemas que possuem mais de uma fase são denominados polifásicos, apresentam fases iguais, porém defasadas entre si de um ângulo de  $360^\circ/n$ , sendo  $n$  o número de fases. O sistema polifásico composto de três fases, chamado de trifásico, é o mais usado em todas as etapas do sistema elétrico. Por outro lado, existem aparelhos que demandam três fases para o seu funcionamento, como é o caso de motores elétricos trifásicos.

Os sistemas trifásicos apresentam uma série de vantagens em relação aos monofásicos, tais como:

- Possibilidade de obtenção de duas tensões diferentes na mesma rede ou fonte. Além disso, os circuitos monofásicos podem ser alimentados pelas fases do sistema trifásico.
- As máquinas trifásicas têm quase 50 % a mais de potência que as monofásicas de mesmo peso e volume.
- O conjugado (torque) dos motores trifásicos é mais constante que o das máquinas monofásicas.
- Para transmitir a mesma potência, as redes trifásicas usam condutores de menor bitola que as monofásicas.
- Redes trifásicas criam campos magnéticos giratórios utilizados pelos motores de indução trifásicos que são os mais baratos e robustos de todos os motores elétricos.



Para saber mais sobre sistemas trifásicos, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_trif%C3%A1sico](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_trif%C3%A1sico)

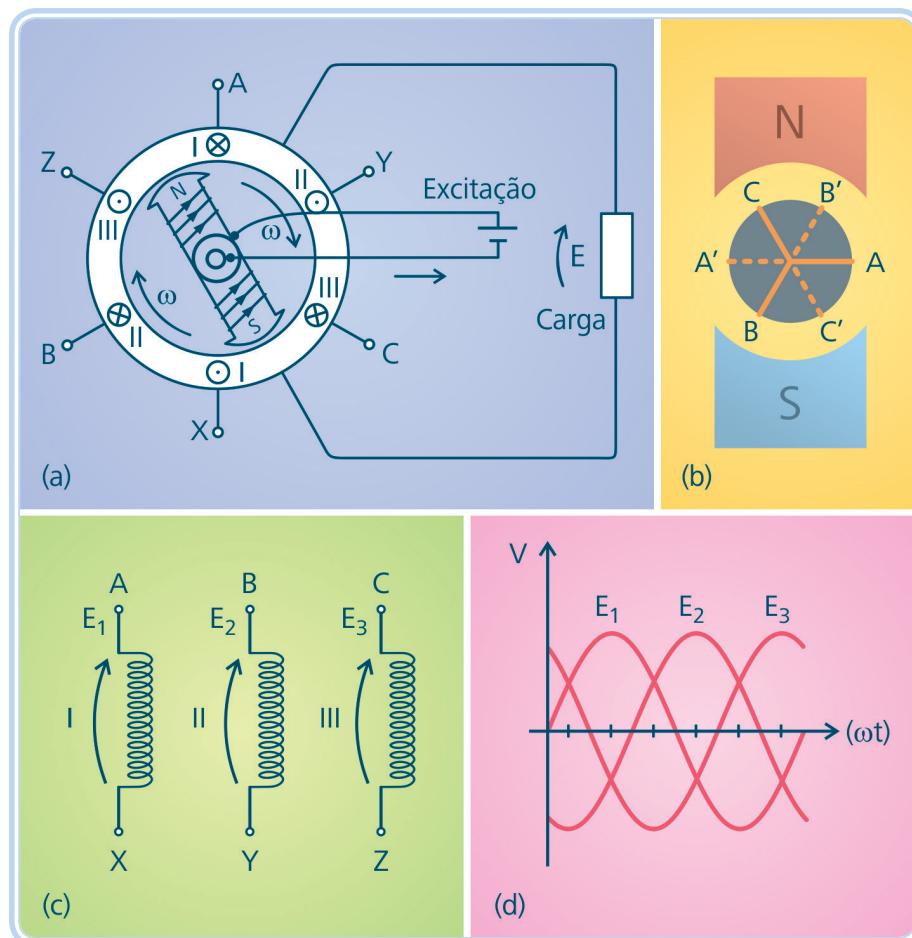


Assista a um filme de um experimento prático com tensões trifásicas em:  
<http://br.youtube.com/watch?v=22434JHXYjs>

### 7.3.1 Gerador trifásico

Em um gerador trifásico, existem três enrolamentos distribuídos simetricamente no estator da máquina, propiciando uma separação física de  $120^\circ$  entre os enrolamentos. Dessa forma, a geração resulta em três tensões (fases) com a mesma amplitude e frequência, porém defasadas em  $120^\circ$ . A Figura 7.2

mostra, de forma simplificada, um gerador trifásico com geração no estator e rotor, bem como seus enrolamentos e formas de onda.



Na verdade um gerador trifásico nada mais é do que três geradores monofásicos num mesmo equipamento, compartilhando o campo magnético e a estrutura mecânica do rotor e estator, permitindo, assim, a geração de mais energia com menor tamanho e menos custo de fabricação.

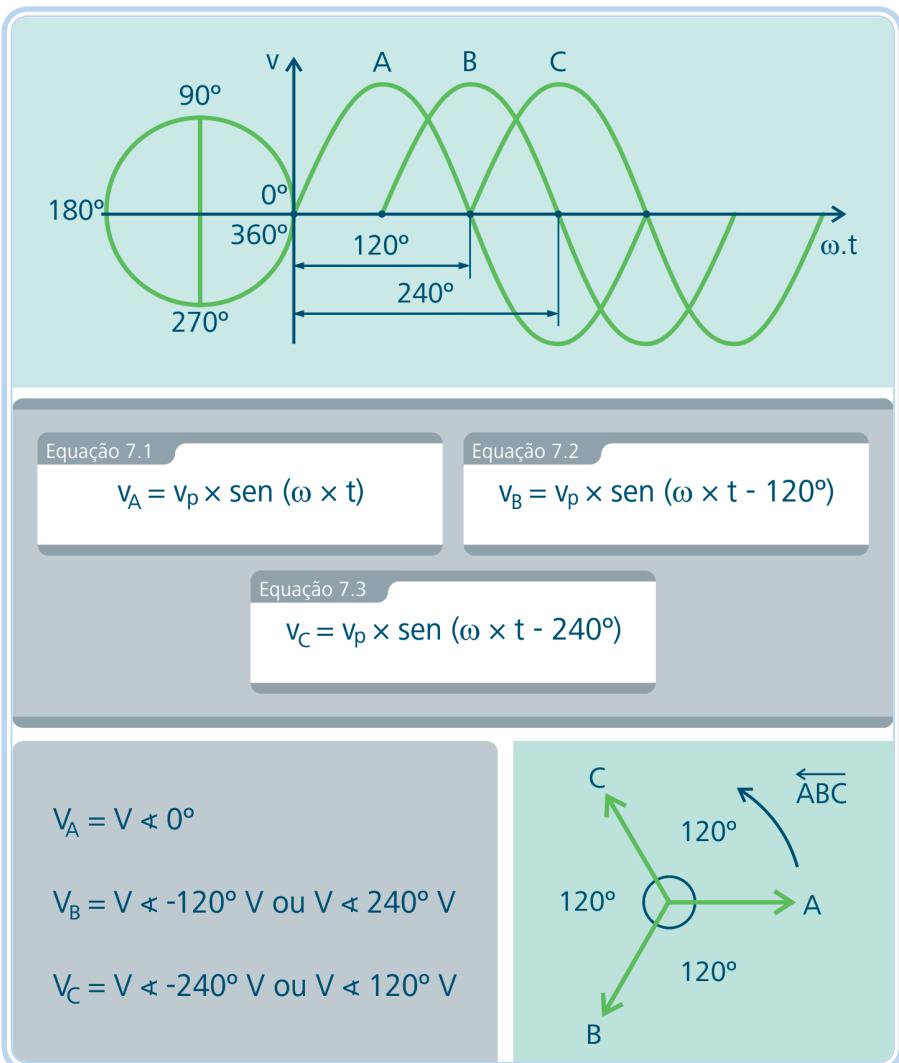
**Figura 7.2: Gerador trifásico, detalhes construtivos com – campo móvel com geração no estator (a), campo fixo com geração no rotor (b), enrolamentos (c) e formas de onda (d)**

Fonte: CTISM

Apesar de haver várias combinações para a sequência de fase, existem apenas duas sequências possíveis, definidas como ABC e CBA. Dessa forma, ABC é o mesmo que BCA e CAB, enquanto CBA é o mesmo que BAC e ACB.

Da mesma forma que no gerador monofásico, a tipologia com geração no estator é a mais viável, entretanto utilizaremos aqui a tipologia com geração no rotor para um melhor entendimento das tensões geradas.

A Figura 7.3 mostra a representação por forma de onda, as Equações trigonométricas 7.1, 7.2 e 7.3, números complexos e diagrama fasorial para as tensões A, B e C.

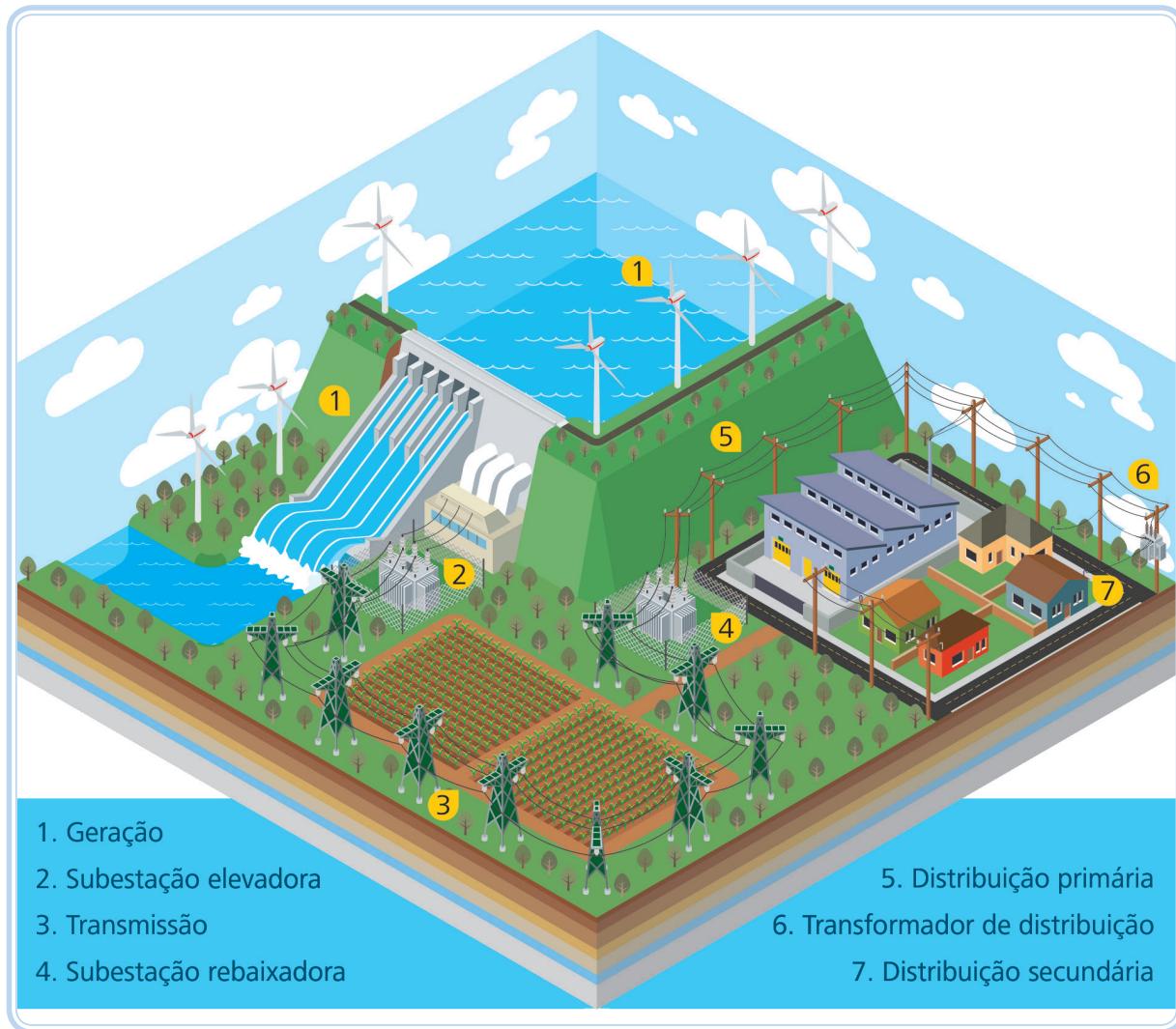


Para saber mais sobre sistema elétrico de potência, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistemas\\_el%C3%A9tricos\\_de\\_pot%C3%A3ncia](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistemas_el%C3%A9tricos_de_pot%C3%A3ncia)

**Figura 7.3: Representações das tensões de um gerador trifásico ABC anti-horário**  
Fonte: CTISM

## 7.4 Sistema Elétrico de Potência (SEP)

O sistema elétrico brasileiro está organizado em quatro etapas: geração, transmissão, distribuição (primária e secundária) e utilização, conforme mostra a Figura 7.4.



**Figura 7.4: Etapas do sistema elétrico**

Fonte: CTISM

### 7.4.1 Geração

A geração de energia elétrica consiste na obtenção e na transformação da energia de fontes primárias disponíveis em nosso planeta em energia elétrica. Os princípios, bem como as formas de geração de energia elétrica já foram abordados anteriormente.

### 7.4.2 Transmissão

O sistema de geração de energia elétrica no Brasil é basicamente hidrotérmico, com forte predominância de hidrelétricas que, em sua grande maioria, encontram-se distantes dos grandes centros de consumo. Ainda, a grande extensão do território brasileiro, associada à irregularidade pluviométrica nas diferentes regiões do país, tornou necessária a interligação do sistema elétrico brasileiro, através de linhas de transmissão de alta tensão.

A tensão de geração, na grande maioria das centrais, é na ordem de alguns kV devido às limitações de isolamento elétrico dos geradores. Entretanto, essa tensão é muito baixa para a transmissão, acarretando elevadas perdas e exigindo superdimensionamento das linhas, devido às elevadas correntes elétricas e esforços mecânicos. Dessa forma, muito próxima às centrais geradoras, uma subestação eleva a tensão de geração para níveis técnicos compatíveis com os níveis de energia a serem transmitidos.



Tecnicamente, o emprego de alta tensão reduz as perdas de energia por aquecimento dos condutores (efeito joule), em função da redução da corrente elétrica, permitindo ainda aumentar a capacidade de transmissão de energia dos mesmos.

### 7.4.3 Distribuição

Apesar de as linhas de transmissão e subtransmissão transportarem energia a longas distâncias com significativa redução de perdas, as altas tensões envolvidas não oferecem a segurança necessária e viabilidade financeira para adentrar nos centros urbanos, distribuindo energia às unidades consumidoras. Dessa forma, próxima aos centros de consumo, subestações rebaixadoras reduzem a tensão para níveis mais seguros, constituindo a rede de distribuição de média tensão, também chamada de distribuição primária, geralmente nas tensões de 13,8 ou 23,1 kV. Na grande maioria das subestações rebaixadoras, a distribuição primária é feita através de vários circuitos alimentadores, que atendem regiões e/ou bairros específicos.

A tensão de distribuição primária atende aos seguintes critérios: ser suficientemente baixa, para fins de viabilidade financeira e de segurança na utilização e manutenção e ser suficientemente alta, a fim de manter reduzidas as perdas no transporte, desde a subestação até os centros de consumo. Dessa forma, seu valor não é compatível com os padrões de utilização em equipamentos elétricos e eletrônicos, devendo ser novamente rebaixada. Este rebaixamento é feito através de transformadores de distribuição dispostos muito próximos às unidades consumidoras, sendo geralmente fixados aos postes da rede. A partir destes transformadores, constitui-se a rede de distribuição de baixa tensão, também chamada de distribuição secundária, geralmente nas tensões comerciais de 127, 220, 380 e/ou 440 V.



Os consumidores supridos de energia em baixa tensão são classificados pela concessionária de energia em monofásicos, bifásicos e trifásicos, segundo o número de fases que recebem, em função da carga instalada. Consumidores com carga instalada elevada deverão comprar energia diretamente da rede de distribuição primária, arcando com os custos de rebaixamento da tensão, porém usufruindo tarifas mais baixas.

### 7.4.4 Utilização

Uma vez gerada, transmitida e distribuída, a energia elétrica encontra-se disponível para a utilização pelos consumidores. Entretanto, a grande maioria das necessidades energéticas envolve outras modalidades de energia. Dessa forma, em sua utilização final, a energia precisa ser transformada novamente, através dos mais diversos equipamentos, resultando em energia mecânica, térmica, luminosa, sonora, etc. A transformação e utilização dessas energias caracterizam o consumo de energia elétrica.

## Resumo

Nessa aula, estudamos os princípios e características do sistema trifásico e como ele é aplicado no sistema elétrico brasileiro. Estudamos também as relações entre as grandezas elétricas nos circuitos de corrente alternada trifásicos, bem como as formas de ligação de equipamentos trifásicos. Com esta aula, finalizamos os estudos de eletricidade, adquirindo conhecimentos básicos e aplicáveis que servirão de base para o estudo de disciplinas voltadas à eletrotécnica, eletrônica e automação industrial.



## Atividades de aprendizagem

1. Diferencie o sistema monofásico do sistema trifásico.
2. Qual a vantagem do gerador trifásico com geração no estator em relação ao gerador trifásico com geração no rotor?
3. Qual a vantagem da utilização de equipamentos elétricos trifásicos?
4. Explique como surgem as tensões trifásicas num gerador trifásico.
5. Qual a defasagem angular entre as tensões de um gerador trifásico? A que se deve este valor.
6. Explique as etapas do sistema elétrico de potência brasileiro.
7. Qual a finalidade dos transformadores no sistema elétrico de potência?

# Aula 8 – Riscos elétricos

## Objetivos

Conhecer as definições e conceitos básicos sobre riscos de origem elétrica.

Reconhecer a importância de sua determinação.

Conhecer os tipos de choques elétricos e quais as medidas de controle para trabalhar com esse risco.

## 8.1 Considerações iniciais

A eletricidade constitui-se em um elemento de elevado grau de risco ao homem e ao próprio patrimônio. Mesmo em baixas tensões, ela apresenta risco à integridade física e à saúde dos trabalhadores. Seu perigo está, principalmente, relacionado à ocorrência do choque elétrico com consequências: diretas (choque elétrico, arco elétrico e campo eletromagnético) e indiretas (quedas, batidas, queimaduras indiretas e outras). A mesma ainda pode apresentar riscos devido à possibilidade de ocorrências de curtos-circuitos ou mau funcionamento do sistema elétrico, podendo originar incêndios, explosões ou acidentes.



## 8.2 Choque elétrico

Esse risco de origem elétrica é o principal causador de acidentes no setor. É originado pelo contato do trabalhador com partes energizadas. Constitui-se em estímulo rápido e acidental sobre o sistema nervoso devido à passagem de corrente elétrica, acima de determinados valores, pelo corpo humano.



Assista a um vídeo sobre acidente com eletricidade em:  
<http://www.youtube.com/watch?v=vnWw6D5IGUU>

Por definição, o choque elétrico é uma perturbação de natureza e efeitos diversos que se manifesta no corpo humano quando por ele circula uma “corrente elétrica”. Isso pode ocorrer, pois o corpo humano se comporta como um condutor elétrico, possibilitando a passagem da corrente elétrica e oferecendo uma “resistência” através dele.

Um choque elétrico pode causar danos de origem direta, assim como consequências indiretas com a possibilidade de queda, incêndio entre outros.

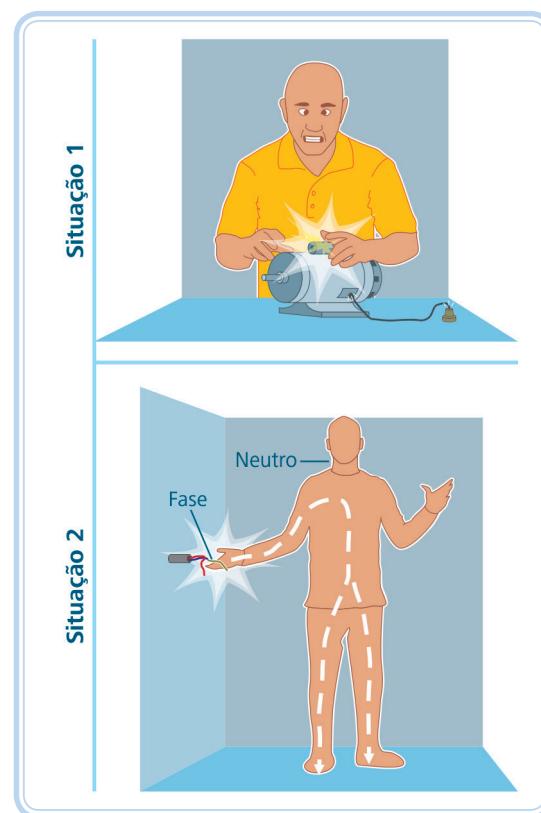
### 8.2.1 Tipos de choques elétricos

Há basicamente três tipos de choques elétricos: choque dinâmico, choque estático e descargas atmosféricas.

#### 8.2.1.1 Choque dinâmico

É o choque obtido diretamente ao tocar um elemento energizado. Este tipo de choque é devido ao toque acidental na parte energizada do condutor.

Este tipo de choque, normalmente, é muito perigoso porque a rede de energia elétrica pode manter a pessoa energizada, ou seja, a corrente elétrica persiste pelo corpo. O corpo humano, ao receber o choque elétrico, devido às consequências danosas no mesmo, sofrerá diferentes reações, sendo uma delas resultante do tempo de exposição do corpo à passagem da corrente elétrica. Quanto menor for este tempo, menor serão as consequências.



**Figura 8.1: Exemplificação de choque dinâmico**  
Fonte: CTISM

## 8.2.2 Choque estático

É o tipo de choque gerado a partir do efeito da energia acumulada no campo elétrico presente nos mais diferentes materiais e equipamentos.

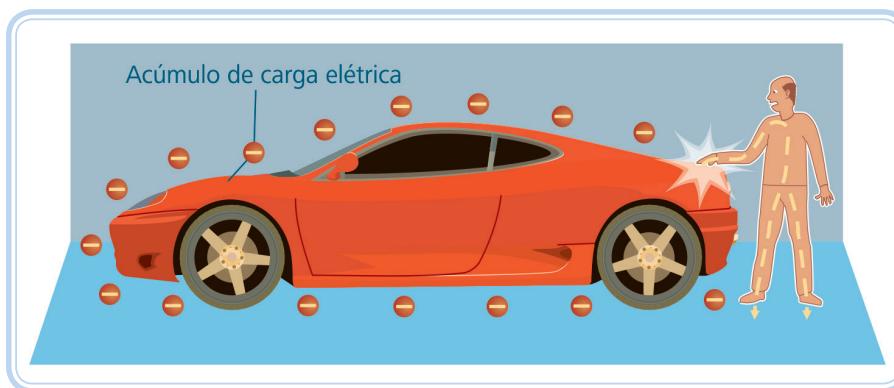
Geralmente, as cargas elétricas ficam acumuladas nos equipamentos ou em linhas de transmissão desligadas. Portanto, este choque se dá pelo escoamento destas cargas elétricas no corpo humano.

Um exemplo típico desse tipo de choque é o que acontece em veículos que se movem em climas secos. Com o movimento, o atrito com o ar gera cargas elétricas que se acumulam no veículo. Portanto, entre o veículo e o solo, passa a existir uma diferença de potencial (tensão elétrica). Dependendo do acúmulo das cargas, poderá haver o perigo de faiscamentos ou de choque elétrico no instante em que uma pessoa desce ou toca no veículo.

Os faiscamentos também podem produzir consequências graves, dependendo da carga transportada pelo veículo. Em países que tem clima muito seco, costuma-se adotar, preso ao veículo, uma corrente ou fita metálica que fica arrastando no solo, evitando o perigo de acúmulo de cargas.



Saiba mais sobre eletricidade estática, acesse:  
<http://www.youtube.com/watch?v=vKJB6UJ17RA>

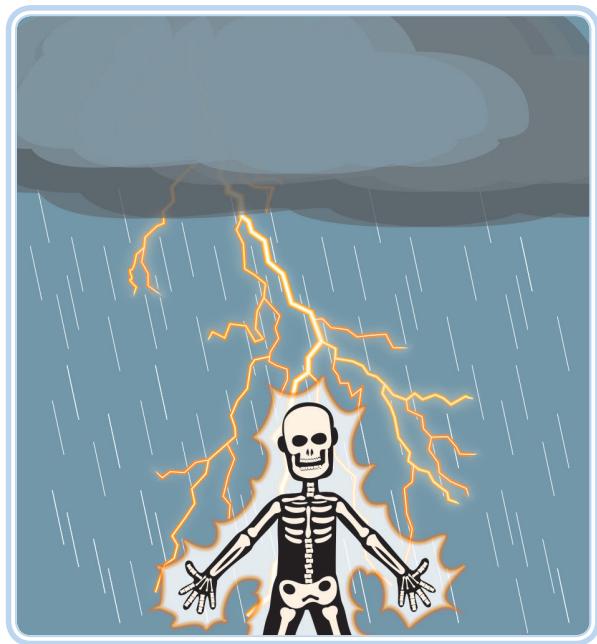


**Figura 8.2: Exemplificação de choque estático**

Fonte: CTISM

### 8.2.2.1 Descarga atmosférica

São intensas descargas elétricas que ocorrem na atmosfera, em locais eletricamente muito carregados. Normalmente ocorrem entre nuvens ou nuvem terra que podem produzir diversos efeitos danosos. Essas descargas, conhecidas como raio, tipicamente são acompanhadas pelo relâmpago, uma intensa emissão de radiação eletromagnética (luz), e pelo trovão.



**Figura 8.3: Exemplificação de descarga atmosférica**

Fonte: CTISM

A descarga atmosférica é um fenômeno da natureza absolutamente imprevisível e aleatório, tanto em relação às suas características elétricas, como em relação aos efeitos destruidores decorrentes de sua incidência sobre as edificações. Nada em termos práticos pode ser feito para impedir a “queda” de uma descarga em determinada região. Somente projetos tecnicamente bem elaborados, obedecendo as Normas Técnicas, podem assegurar uma proteção eficiente e confiável. Na proteção de edificações, pode ser necessária a utilização de mais de um para-raios e de aterramentos especialmente projetados.

Para equipamentos sensíveis como televisão, existem outros tipos de proteção que são instalados nas tomadas. Estes dispositivos são conhecidos como protetores contra surtos de tensão e são encontrados nas casas especializadas em material elétrico.

Algumas crenças populares e que não se baseiam em fundamento científico são:

- Crença – a instalação do para-raios vai atrair os raios para a edificação.

Realidade – o sistema de captação deve ser instalado para captar as descargas atmosféricas que ocorrerem para a edificação.

- Crença – a instalação do para-raios vai descarregar as nuvens e evitar que o raio caia.

Realidade – a descarga das nuvens é na verdade a descarga na forma de raios e o para-raios não impedirá a precipitação dos mesmos para a terra.

- Crença – um raio nunca cai duas vezes no mesmo lugar.

Realidade – a incidência na Torre Eifel (França) e no Empire State (USA) é da ordem de 40 descargas por ano.

- Crença – o para-raios do vizinho está protegendo o meu prédio/casa.

Realidade – o sistema de captação de raios de uma instalação é projetado para proteger a edificação onde está instalado, não garantindo proteção para outras áreas além daquelas para as quais foi projetado.

- Crença – na região que eu moro não caem raios.

Realidade – toda região do planeta é susceptível à ocorrência de descargas atmosféricas, variável de acordo com a latitude e longitude. A ABNT informa a partir de dados do INPE os índices de descargas atmosféricas em todas as regiões do Brasil.

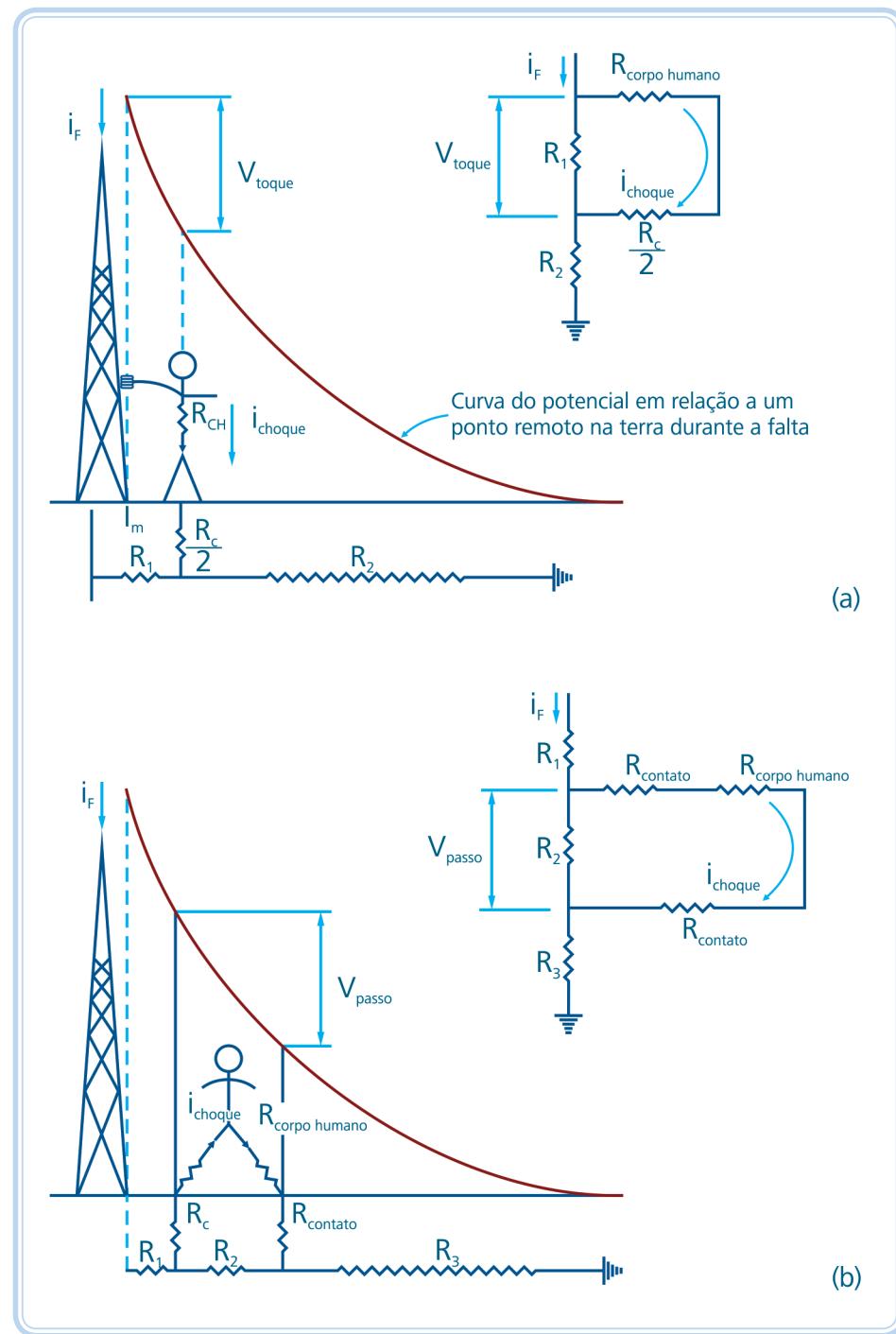
- Crença – o meu para-raios mesmo fora de normas tem alguns anos e até hoje não deu nenhum problema.

Realidade – provavelmente o para-raios referido ainda não foi solicitado. O sistema de captação deve ser projetado de conformidade com as normas para que quando solicitado atue dentro das expectativas previstas pelos pesquisadores, que são os elaboradores das normas e, portanto avaliam seus comportamentos com o avanço da pesquisa na área.

Em uma descarga elétrica no solo é possível a ocorrência de dois tipos de tensões que favorecem a ocorrência do choque elétrico: tensão de passo e a tensão de toque, conforme Figura 8.4.

- **Tensão de toque** – é a tensão elétrica existente entre os membros superiores e inferiores de um indivíduo, quando o mesmo toca em equipamento com defeito na isolação ou na parte nua de um condutor energizado.
- **Tensão de passo** – é a tensão elétrica entre os pés de um indivíduo quando o mesmo está no solo próximo de um local com o escoamento da corrente

elétrica pela terra, provocado por queda de condutores energizados no solo, ou descargas atmosféricas em corpos aterrados.



**Figura 8.4: Tensão de toque (a) e tensão de passo (b)**  
Fonte: CTISM

## **8.2.3 Efeitos dos choques elétricos**

Os efeitos diretos do choque elétrico são os mais diversos, entre os principais pode-se citar os relacionados a seguir.

### **8.2.3.1 Tetanização muscular**

Este efeito ocorre quando há a paralisia dos músculos, devido à passagem de corrente elétrica, onde os mesmos não obedecem o comando do cérebro.

### **8.2.3.2 Parada respiratória**

Uma corrente elétrica, normalmente acima de 30 mA, pode provocar a parada respiratória havendo a necessidade de uma ação rápida, no sentido de interromper a passagem da corrente elétrica pelo corpo da pessoa.

A parada respiratória pode ocorrer direta ou indiretamente devido ao choque elétrico. Choque com corrente elétrica menor do que a do limite de fibrilação ventricular do coração produz comprometimento na capacidade respiratória do indivíduo, devido à fadiga e tensionamento do músculo diafragma.

Se o choque for maior, o tensionamento exagerado produz a tetanização do diafragma, e em consequência a parada respiratória. Se o coração continuar funcionando, a circulação será só de sangue venoso, o que deixa a vítima em estado de morte aparente.

### **8.2.3.3 Alteração do ritmo cardíaco**

A alteração cardíaca ocorrerá se houver intensidades de corrente da ordem de 75 a 300 mA, que circulem por períodos de tempo suficiente pelo corpo, no entanto, caso se aplicar uma corrente diretamente sobre a parede do coração, a intensidade da corrente pode causar a fibrilação ventricular e pode ser tão pequena quanto 10 mA.

A disritmia do coração, não permitindo, dessa forma, a circulação do sangue pelo corpo, resulta na falta de oxigênio nos tecidos e no cérebro. O coração raramente se recupera por si só da fibrilação ventricular. No entanto, com uma corrente de curta duração e de intensidade controlada, a fibrilação pode ser interrompida e o ritmo normal do coração pode ser restabelecido. O aparelho empregado para esta finalidade é o desfibrilador, Figura 8.5. Não possuindo tal aparelho, a aplicação da massagem cardíaca permitirá que o sangue circule pelo corpo, dando tempo para que se providencie o devido socorro.

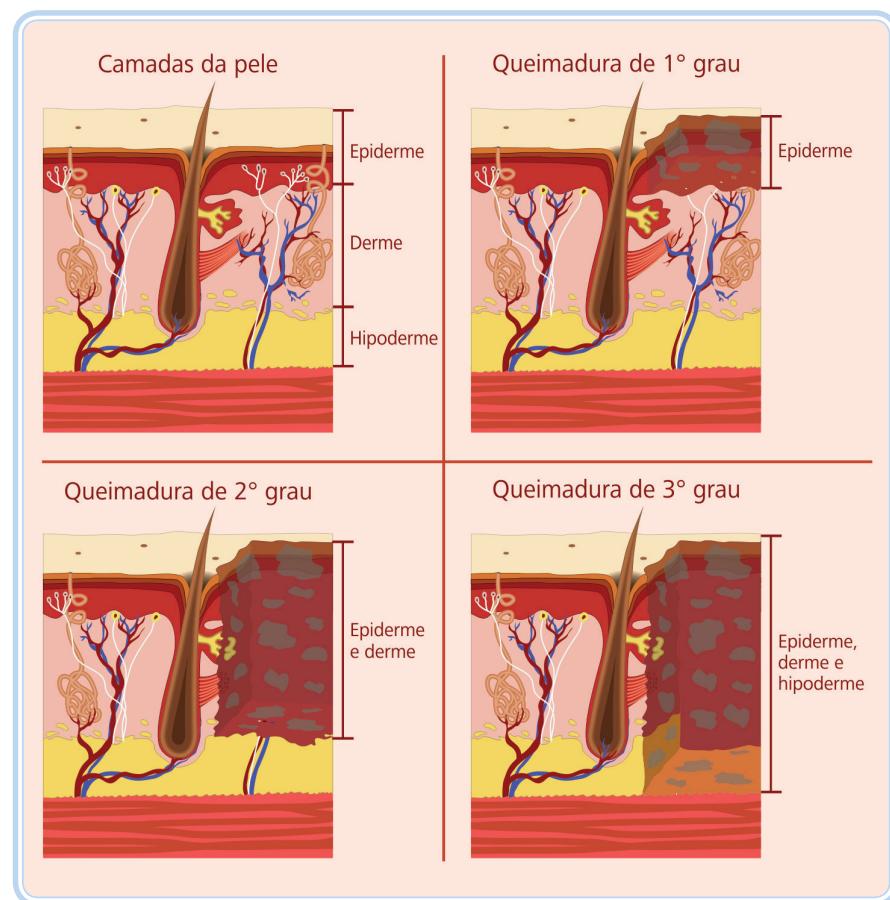


**Figura 8.5: Desfibrilador cardíaco**

Fonte: CTISM

#### 8.2.3.4 Queimaduras

A passagem da corrente elétrica pelo corpo produz, por efeito joule, aquecimento e possibilidade de consequentes queimaduras. Tais queimaduras provocam dor e podem apresentar-se em 3 graus definidos de acordo com a profundidade e espessura do tecido destruído, conforme representado na Figura 8.6.



**Figura 8.6: Graus de queimadura**

Fonte: CTISM

O efeito térmico causado pelo aquecimento devido a passagem de corrente elétrica pelo corpo pode alterar as características sanguíneas. O aquecimento pode causar mudança da concentração de sais minerais, produzindo desequilíbrio, gerando mal funcionamento de outros elementos. Pode ocorrer também a aglutinação de sais, produzindo bolinhas que possibilita a ocorrência de coágulos no sangue. Esses coágulos podem provocar trombose nas artérias, veias e vasos, culminando com a morte da pessoa.

### 8.2.3.5 Danos cerebrais

Alguns acidentes com choque elétrico ocorrem na parte superior da cabeça e a corrente passando através do cérebro, pode produzir efeitos diversos, com sequelas graves, inclusive a morte. Exemplo disso são: pessoas que utilizam correntes no pescoço e se abaixam para ligar ou desligar um equipamento elétrico com carcaça metálica no chão sem o fio terra, o que pode ser muito perigoso.

Alguns efeitos que esse tipo de ocorrência podem acarretar são: inibição do cérebro, dessincronização dos movimentos, edema, isquemia. Alguns desses fatores, também, causa perda de memória, raciocínio, visão, audição, etc.

O choque elétrico na cabeça ou pescoço, pode também atingir o bulbo cerebral, podendo produzir consequências no centro cardiorrespiratório.

**Quadro 8.1: Consequência do choque elétrico**

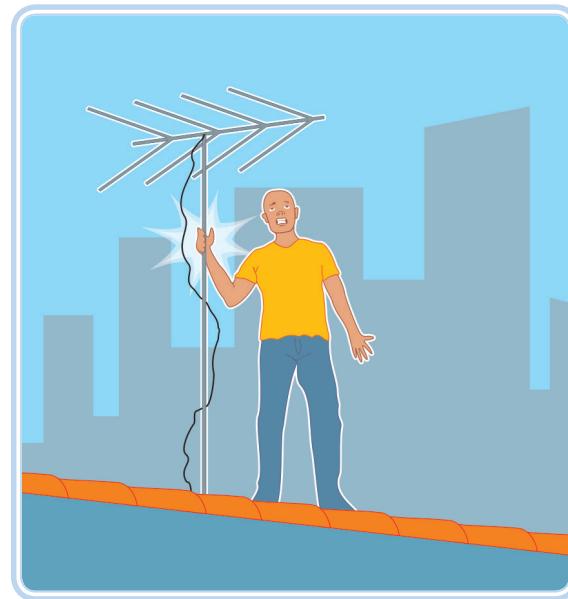
Corrente (mA)	Reação fisiológica	Consequência	Salvamento	Resultado final mais provável
CA	CC			
Até 25	Até 80	<p><b>1mA (CA)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sensação de formigamento</li> </ul> <p><b>5 a 15 mA (CA)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Contratação muscular</li> </ul> <p><b>15 a 25 mA (CA)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Contratação muscular violenta</li> <li>Impossibilidade de soltar-se do ponto energizado</li> <li>Problemas respiratórios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se a corrente for próxima de 25 mA pode haver asfixia e consequentemente morte aparente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respiração artificial</li> </ul>
25 a 80	80 a 300	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensação insuportável</li> <li>Contrações violentas</li> <li>Asfixia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Morte aparente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respiração artificial</li> </ul>

Corrente (mA)		Reação fisiológica	Consequência	Salvamento	Resultado final mais provável
CA	CC				
> 80	> 300	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asfixia imediata</li> <li>Fibrilação ventricular</li> <li>Alterações musculares (químicas)</li> <li>Queimaduras</li> </ul>	• Morte aparente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respiração artificial</li> <li>Massagem cardíaca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caso levado ao hospital e feita a desfibrilação – restabelecimento</li> </ul>
Correntes da ordem de ampères		<ul style="list-style-type: none"> <li>Queimaduras (efeito térmico)</li> <li>Necrose dos tecidos</li> <li>Asfixia imediata</li> <li>Fibrilação ventricular</li> <li>Danos posteriores resultantes da eletrólise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Morte aparente</li> <li>Dependendo das queimaduras, sequelas ou morte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respiração artificial</li> <li>Massagem cardíaca</li> <li>Tratamento hospitalar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hospital</li> <li>Desfibrilação</li> <li>Recuperação difícil</li> <li>Atrofia muscular</li> <li>Outros danos</li> </ul>

Fonte: Kindermann; Campagnolo, 1995

### 8.2.3.6 Efeitos indiretos do choque elétrico

Por último, o choque elétrico poderá causar simples contrações musculares que, muito embora não acarretem de uma forma direta lesões, fatais ou não, poderão originá-las, contudo, de uma maneira indireta. A contração do músculo poderá levar a pessoa a, involuntariamente, chocar-se com alguma superfície, sofrendo, assim, contusões, ou mesmo, uma queda, quando a vítima estiver em local elevado. A Figura 8.7 exemplifica essa situação.



**Figura 8.7: Efeitos indiretos**

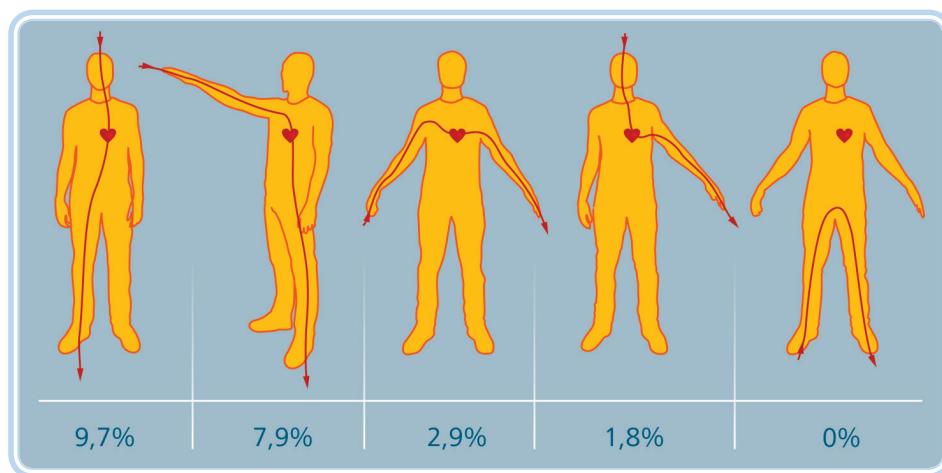
Fonte: CTISM

## 8.2.4 Fatores determinantes da gravidade

A intensidade e consequências do choque elétricos depende de vários fatores. Entre os principais, pode-se citar os relacionados a seguir.

### 8.2.4.1 Percurso da corrente elétrica

O percurso seguido pela corrente no corpo da vítima possui uma grande influência na gravidade do choque elétrico. Uma corrente de intensidade elevada que circule apenas por uma pequena parte da perna, por exemplo, pode resultar só em queimaduras locais, sem outras lesões mais sérias. No entanto, se a mesma intensidade de corrente circular de um braço a outro da vítima, poderá levar a uma parada respiratória ou fibrilação cardíaca. A Figura 8.8 fornece a porcentagem da corrente elétrica que passará pelo coração em relação à corrente que está atravessando o corpo em cada condição.



**Figura 8.8: Percurso da corrente pela vítima**

Fonte: CTISM, adaptado de Kindermann, 1995

### 8.2.4.2 Característica da corrente elétrica

Um fator a determinar a gravidade do choque elétrico são as características da corrente. Para correntes do tipo contínuo (CC), as intensidades da corrente deverão ser mais elevadas para ocasionar as sensações do choque elétrico, a fibrilação ventricular e a morte. No caso da fibrilação ventricular, esta só ocorrerá se a corrente contínua for aplicada durante um instante curto, específico e vulnerável do ciclo cardíaco. Em outros tipos de lesões, tornam-se necessárias intensidades de corrente contínua três a cinco vezes maiores do que as do tipo alternado.

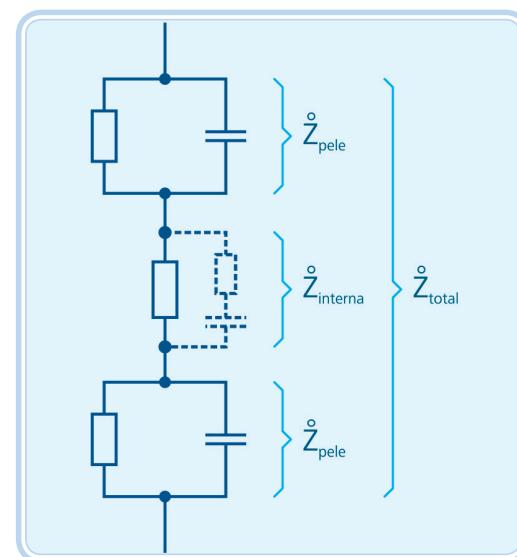
A frequência da corrente também altera as características e efeitos do choque elétrico. As frequências entre 20 e 100 hertz oferecem grande risco. Isso se deve porque a frequência de 60 hertz, usada nos sistemas elétricos de nosso país,

são especialmente perigosas, visto que essas se situam próximas à frequência na qual a possibilidade de ocorrência da fibrilação ventricular é maior.

#### 8.2.4.3 Resistência do corpo humano

A intensidade da corrente que circulará pelo corpo da vítima dependerá, em muito, da resistência elétrica que esta oferecer à passagem da corrente, e também de qualquer outra resistência adicional nesse caminho. A resistência que o corpo humano oferece à passagem da corrente é quase que exclusivamente devida à camada externa da pele. Essa resistência está associada a sua espessura e demais características. Quando, no entanto, encontra-se úmida, condição mais facilmente encontrada na prática, a resistência elétrica do corpo pode ser bastante baixa. Esta baixa resistência é originada pelo fato de que a corrente pode, então, passar para a camada interna da pele, que apresenta menor resistência elétrica. Também, ao estar com cortes, a pele pode oferecer uma menor resistência.

A Figura 8.9 representa o modelo de resistência elétrica de nosso corpo. Essa representação mostra que a corrente elétrica passa pela pele (entrada e saída da corrente), e parte interna do corpo humano.



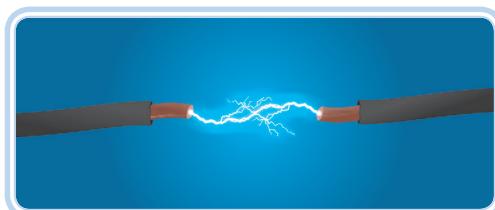
**Figura 8.9: Modelo elétrico da resistência do corpo**

Fonte: CTISM

### 8.3 Arco elétrico

Esse também é um risco de origem elétrica. O arco voltaico caracteriza-se pelo fluxo de corrente elétrica através de um meio “isolante”, como o ar, e geralmente é produzido quando da conexão e desconexão de dispositivos

elétricos e em caso de curto-círcito. A temperatura do arco elétrico pode subir consideravelmente, causando geralmente queimaduras de 3º grau, podendo levar a inúmeras consequências danosas, inclusive à morte. A Figura 8.10 exemplifica um arco elétrico.



**Figura 8.10: Exemplo de arco elétrico**

Fonte: CTISM

## 8.4 Campo eletromagnético

O campo magnético ocorre sempre que há passagem da corrente elétrica nos meios condutores. O campo eletromagnético está presente em inúmeras atividades humanas, tais como trabalhos com circuitos ou linhas energizadas, solda elétrica, utilização de telefonia celular e fornos de micro-ondas.

Os trabalhadores que interagem com o sistema elétrico de potência estão expostos ao campo eletromagnético, quando da execução de serviços em linhas de transmissão aérea e subestações de distribuição de energia elétrica, nas quais empregam-se elevados níveis de tensão e corrente.

Os efeitos possíveis no organismo humano decorrente da exposição ao campo eletromagnético são de natureza elétrica e magnética. Onde o empregado fica exposto ao campo onde seu corpo sofre uma indução, estabelecendo um diferencial de potencial entre o empregado e outros objetos inerentes às atividades.

Cuidados especiais devem ser tomados por trabalhadores ou pessoas que possuem em seu corpo aparelhos eletrônicos tais como, marca passo, aparelhos auditivos, dentre outros, pois seu funcionamento pode ser comprometido na presença de campos magnéticos intenso.

## 8.5 Medidas de controle de riscos elétricos

As medidas de controle de riscos elétricos abrange o conjunto de atividades que possibilitam a detecção dos riscos, a compreensão de como ele se relaciona na atividade e os seus efeitos. A partir disso, deve-se prever ações para evitar que acidentes decorrentes desse risco ocorra.

As medidas de controle de riscos elétricos devem começar a ser definidas na fase de projeto das instalações elétricas, passando pela execução dessa instalação e deve terminar nos procedimentos de trabalho.

Conforme preconizado na NR 10, uma das principais formas de se eliminar o perigo elétrico e a eliminação de seu risco causador, isso é, desenergizar o sistema. As definições a seguir são retiradas diretamente das normativas relacionadas à NR 10 do Ministério do Emprego.

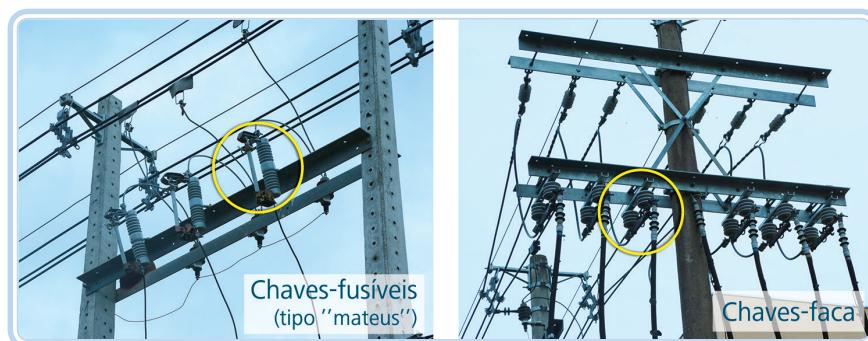
### 8.5.1 Desenergização

A desenergização é um conjunto de ações coordenadas, sequenciadas e controladas, destinadas a garantir a efetiva ausência de tensão no circuito, trecho ou ponto de trabalho, durante todo o tempo de intervenção e sob controle dos trabalhadores envolvidos.

Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho, mediante os procedimentos apropriados e obedecida a sequência a seguir:

#### 8.5.1.1 Seccionamento

É o ato de promover a descontinuidade elétrica total, com afastamento adequado entre um circuito ou dispositivo e outro, obtida mediante o acionamento de dispositivo apropriado (chave seccionadora, interruptor, disjuntor), acionado por meios manuais ou automáticos, ou ainda através de ferramental apropriado e segundo procedimentos específicos.



**Figura 8.11: Seccionamento**

Fonte: CTISM

### **8.5.1.2 Impedimento de reenergização**

É o estabelecimento de condições que impedem, de modo reconhecidamente garantido, a reenergização do circuito ou equipamento desenergizado, assegurando ao trabalhador o controle do seccionamento. Na prática trata-se da aplicação de travamentos mecânicos, por meio de fechaduras, cadeados e dispositivos auxiliares de travamento ou com sistemas informatizados equivalentes.



**Figura 8.12: Impedimento**

Fonte: CTISM

### **8.5.1.3 Constatação da ausência de tensão**

É a verificação da efetiva ausência de tensão nos condutores do circuito elétrico. Deve ser feita com detectores testados antes e após a verificação da ausência de tensão, sendo realizada por contato ou por aproximação e de acordo com procedimentos específicos.

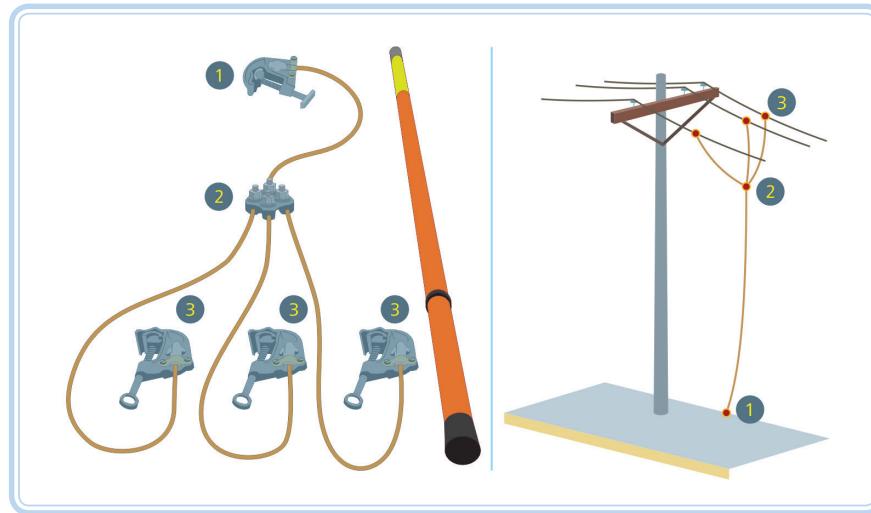


**Figura 8.13: Testador de tensão de contato (a) e de campo elétrico (b)**

Fonte: CTISM

### **8.5.1.4 Instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos**

Constatada a inexistência de tensão, um condutor do conjunto de aterramento temporário deverá ser ligado a uma haste conectada à terra. Na sequência, deverão ser conectadas as garras de aterramento aos condutores fase, previamente desligados.



**Figura 8.14: Sistema de aterramento temporário**

Fonte: CTISM

### 8.5.1.5 Proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada de reenergização

Define-se zona controlada como, área em torno da parte condutora energizada, segregada, acessível, de dimensões estabelecidas de acordo com nível de tensão, cuja aproximação só é permitida a profissionais autorizados, como disposto no Anexo II da Norma Regulamentadora Nº 10. Podendo ser feito com anteparos, dupla isolação, invólucros, etc.



**Figura 8.15: Manta isolante**

Fonte: CTISM

### 8.5.1.6 Instalação da sinalização de impedimento de reenergização

Deverá ser adotada sinalização adequada de segurança, destinada à advertência e à identificação da razão de desenergização e informações do responsável.



**Figura 8.16: Sinalização de advertência**

Fonte: CTISM

## Resumo

Ter a real compreensão dos riscos elétricos é um fator preponderante na análise dos possíveis perigos relacionados a esse agente. A compreensão dos efeitos diretos e indiretos de um acidente, envolvendo eletricidade, traz aos profissionais de segurança uma melhor análise das possíveis formas de evitar ou atenuar suas consequências. A eliminação do risco elétrico através do processo de desenergização deve ser preconizado como a principal forma de eliminação desse perigo, contudo nem sempre se faz possível essa ação.

## Atividades de aprendizagem

1. Defina choque elétrico.
2. Quais os tipos de choques elétricos.
3. Quais os efeitos de acidentes com choques elétricos.
4. Explique os fatores determinantes para a gravidade de um choque elétrico.
5. Explique cada etapa de um processo de desenergização.





# Aula 9 – NR 10: Instalações e Serviços em Eletricidade

## Objetivos

Conhecer as normativas pertinentes aos trabalhos com eletricidade.

Conhecer a abrangência dessa norma regulamentadora.

Diferenciar os perfis dos trabalhadores.

Determinar e executar medidas preventivas e corretivas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que interagem direta ou indiretamente com instalações e serviços em eletricidade.

## 9.1 Considerações iniciais

A Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) determina a relação entre empregadores e empregados. Essa lei foi instituída pelo então presidente Getúlio Dorneles Vargas, através do Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943. Após isso, em 22 de dezembro de 1977, o capítulo V da CLT foi alterado pela Lei nº 6.514, criando a partir daí o item da Segurança e da Medicina do Trabalho. Os itens pertinentes às Instalações Elétricas nessa lei, foram especialmente tratados nos artigos 179, 180 e 181. A partir da Lei nº 6.514, no ano seguinte (1978), pela Portaria nº 3.214, foram criadas as primeiras 28 normas regulamentadoras, sendo a de número 10, a que trata sobre Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.

Nos anos seguintes, até hoje, essas normas vêm sofrendo atualizações e revisões e outras novas também foram criadas. A NR 10 também foi revisada e atualizada devido ao desenvolvimento tecnológico e principalmente pelo crescimento do número de acidentes na área elétrica. Assim em 7 de dezembro de 2004, através da Portaria nº 598 essa norma passou a ter a redação atual, tema desse capítulo.

## 9.2 Objetivo e campo de aplicação

O primeiro capítulo da NR 10 deixa explícito o objetivo e o campo de aplicação dessa norma.

**10.1.1** Esta Norma Regulamentadora – NR estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

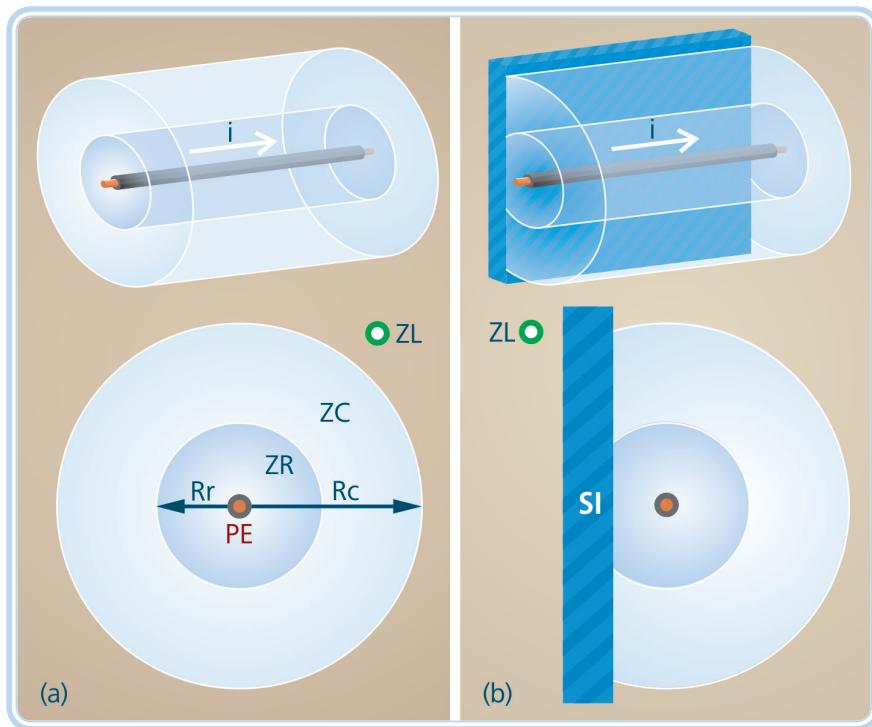
**10.1.2** Esta NR se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

O entendimento de atuação direta com eletricidade é simples, porém a norma não deixa claro o que se enquadra como atuação indireta. Entretanto a NR 10 possui dois itens específicos que tendem a delimitar um pouco a atuação indireta.

**10.6.1.2** As operações elementares como ligar e desligar circuitos elétricos, realizadas em baixa tensão, com materiais e equipamentos elétricos em perfeito estado de conservação, adequados para operação, podem ser realizadas por qualquer pessoa não advertida.

**10.8.9** Os trabalhadores com atividades não relacionadas às instalações elétricas desenvolvidas em zona livre e na vizinhança da zona controlada, conforme define esta NR, devem ser instruídos formalmente com conhecimentos que permitam identificar e avaliar seus possíveis riscos e adotar as precauções cabíveis.

Para uma melhor compreensão do item 10.8.9 é necessário saber a definição dos tipos de zonas definidos pelo glossário e Anexo I da NR 10. A Figura 9.1 representa as zonas de risco, controlada e livre.



**Figura 9.1: Distâncias no ar que delimitam radialmente as zonas de risco, controlada e livre, com interposição de superfície de separação física adequada**

Fonte: CTISM

Onde: ZL – zona livre

ZC – zona controlada, restrita a trabalhadores autorizados

ZR – zona de risco, restrita a trabalhadores autorizados e com a adoção de técnicas, instrumentos e equipamentos apropriados ao trabalho

PE – ponto da instalação energizado

SI – superfície isolante construída com material resistente e dotada de todos dispositivos de segurança

Ainda dentro do item 10.1.2 da NR 10 é mencionado a observância as normas técnicas oficiais estabelecidas, tais como as definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como, por exemplo, a NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão), a NBR 14039 (Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV) ou a NBR 5419 (Proteção de Estruturas Contra Descargas Elétricas).

Contudo, cabe aqui salientar uma diferenciação importante entre as NR's e as normas técnicas da ABNT. As NR's são elaboradas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) e possuem determinação de Lei, portanto seu cumprimento é obrigatório. As normas técnicas são elaboradas pela sociedade civil (fabricantes, associações, trabalhadores), sendo uma das mais conhecidas no Brasil a ABNT, dessa forma as normas técnicas não possuem um caráter

de obrigatoriedade, cabendo a responsabilidade técnica ao profissional da não observância de algum item de normas técnicas.

O não atendimento da NR 10 levará o MTE a adotar as providências estabelecidas na NR 03 (Embargo ou Interdição), conforme indicado no item 10.14.3.

A NR 10, em seu último item, também exclui sua obrigatoriedade aos trabalhadores que atuam em tensões inferiores a 50 V em corrente contínua e 120 V em corrente alternada, faixa essa definida como extra-baixa tensão (Glossário da NR 10).

**10.14.6** Esta NR não é aplicável a instalações elétricas alimentadas por extra-baixa tensão.

### **9.3 Habilitação, qualificação, capacitação e autorização dos trabalhadores**

A norma NR 10, em seu item 10.8, define os perfis para os trabalhadores em **qualificado, habilitado, capacitado e autorizado**. O profissional qualificado e habilitado é definido nos itens 10.8.1 e 10.8.2 respectivamente.

**10.8.1** É considerado trabalhador qualificado aquele que comprovar conclusão de curso específico na área elétrica reconhecido pelo Sistema Oficial de Ensino.

**10.8.2** É considerado profissional legalmente habilitado o trabalhador previamente qualificado e com registro no competente conselho de classe.

A definição de trabalhador capacitado é dado mediante o atendimento de duas condições: receber a capacitação e trabalhar sob a autorização de outro profissional habilitado, conforme especificado no item 10.8.3.

**10.8.3** É considerado trabalhador capacitado aquele que atenda às seguintes condições, simultaneamente:

- a) receba capacitação sob orientação e responsabilidade de profissional habilitado e autorizado;
- b) trabalhe sob a responsabilidade de profissional habilitado e autorizado.

**10.8.3.1** A capacitação só terá validade para a empresa que o capacitou e nas condições estabelecidas pelo profissional habilitado e autorizado responsável pela capacitação.

Entretanto a NR 10 não especifica a forma e conteúdo da capacitação, somente deixando claro que esta deve ser realizada por profissional habilitado e autorizado.

O trabalhador torna-se autorizado mediante do atendimento dos itens 10.8.4 ao 10.8.8:

**10.8.4** São considerados autorizados os trabalhadores qualificados ou capacitados e os profissionais habilitados, com anuênciia formal da empresa.

**10.8.5** A empresa deve estabelecer sistema de identificação que permita a qualquer tempo conhecer a abrangência da autorização de cada trabalhador, conforme o item 10.8.4.

**10.8.6** Os trabalhadores autorizados a trabalhar em instalações elétricas devem ter essa condição consignada no sistema de registro de empregado da empresa.

**10.8.7** Os trabalhadores autorizados a intervir em instalações elétricas devem ser submetidos à exame de saúde compatível com as atividades a serem desenvolvidas, realizado em conformidade com a NR 07 e registrado em seu prontuário médico.

**10.8.8** Os trabalhadores autorizados a intervir em instalações elétricas devem possuir treinamento específico sobre os riscos decorrentes do emprego da energia elétrica e as principais medidas de prevenção de acidentes em instalações elétricas, de acordo com o estabelecido no Anexo II desta NR.

O item 10.8.8 menciona sobre treinamento específico, onde a carga horária mínima e conteúdo programático é definido no Anexo dessa norma regulamentadora, conforme apresentado no item 10.8.8.1. Juntamente com este tópico, ainda há os itens complementares 10.8.8.2 e 10.8.8.3. Além disso, no item 10.12.2, o texto traz a necessidade de treinamento como socorrista dos trabalhadores do setor elétrico.

**10.8.8.1** A empresa concederá autorização na forma desta NR aos trabalhadores capacitados ou qualificados e aos profissionais habilitados que tenham

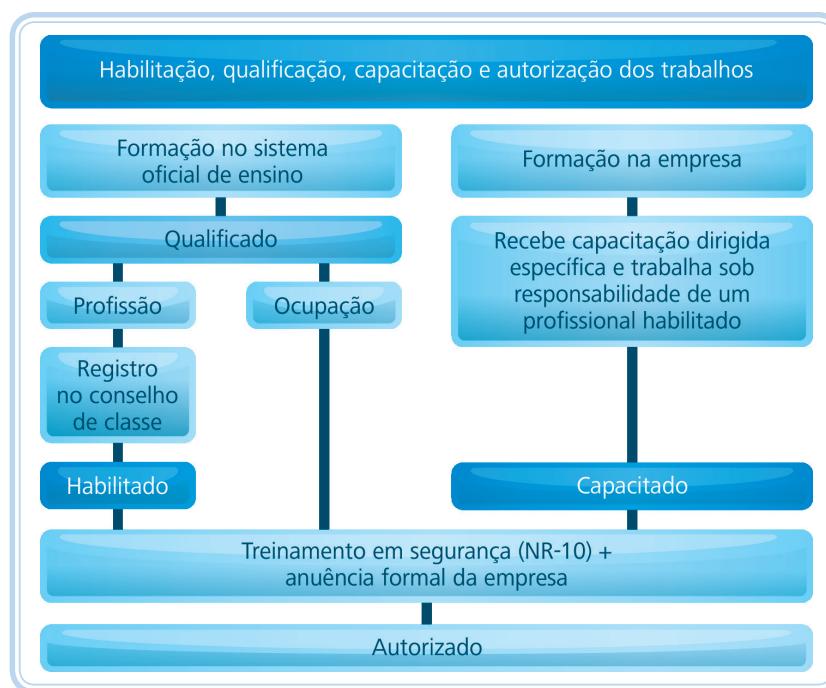
participado com avaliação e aproveitamento satisfatórios dos cursos constantes do Anexo II desta NR.

**10.8.8.2** Deve ser realizado um treinamento de reciclagem bienal e sempre que ocorrer alguma das situações a seguir:

- a) troca de função ou mudança de empresa;
- b) retorno de afastamento ao trabalho ou inatividade, por período superior a três meses;
- c) modificações significativas nas instalações elétricas ou troca de métodos, processos e organização do trabalho.

**10.8.8.3** A carga horária e o conteúdo programático dos treinamentos de reciclagem destinados ao atendimento das alíneas "a", "b" e "c" do item 10.8.8.2 devem atender as necessidades da situação que o motivou.

**10.12.2** Os trabalhadores autorizados devem estar aptos a executar o resgate e prestar primeiros socorros a acidentados, especialmente por meio de reanimação cardio-respiratória.



**Figura 9.2: Determinação do perfil profissional**

Fonte: CTISM

Resumindo o que foi apresentado, os profissionais trabalhadores de acordo com a NR 10 somente conseguirão a autorização mediante o organograma da Figura 9.2.

## 9.4 Documentação elétrica e de segurança e procedimentos de trabalho

A NR 10 menciona em diversos itens a necessidade das empresas em possuírem documentos que apresentem às características técnicas das instalações elétricas, bem como documentação voltada à segurança dos trabalhadores, como procedimentos de trabalho/emergência, especificação dos EPIs e EPCs entre outros. Ainda informa que tais documentos devem estar à disposição dos trabalhadores e autoridades competentes. Tais documentos são chamados pela NR 10 de Prontuário de Instalações Elétrica. Dessa forma, discutiremos, a seguir, essas documentações analisando diretamente os itens de norma:

**10.2.3** As empresas estão obrigadas a manter esquemas unifilares atualizados das instalações elétricas dos seus estabelecimentos com as especificações do sistema de aterramento e demais equipamentos e dispositivos de proteção.

**10.2.4** Os estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, além do disposto no subitem 10.2.3, no mínimo:

- a) conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas de segurança e saúde, implantadas e relacionadas a esta NR e descrição das medidas de controle existentes;
- b) documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos;
- c) especificação dos equipamentos de proteção coletiva e individual e o ferial, aplicáveis conforme determina esta NR;
- d) documentação comprobatória da qualificação, habilitação, capacitação, autorização dos trabalhadores e dos treinamentos realizados;
- e) resultados dos testes de isolação elétrica realizados em equipamentos de proteção individual e coletiva;
- f) certificações dos equipamentos e materiais elétricos em áreas classificadas;

g) relatório técnico das inspeções atualizadas com recomendações, cronogramas de adequações, contemplando as alíneas de "a" a "f".

**10.2.5** As empresas que operam em instalações ou equipamentos integrantes do sistema elétrico de potência devem constituir prontuário com o conteúdo do item 10.2.4 e acrescentar ao prontuário os documentos a seguir listados:

- a) descrição dos procedimentos para emergências;
- b) certificações dos equipamentos de proteção coletiva e individual.

**10.2.5.1** As empresas que realizam trabalhos em proximidade do Sistema Elétrico de Potência devem constituir prontuário contemplando as alíneas "a", "c", "d" e "e", do item 10.2.4 e alíneas "a" e "b" do item 10.2.5.

**10.2.6** O Prontuário de Instalações Elétricas deve ser organizado e mantido atualizado pelo empregador ou pessoa formalmente designada pela empresa, devendo permanecer à disposição dos trabalhadores envolvidos nas instalações e serviços em eletricidade.

**10.2.7** Os documentos técnicos previstos no Prontuário de Instalações Elétricas devem ser elaborados por profissional legalmente habilitado.

Complementando os itens acima mencionados, em relação a documentação cita-se os seguintes itens da NR 10:

**10.3.7** O projeto das instalações elétricas deve ficar à disposição dos trabalhadores autorizados, das autoridades competentes e de outras pessoas autorizadas pela empresa e deve ser mantido atualizado.

**10.12.1** As ações de emergência que envolvam as instalações ou serviços com eletricidade devem constar do plano de emergência da empresa.

Quando se trata de documentação, em diversos pontos da NR 10 o texto relata a necessidade da adoção de procedimentos de trabalho. A especificação de tais procedimentos é preconizada no item 10.11 sendo seu primeiro item citado abaixo:

**10.11.1** Os serviços em instalações elétricas devem ser planejados e realizados em conformidade com procedimentos de trabalho específicos, padronizados,

com descrição detalhada de cada tarefa, passo a passo, assinados por profissional que atenda ao que estabelece o item 10.8 desta NR.

## 9.5 Responsabilidades

O item 10.13 da NR 10 refere-se às responsabilidades de cada profissional e/ou da empresa.

**10.13.1** As responsabilidades quanto ao cumprimento desta NR são solidárias aos contratantes e contratados envolvidos.

**10.13.2** É de responsabilidade dos contratantes manter os trabalhadores informados sobre os riscos a que estão expostos, instruindo-os quanto aos procedimentos e medidas de controle contra os riscos elétricos a serem adotados.

**10.13.3** Cabe à empresa, na ocorrência de acidentes de trabalho envolvendo instalações e serviços em eletricidade, propor e adotar medidas preventivas e corretivas.

**10.13.4** Cabe aos trabalhadores:

- a) zelar pela sua segurança e saúde e a de outras pessoas que possam ser afetadas por suas ações ou omissões no trabalho;
- b) responsabilizar-se junto com a empresa pelo cumprimento das disposições legais e regulamentares, inclusive quanto aos procedimentos internos de segurança e saúde;
- c) comunicar, de imediato, ao responsável pela execução do serviço as situações que considerar de risco para sua segurança e saúde e a de outras pessoas.

As responsabilidades atribuídas aos profissionais e as empresas também são determinadas pela Constituição Federal, pela CLT e pelos códigos civil e penal. É importante notar que a responsabilidade civil se aplica as empresas e a criminal às pessoas.

O item 10.13.3 define como obrigatório, por parte da empresa, propor e adotar medidas preventivas e corretivas em casos de acidente do trabalho. Normalmente essa atividade dentro da empresa é executada pela Comissão

Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) de forma conjunta com o Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT).

## 9.6 Segurança em projetos

A NR 10 possui um item sobre os cuidados na elaboração de projetos, determinando requisitos mínimos a serem atendidos de tal forma que as instalações elétricas possuam, desde seu início, aspectos pertinentes a segurança da instalação e dos trabalhadores.

**10.3.1** É obrigatório que os projetos de instalações elétricas especifiquem dispositivos de desligamento de circuitos que possuam recursos para impedimento de reenergização, para sinalização de advertência com indicação da condição operativa.

**10.3.2** O projeto elétrico, na medida do possível, deve prever a instalação de dispositivo de seccionamento de ação simultânea, que permita a aplicação de impedimento de reenergização do circuito.

**10.3.3** O projeto de instalações elétricas deve considerar o espaço seguro, quanto ao dimensionamento e a localização de seus componentes e as influências externas, quando da operação e da realização de serviços de construção e manutenção.

**10.3.3.1** Os circuitos elétricos com finalidades diferentes, tais como: comunicação, sinalização, controle e tração elétrica devem ser identificados e instalados separadamente, salvo quando o desenvolvimento tecnológico permitir compartilhamento, respeitadas as definições de projetos.

**10.3.4** O projeto deve definir a configuração do esquema de aterramento, a obrigatoriedade ou não da interligação entre o condutor neutro e o de proteção e a conexão à terra das partes condutoras não destinadas à condução da eletricidade.

**10.3.5** Sempre que for tecnicamente viável e necessário, devem ser projetados dispositivos de seccionamento que incorporem recursos fixos de equipotencialização e aterramento do circuito seccionado.

**10.3.6** Todo projeto deve prever condições para a adoção de aterramento temporário.

**10.3.7** O projeto das instalações elétricas deve ficar à disposição dos trabalhadores autorizados, das autoridades competentes e de outras pessoas autorizadas pela empresa e deve ser mantido atualizado.

**10.3.8** O projeto elétrico deve atender ao que dispõem as Normas Regulamentadoras de Saúde e Segurança no Trabalho, as regulamentações técnicas oficiais estabelecidas, e ser assinado por profissional legalmente habilitado.

**10.3.9** O memorial descritivo do projeto deve conter, no mínimo, os seguintes itens de segurança:

- a) especificação das características relativas à proteção contra choques elétricos, queimaduras e outros riscos adicionais;
- b) indicação de posição dos dispositivos de manobra dos circuitos elétricos: (Verde – “D”, desligado e Vermelho – “L”, ligado);
- c) descrição do sistema de identificação de circuitos elétricos e equipamentos, incluindo dispositivos de manobra, de controle, de proteção, de intertravamento, dos condutores e os próprios equipamentos e estruturas, definindo como tais indicações devem ser aplicadas fisicamente nos componentes das instalações;
- d) recomendações de restrições e advertências quanto ao acesso de pessoas aos componentes das instalações;
- e) precauções aplicáveis em face das influências externas;
- f) o princípio funcional dos dispositivos de proteção, constantes do projeto, destinados à segurança das pessoas;
- g) descrição da compatibilidade dos dispositivos de proteção com a instalação elétrica.

**10.3.10** Os projetos devem assegurar que as instalações proporcionem aos trabalhadores iluminação adequada e uma posição de trabalho segura, de acordo com a NR 17 – Ergonomia.

## 9.7 Segurança em instalações elétricas desenergizadas

A melhor forma de suprimir o perigo de uma situação qualquer é eliminar o risco que o gerou. Dessa forma, a melhor medida de proteção contra risco elétrico é a sua ausência (desenergização). O item 10.5.1 define os requisitos necessários para considerar um circuito ou sistema desenergizado:

**10.5.1** Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho, mediante os procedimentos apropriados, obedecida a sequência abaixo:

- a) seccionamento;
- b) impedimento de reenergização;
- c) constatação da ausência de tensão;
- d) instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada (Anexo I);
- f) instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

Os demais itens desse tópico (10.5) relatam também sobre os procedimentos de reenergização, substituição e/ou eliminação de algum desses procedimentos. Caso não exista a possibilidade de se trabalhar com o sistema desenergizado, a norma remete ao item 10.6 que trata especificamente de sistemas energizados.

## 9.8 Segurança em instalações elétricas energizadas em baixa e alta tensão

A NR 10 classifica, através de seu glossário, sistemas elétricos em extra-baixa, baixa e alta tensão. Os itens 10.6 e 10.7 dessa norma especificam respectivamente segurança em instalações elétricas energizadas e trabalhos envolvendo Alta Tensão (AT). Cada um desses itens remete os trabalhadores a curso de capacitação, conforme especificado nos seguintes itens:

**10.6.1** As intervenções em instalações elétricas com tensão igual ou superior a 50 volts em corrente alternada ou superior a 120 volts em corrente contí-

nua somente podem ser realizadas por trabalhadores que atendam ao que estabelece o item 10.8 desta Norma.

**10.6.1.1** Os trabalhadores de que trata o item anterior devem receber treinamento de segurança para trabalhos com instalações elétricas energizadas, com currículo mínimo, carga horária e demais determinações estabelecidas no Anexo II desta NR.

**10.7.1** Os trabalhadores que intervenham em instalações elétricas energizadas com alta tensão, que exerçam suas atividades dentro dos limites estabelecidos como zonas controladas e de risco, conforme Anexo I, devem atender ao disposto no item 10.8 desta NR.

**10.7.2** Os trabalhadores de que trata o item 10.7.1 devem receber treinamento de segurança, específico em segurança no Sistema Elétrico de Potência (SEP) e em suas proximidades, com currículo mínimo, carga horária e demais determinações estabelecidas no Anexo II desta NR.

Outro interessante ponto abordado é o relatado no item 10.7.3:

**10.7.3** Os serviços em instalações elétricas energizadas em AT, bem como aqueles executados no Sistema Elétrico de Potência – SEP, não podem ser realizados individualmente.

É interessante verificar que o item 10.7.3 não define o número de trabalhadores na execução das atividades relacionadas ao SEP ou em serviços em instalações energizadas em AT. Essa definição deverá ser dada através do procedimento de trabalho adotado, sempre preconizando que pelo menos um dos trabalhadores seja capaz de exercer a função de socorrista em caso de acidente.

Entre os diversos pontos da NR 10 abordados, alguns ainda não mencionados diretamente devem ser analisados. O item 10.2 trata sobre as medidas de controle, visando a segurança, tanto coletiva quanto individual dos trabalhadores. Além disso, preconiza diversos pontos já citados quanto a documentação das instalações elétrica.

O item 10.9 atende requisitos quanto a Proteção Contra Incêndio e Explosão. Além de especificar alguns requisitos sobre esse tema, esse item remete também ao atendimento da NR 23 (Proteção Contra Incêndio).

O item 10.10 trata sobre Sinalização de Segurança sendo o mesmo formado apenas por um item, o qual relata que em instalações e serviços em eletricidade deve ser adotada sinalização adequada de segurança, destinada à advertência e à identificação, obedecendo ao disposto na NR 26 – Sinalização de Segurança. O último item da NR 10 relata algumas Disposições Gerais pertinentes ao cumprimento dos itens anteriores.

## Resumo

Nesta aula, estudamos os aspectos pertinentes a NR 10. Diversos itens são apontados e discutidos. Essa norma apresenta os principais itens das atividades dos eletricistas.

Os conhecimentos desenvolvidos nessa aula ajudaram os eletricistas a trabalharem com maior segurança e entendimento dos riscos da área elétrica.



## Atividades de aprendizagem

1. Aponte os objetivos e área de abrangência da NR 10.
2. Defina o que é zona de risco, zona controlada e zona livre.
3. Explique os diferentes perfis dos trabalhadores quanto a sua formação.
4. Quando um sistema elétrico é considerado desenergizado?
5. Defina o que é extra-baixa, baixa e alta tensão.
6. A NR 10 possui um item sobre os cuidados na elaboração de projetos, determinando requisitos mínimos a serem atendidos de tal forma que as instalações elétricas possuam, desde seu início, aspectos pertinentes a segurança da instalação e dos trabalhadores. Cite três desses requisitos.

# Aula 10 – Iluminação

## Objetivos

Conhecer as definições e conceitos básicos sobre iluminação.

Reconhecer a importância das normas técnicas pertinentes e suas aplicações.

Aplicar as normas técnicas em um projeto luminotécnico.

## 10.1 Conceitos iniciais

Dos cinco sentidos, a visão é o meio por qual obtemos o maior número de informações do mundo ao nosso redor, seja por observação de eventos ou pela leitura. A habilidade de olhar é proporcionada pela luz. Esta aula abordará os conceitos básicos de iluminação, como diferentes níveis de iluminação afetam o dia a dia, as normas técnicas que a regulamentam, e a aplicação destas em um projeto luminotécnico.



## 10.2 Histórico

A forma de luz artificial mais antiga é o fogo, datado da pré-história. A evolução da humanidade causou a evolução do uso do fogo como luz, sendo utilizado em velas e lampiões. Logo após surgiu a iluminação a gás.

A geração de luz utilizando eletricidade foi desenvolvida por Thomas Edison, em 1879. A invenção de Edison, a lâmpada com filamentos aquecidos, é utilizada como modelo até hoje (utilização em lâmpadas incandescentes).



Saiba mais sobre lâmpadas incandescentes, acesse:  
[http://pt.wikipedia.org/  
wiki/L%C3%A2mpada\\_incandescente](http://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_incandescente)

Outro modelo de lâmpada foi desenvolvido, entre outros, por Nikola Tesla em 1938. A lâmpada de descarga, hoje conhecida comumente como lâmpada fluorescente, possui uma maior eficiência que a lâmpada incandescente na conversão de energia elétrica em luz.

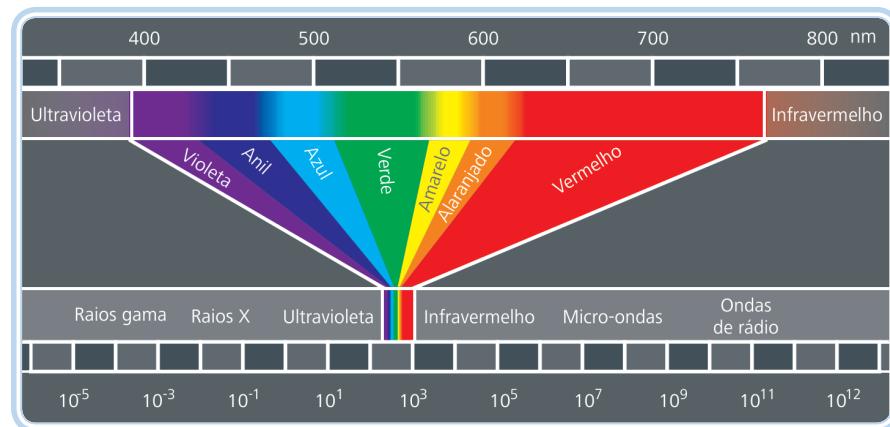


Assista um vídeo sobre lâmpadas fluorescentes em:  
[https://www.youtube.com/  
watch?v=HcYc0pv8OyA](https://www.youtube.com/watch?v=HcYc0pv8OyA)

## 10.3 Conceitos básicos

A luz é parte do espectro das ondas eletromagnéticas. A luz visível, por sua vez, constitui uma porção de todo o espectro, como apresentado na Figura 10.1. A cor da luz emitida, ou captada, é determinada pela sua frequência. Quanto maior a frequência da luz, mais azul/violeta. Quanto menor a frequência, mais vermelho.

Saiba mais sobre luz em:  
<http://ventosdouniverso.blogspot.com.br/2012/02/sumario-para-o-blogonauta-1.html>



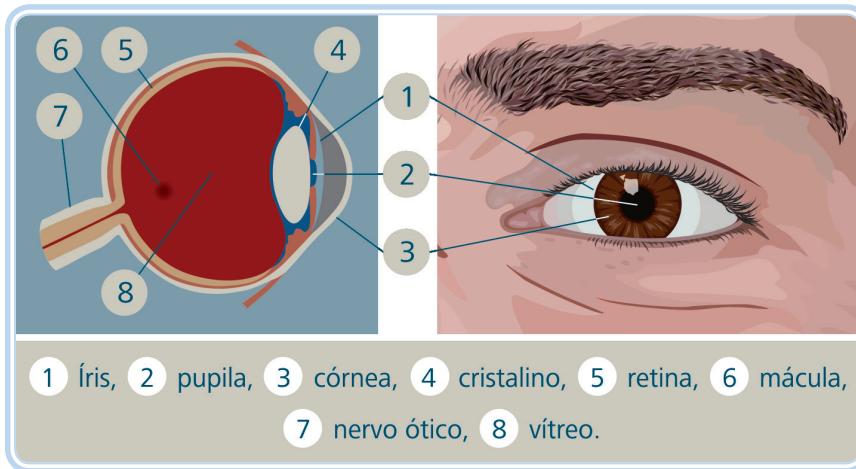
**Figura 10.1: Espectro das ondas eletromagnéticas, com ênfase na luz visível**

Fonte: CTISM

A radiação luminosa é percebida pelo olho humano da seguinte maneira:

Quando olhamos na direção de algum objeto, a imagem atravessa primeiramente a córnea, uma película transparente que protege o olho. Chega, então, à íris, que regula a quantidade de luz recebida por meio de uma abertura chamada pupila. Quanto mais dilatada a pupila, mais radiação luminosa entra no olho.

Passada a pupila, a imagem chega a uma lente, o cristalino, onde a imagem é focada sobre a retina. A lente do olho produz uma imagem invertida, e o cérebro a converte para a posição correta. Na retina, mais de cem milhões de células fotorreceptoras, divididas entre cones e bastonetes, transformam as ondas luminosas em impulsos eletroquímicos, os quais são transmitidos pelo nervo óptico até o cérebro, onde são decodificados. A Figura 10.2 apresenta uma imagem em corte longitudinal do globo ocular humano, onde pode ser observada a constituição básica do sistema ocular.



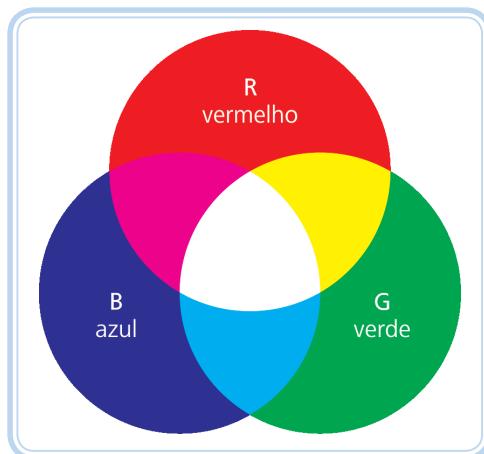
**Figura 10.2: Estrutura do globo ocular**

Fonte: CTISM

Os cones e bastonetes são células fotorreceptoras que constituem a camada da retina sensorial mais próxima da retina pigmentar e são sensíveis ao estímulo da luz visível.

Os cones são células responsáveis pela visão cromática e acuidade visual, reagindo com rapidez na detecção de detalhes e cores. Este tipo de fotorreceptor atua durante a visão diurna, a qual é chamada de visão fotópica. Existem três tipos de cones no olho humano, cada um é especializado em determinado comprimento de luz. O conjunto de sinais possíveis dos três tipos de cones define a gama de cores visíveis.

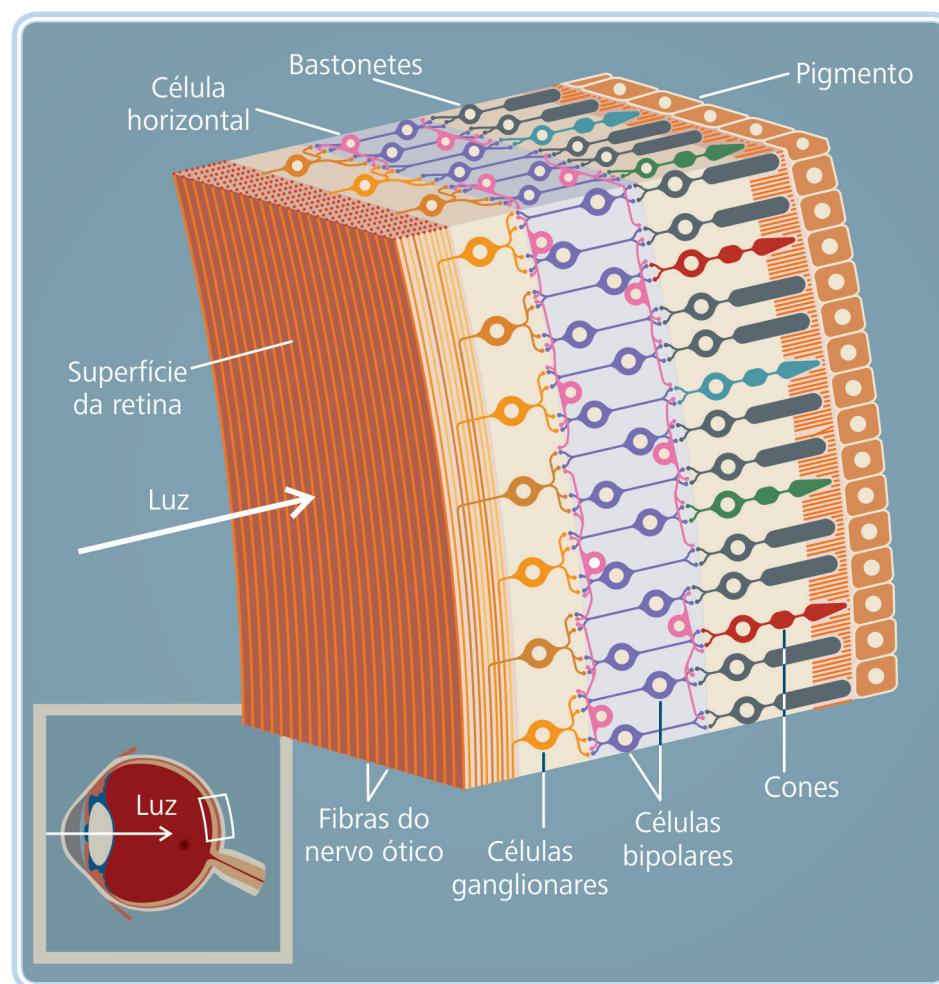
As cores do espectro podem ser reduzidas às três cores primárias: azul, vermelho e verde conforme apresentado na Figura 10.3. Estas são chamadas de cores primárias, uma vez que é possível gerar qualquer cor do espectro visível por uma combinação linear entre elas.



**Figura 10.3: Cores primárias e composição de cores secundárias**

Fonte: CTISM

Os bastonetes são células fotorreceptoras responsáveis pela visão em condições de luz reduzida, ou visão escotópica, estando ainda envolvidas na visão não cromática. A Figura 10.4 representa um segmento da retina humana e sua composição celular.



**Figura 10.4: Detalhe de segmento da retina**

Fonte: CTISM

## 10.4 Definições luminotécnicas básicas



Saiba mais detalhes sobre definições básicas em:  
<http://www.schreder.com/brs-pt/Escoladelluminacao/Guiadelluminacao/Dicionariodelluminacao/Pages/default.aspx>

### 10.4.1 Quantidade de luz

A quantidade de luz é representada por valores numéricos das grandezas apontadas a seguir.

### 10.4.1.1 Fluxo luminoso ( $\phi$ )

É chamado de fluxo luminoso a soma de toda radiação que causa estímulo visual emitida por uma fonte luminosa, ilustrado na Figura 10.5. A unidade do fluxo luminoso é o lúmen (lm), o que em latim, significa fogo.

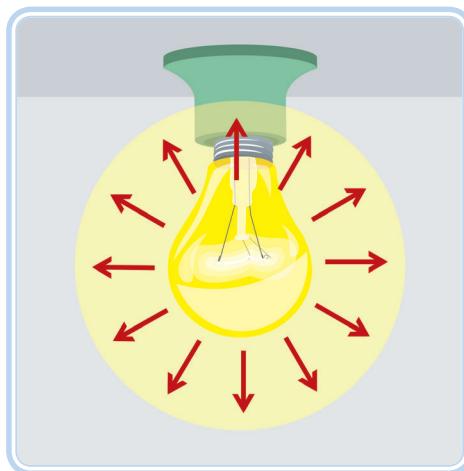


Figura 10.5: Ilustração de fluxo luminoso

Fonte: CTISM

### 10.4.1.2 Intensidade luminosa (I)

É a razão entre o fluxo luminoso irradiado sobre a área de uma unidade de ângulo sólido (sr) em uma dada direção. A unidade de intensidade luminosa é o **candela** (cd). A Figura 10.6 ilustra a representação de intensidade luminosa.

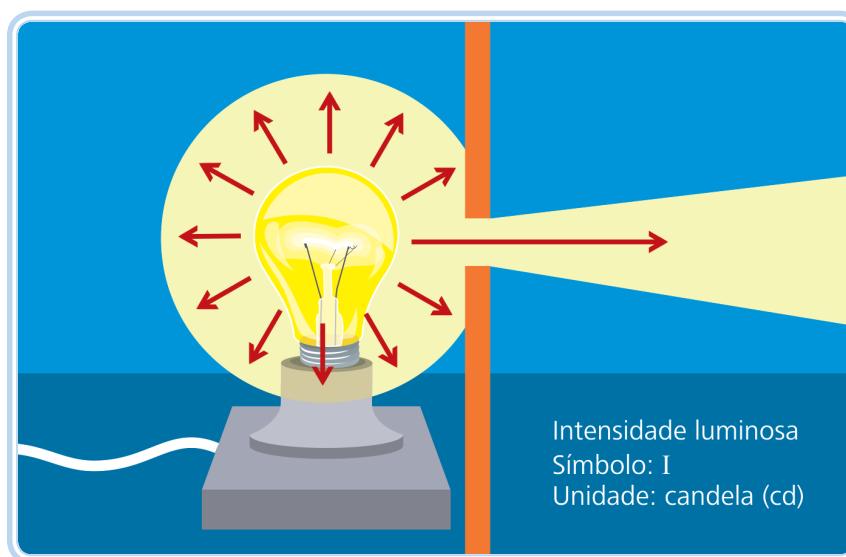


Figura 10.6: Ilustração de intensidade luminosa

Fonte: CTISM

### A-Z

#### candela

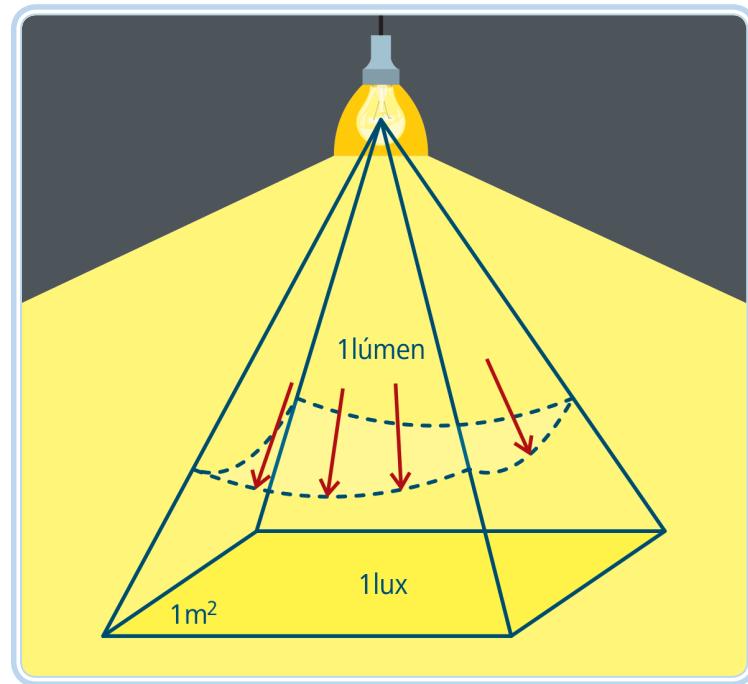
É uma unidade derivada de lúmen dividido por esterradiano (lm/sr).

### 10.4.1.3 Iluminância (E)

É a razão entre o fluxo luminoso incidente sobre uma superfície sobre a área incidida, conforme ilustrado na Figura 10.7. A unidade de iluminância é o lux (lx).



O lux é uma unidade derivada da razão entre lumens e metro quadrado (lm/m<sup>2</sup>).

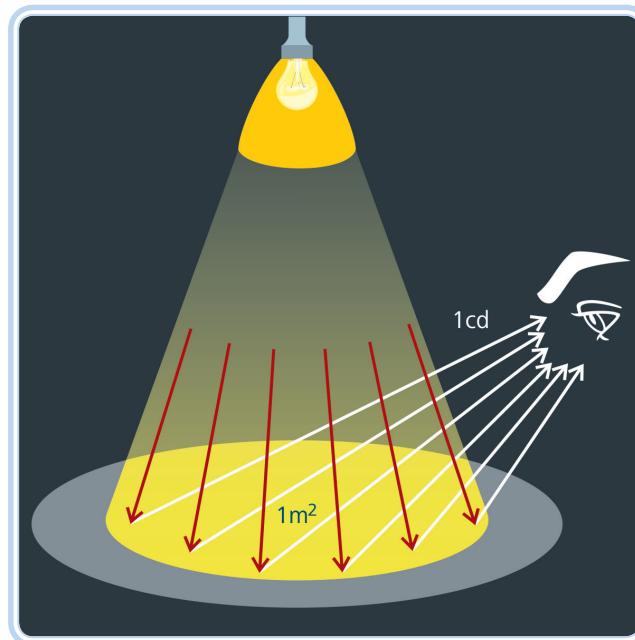


**Figura 10.7:** Representação de iluminância

Fonte: CTISM

#### 10.4.1.4 Luminância (L)

É a razão entre o fluxo luminoso refletido, em uma dada direção, sobre a área de reflexão destes raios, conforme representado na Figura 10.8. A unidade de luminância é candela por m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>). A luminância não possui unidade dedicada.



**Figura 10.8:** Ilustração da luminância

Fonte: CTISM

### 10.4.1.5 Eficiência luminosa

É a razão entre o fluxo luminoso total de uma fonte luminosa sobre a potência gasta por esta fonte. A unidade de eficiência luminosa é a razão de lúmens por watt (lm/W). Esta grandeza é utilizada para comparação entre as diferentes lâmpadas, como apresentado na Figura 10.9.

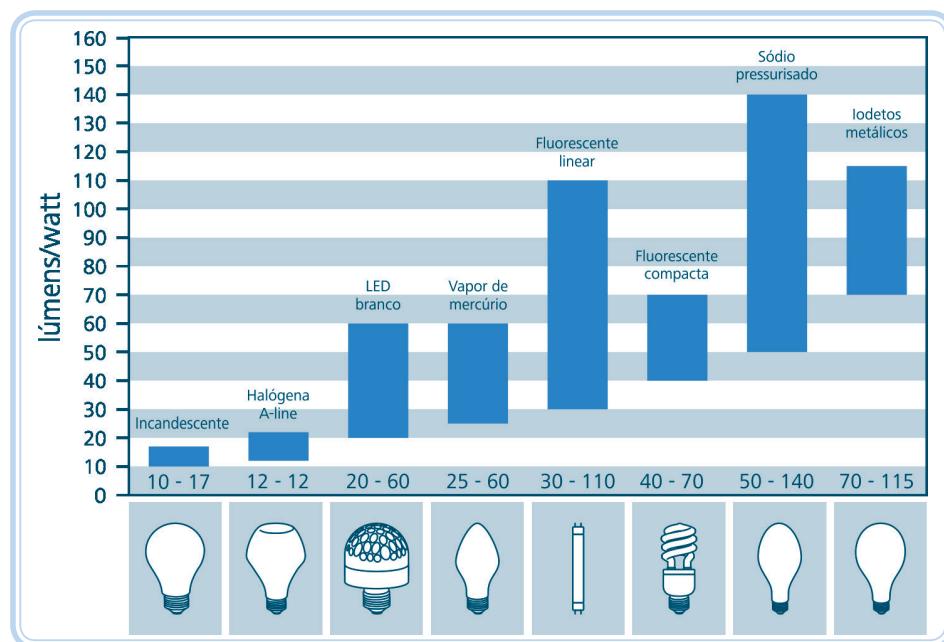


Figura 10.9: Comparação de eficiências luminosas entre lâmpadas

Fonte: CTISM

### 10.4.2 Qualidade de luz

A qualidade de luz depende de diversos fatores e grandezas luminotécnicas. A seguir serão descritas algumas dessas grandezas.

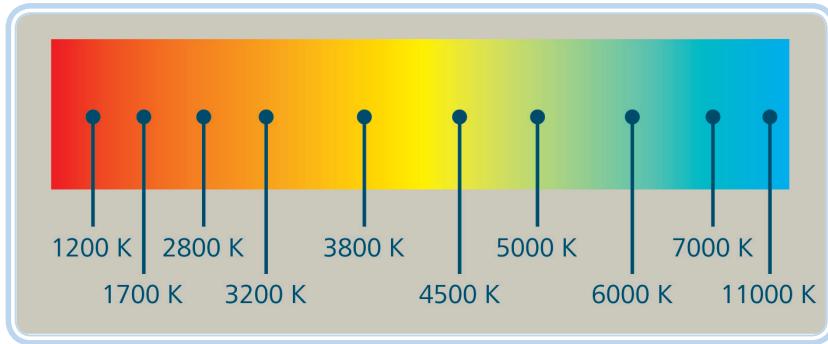
#### 10.4.2.1 Índice de Reprodução de Cores (IRC)

O IRC é um valor médio da relação entre a reprodução de cores da fonte artificial em relação à referência (luz do sol ao meio dia de verão). O IRC é um valor que varia de 0 a 100.

Quanto maior o índice, mais as cores percebidas de um objeto iluminado pela fonte artificial aparecem estar iluminados pela referência. Quanto menor o índice, mais distorcida é a percepção das cores (IRC << 100).

#### 10.4.2.2 Temperatura de cor

Temperatura de uma barra de metal, em kelvins, em que esta emite uma certa tonalidade de cor, de vermelho à branco. Quanto mais elevada a temperatura de cor, mais clara a tonalidade da cor da luz, conforme representado na Figura 10.10.



**Figura 10.10: Temperatura de cor de várias fontes luminosas**

Fonte: CTISM



Saiba mais sobre o efeito estroboscópico em:  
<http://www.youtube.com/watch?v=wuLvk4JR9ng>

#### 10.4.2.3 Cintilamento

É a medida de modulação da fonte luminosa. Quando a modulação ocorre em baixas frequências, pode causar o efeito estroboscópico em monitores CRT e em máquinas rotativas. Nestas últimas, pode causar a impressão de estarem desativadas.

### 10.4.3 Características de lâmpadas

A correta escolha do tipo de lâmpada a ser usada em um ambiente depende muito da tecnologia da lâmpada utilizada, suas características e sua vida útil.

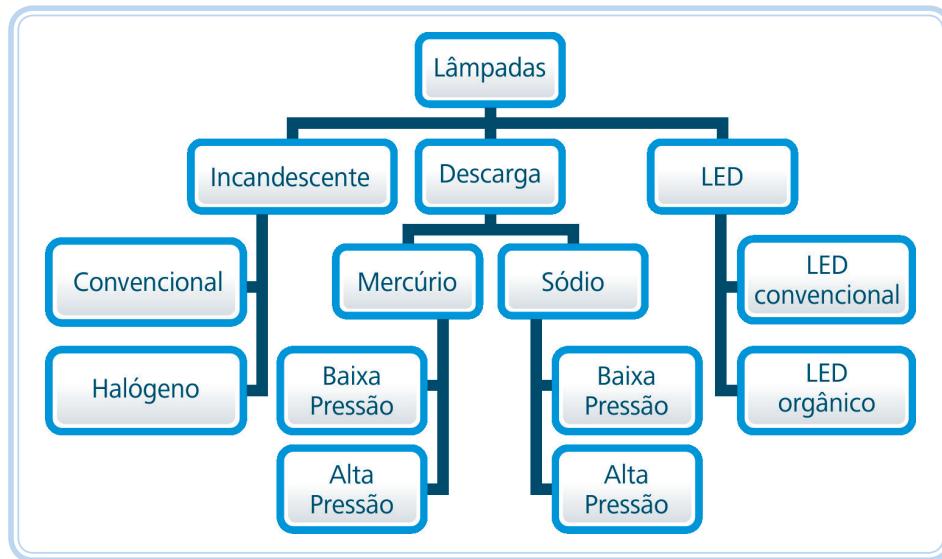
#### 10.4.3.1 Vida

- **Vida útil** – tempo que uma lâmpada para de funcionar quando operada em um ciclo de 2 horas e 45 minutos ligada, e 15 minutos desligada, de acordo com a norma IEC60901.
- **Vida média** – média aritmética das vidas úteis de um conjunto de lâmpadas ensaiadas pela norma IEC60901.
- **Vida mediana** – é o valor de vida útil mediano de um conjunto de lâmpadas ensaiadas, ou seja, o tempo que 50 % das lâmpadas demoram para falhar.

#### 10.4.3.2 Tipos

Existem diferentes tipos de lâmpadas, conforme representado na Figura 10.11. Estas são divididas entre lâmpadas de descarga, lâmpadas de estado sólido, e lâmpadas incandescentes.

As lâmpadas do tipo de descarga geram luz por meio da geração de um arco elétrico em um gás. O gás dentro da lâmpada pode estar em alta pressão ou em baixa pressão.



**Figura 10.11: Mapa representativo de lâmpadas**

Fonte: CTISM

As lâmpadas de estado sólido geram luz pelo uso de materiais semicondutores. Os **LEDs** e os **OLEDs** são lâmpadas deste grupo.

As lâmpadas incandescentes são todas as lâmpadas que produzem luz por meio de aquecimento de um filamento.

## 10.5 Iluminação em ambientes de trabalho

Sabe-se que a iluminação é um fenômeno físico, resultado da incidência de uma fonte luminosa em um ambiente de trabalho. O entendimento e verificação desse nível de iluminação em relação às normas vigentes é de suma importância.

### 10.5.1 Instrumentos de medida

Para determinação da eficiência e qualidade tanto da iluminação de ambientes quanto das características dos tipos de lâmpadas é necessário o uso de diversos equipamentos de medição.

#### 10.5.1.1 Luxímetro

O aparelho utilizado para aferir as medidas de iluminância é o luxímetro. Este pode ser utilizado de diferentes maneiras para a obtenção de diversas medidas. A Figura 10.12 mostra um luxímetro portátil focado para o uso por profissionais da área de segurança do trabalho.

### A-Z

#### LEDs

É sigla para *Light Emissiting Diode*, ou diodo emissor de luz.

#### OLED

É sigla para *Organic Light Emissiting Diode*, ou diodo emissor de luz orgânico.

Veja mais em:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo\\_emissor\\_de\\_luz](http://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo_emissor_de_luz)



**Figura 10.12: Luxímetro portátil**

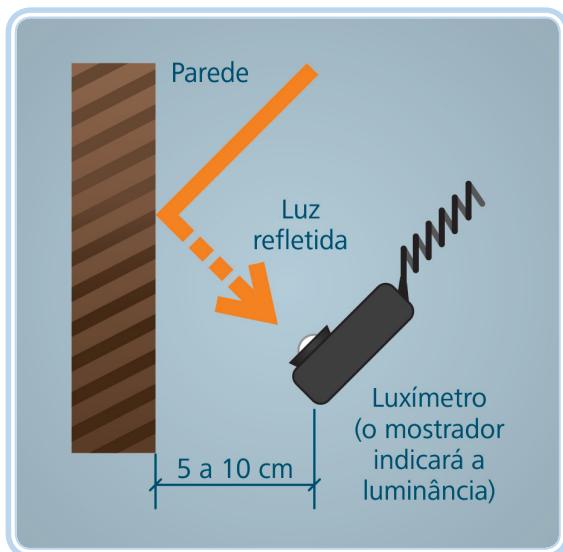
Fonte: CTISM

A Figura 10.13 mostra a forma de medição da iluminância com o luxímetro. A Figura 10.14 mostra a forma de medição da luminância com o mesmo aparelho, e a Figura 10.15 mostra a forma de medição de refletância de uma superfície.



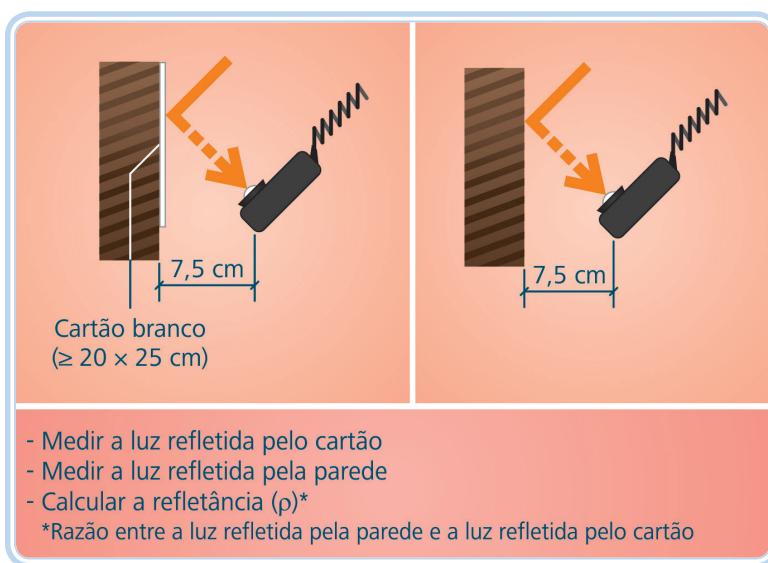
**Figura 10.13: Medição da iluminância com o luxímetro**

Fonte: CTISM



**Figura 10.14: Medição da luminância com o luxímetro**

Fonte: CTISM

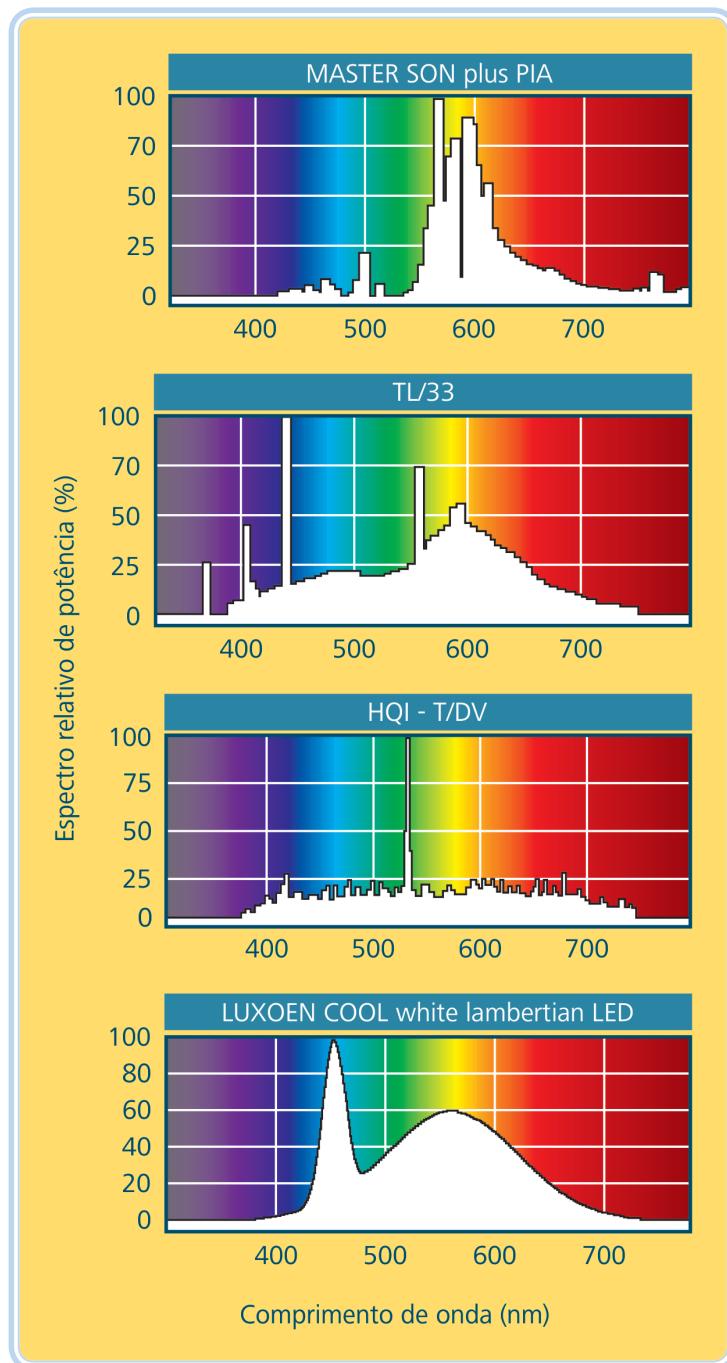


**Figura 10.15: Medição de refletância com o luxímetro**

Fonte: CTISM

### 10.5.1.2 Espectrômetro

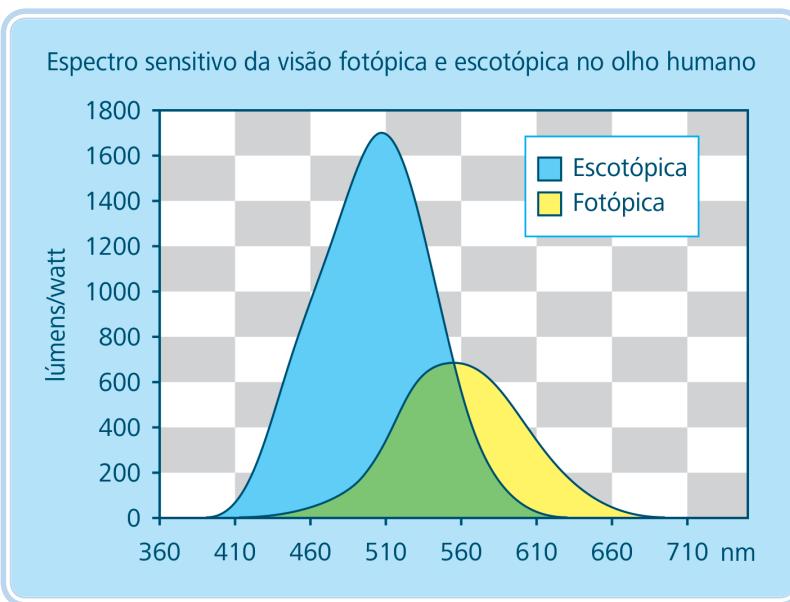
Este aparelho gera a distribuição espectral de uma fonte luminosa. Os gráficos apresentados na Figura 10.16 são normalizados, ou seja, os valores são expressos em uma razão do valor máximo.



**Figura 10.16: Distribuição espectral de diferentes fontes luminosas**

Fonte: CTISM

Entretanto nossos olhos não possuem uma sensibilidade igual para todos os comprimentos de onda. A curva de sensibilidade é apresentada na Figura 10.17. O lúmen, definido anteriormente, é padronizado de acordo com esta curva.



**Figura 10.17: Curva normalizada de sensibilidade do olho humano**

Fonte: CTISM

## 10.5.2 Normas de iluminação – ambientes de trabalho internos

Atualmente a NBR ISO/CIE 8995-1 regulamenta as características de iluminação em locais de trabalho. Esta Norma é uma cópia idêntica, em conteúdo técnico, das normas ISO/CIE 8995-1:2002 e Cor 1:2005. O escopo desta NBR lê:

“Esta Norma especifica os requisitos para os locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho.”

Apesar da Norma definir e especificar os requisitos mínimos para os locais de trabalho internos, esta não regulamenta como os sistemas de iluminação devem ser projetados ou quais técnicas devem ser utilizadas. A Norma sugere a utilização de guias e relatórios da CIE como material de consulta.

Os critérios a serem considerados nos projetos de iluminações são definidos e descritos na seção 4 da Norma. Os mais importantes destes critérios são descritos a seguir:

### 10.5.2.1 Distribuição da luminância

A distribuição da luminância nas superfícies da área de trabalho devem ser controladas, com a finalidade de manter o conforto visual e segurança na área da tarefa. A luminância de uma superfície é determinada pela refletância e pela iluminância nessa superfície. Visando manter a uniformidade da



Para saber mais informações sobre a normas acesse:  
<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=196479>

luminância no ambiente, as luminárias são comumente distribuídas em uma malha retangular.

#### **10.5.2.2 Iluminância**

A iluminância e sua distribuição nas áreas de tarefas em seu entorno imediato tem grande influência na realização das tarefas com conforto e segurança. Este critério é crítico na avaliação da iluminação em ambientes. A Norma recomenda a seguinte escala de iluminâncias: 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1.000 – 1.500 – 2.000 – 3.000 – 5.000 lux. As iluminâncias mínimas na área de tarefa são definidas na seção 5 da Norma, de acordo com o ambiente e tipo de atividade realizados.

A uniformidade da iluminância é dado pela razão entre o valor mínimo e o valor médio. Na área da tarefa, a uniformidade não pode ser menor que 0,7, e na área de entorno não pode ser menor que 0,5.

A iluminância mínima no entorno imediato é definido na Norma na seção 4.3.3. Os valores de iluminância no entorno imediato são dependentes da iluminância na área da tarefa, para evitar ofuscamentos.

#### **10.5.2.3 Ofuscamento**

A Norma define ofuscamento como a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão. O ofuscamento pode ser classificado como desconfortável ou inabilitador, dependendo da sua intensidade.

O controle sobre o ofuscamento no ambiente de trabalho, principalmente na área da tarefa, é importante para evitar acidentes, assegurar conforto ao trabalhador e prevenir erros.

#### **10.5.2.4 Aspectos de cor**

Dentre os aspectos de cor da luz, o índice de reprodução de cor (IRC) é o critério mais importante. A Norma define os valores mínimos deste índice, de acordo com o ambiente e atividade realizada. Estes valores certificam-se que a reprodução de cores do ambiente esteja de acordo com a norma ISO 3864.

As lâmpadas devem fornecer luz de forma que as cores sejam reproduzidas naturalmente, evitando fadigas e acidentes. Uma boa reprodução de cores pode promover o bem-estar e sensação de conforto para as pessoas no ambiente.

Além do IRC, a temperatura de cor da iluminação é outro fator importante.

Temperaturas de cores elevadas promovem um estado de alerta nas pessoas que estão no ambiente, recomendado para escritórios e consultórios médicos. Já temperaturas de cores baixas, com tons amarelados e avermelhados, promovem um estado de relaxamento, descanso e conforto. A iluminação com baixa temperatura de cor é recomendada para climas frios.

#### **10.5.2.5 Luz natural**

A Norma prevê a utilização de luz natural para a iluminação das áreas de tarefas. Entretanto, ressalta que este tipo de iluminação não é constante, ou seja, suas características de iluminância e ou reprodução de cores podem se alterar. Além disso, a luz natural pode prejudicar o trabalhador pelo ofuscamento.

Para evitar o ofuscamento e a oscilação da iluminância, é aconselhado a utilização de proteção nas janelas, como persianas ou cortinas. Também, deve ser considerado que a iluminação natural diminui rapidamente com o distanciamento das janelas.

#### **10.5.2.6 Cintilação e efeito estroboscópico**

A Norma não menciona nenhum parâmetro sobre níveis de cintilação e efeito estroboscópico. Entretanto, estes fatores devem ser levados em conta no projeto e na análise dos ambientes de trabalho. A cintilação pode provocar efeitos fisiológicos adversos. O efeito estroboscópico apresenta perigo em máquinas rotativas, pela limitação da percepção de movimentos cíclicos.

Dentre os critérios descritos anteriormente, a Norma define valores mínimos de iluminância mantida e IRC, como também valores máximos para o índice de ofuscamento unificado. Estes três critérios são os únicos critérios numéricos e específicos para cada ambiente de trabalho ou atividade. Os valores são dispostos em forma de tabela na seção 5 da NBR ISO/CIE 8995-1.

### **10.5.3 Meios de melhoramento do nível de iluminação**

Existem diversos meios de melhoramento da iluminação em ambientes internos que vão além da adição de novas lâmpadas. Aspectos como a limpeza do ambiente, a cor das paredes, a altura das luminárias, entre outros, são diferentes fatores que influenciam neste quesito.

A utilização de cores com alto índice de reflexão, como o branco, diminuem a luz absorvida pelas paredes, aumentando assim a luz nos locais de trabalho. Em ambientes com paredes brancas ou azulejos brancos, a limpeza destes, das lâmpadas e das luminárias tem influência na quantidade de luz total percebida.

O aumento de lâmpadas ou luminárias no ambiente modifica a estrutura de iluminação do mesmo. Uma outra melhoria que pode ser realizada é a redução da altura das luminárias, aumentando a luminância nos locais de trabalho.

A luz natural, também, pode ser utilizada para iluminação dos interiores, por meio da utilização de janelas amplas em escritórios, ou telhas transparentes em ambientes industriais. Além da distribuição espectral da luz solar, o uso desta também é atrativa, pois reduz os custos de energia elétrica na construção.

## 10.6 Projeto luminotécnico

A NBR 5410 determina os valores mínimos de iluminação, em potência instalada, para interiores em geral. Entretanto, a NBR ISO/CIE 8995-1 determina a iluminância mínima especificamente para os diferentes ambientes de trabalho.

Como descrito na própria NBR 5410, “A aplicação desta Norma não dispensa o atendimento a outras normas complementares, aplicáveis a instalações e locais específicos.” Dessa forma, a NBR 5410 pode ser aplicada para o cálculo da potência mínima de iluminação na ausência de um projeto luminotécnico específico.

Apesar da NBR ISO/CIE 8995-1 especificar a iluminância mantida, o índice máximo de ofuscamento e o IRC, esta não especifica métodos ou etapas de cálculo para um projeto luminotécnico.

Uma ferramenta que pode ser utilizada nos projetos luminotécnicos são os softwares para *design* de iluminação. Estes softwares são programas de computadores que podem simular, em 3D, o ambiente e calcular as características relativas a iluminação do projeto.

O exemplo, a seguir, apresenta o projeto luminotécnico para uma sala de reuniões. Esta sala possui as seguintes características: 6 metros de largura, 8 metros de comprimento, 2,5 metros de pé direito, paredes brancas. A mesa é de forma oval, com 6 metros de comprimento, 4 metros de largura e 0,8 metros de altura, com cadeiras ao seu redor. A disposição dos elementos da sala é apresentada na Figura 10.18:



**Figura 10.18: Planta do escritório para projeto de iluminação**

Fonte: CTISM

### Resolução

A resolução deste exemplo segue o método das eficiências ou método dos lumens. Existem outros métodos para a resolução destes cálculos, como o método ponto a ponto.

O **primeiro passo** é definir a área de tarefa e de entorno imediato. Como a disposição das mobílias do ambiente é conhecida, a área de tarefa é definida como a área da mesa central. A área de entorno é definido como o restante da área da sala. Entretanto, outras porções da sala podem ser utilizadas para leitura ou outras tarefas. Assim, toda a área da sala será considerada como área de tarefa. Isto também simplifica o cálculo luminotécnico.

O **segundo passo** é a aquisição de dados do ambiente, como dimensões da sala, altura da área da tarefa, cor das paredes e cor do teto. Neste exemplo, a sala possui 6 metros de largura, 8 metros de comprimento e 2,5 metros de pé direito. As quatro paredes são pintadas na cor branca, e o teto é revestido de forro branco. O piso possui cor marrom clara. A mesa está a 0,8 metros de altura do piso da sala.

O **terceiro passo** é a consulta do valor mínimo de iluminância para o ambiente, conforme o item 5 da Norma. Esta determina que para salas de reuniões e conferências devem ter no mínimo 500 lux de iluminância mantida na área da tarefa. Ter um índice máximo de ofuscamento de 19, e IRC mínimo de 80.

O **quarto passo** é a definição dos fatores de reflexão do teto, paredes e piso. O teto e as paredes brancas apresentam um índice de reflexão de 0,75, e o piso com madeira clara apresenta um índice de reflexão de 0,4.



Para saber mais sobre cálculo luminotécnico, acesse:  
[http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq\\_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af\\_Apostila\\_Conceitos\\_e\\_Projetos.pdf](http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af_Apostila_Conceitos_e_Projetos.pdf)



Para saber mais sobre os índices de reflexão, acesse:  
<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/lb/Livros/ManualOsram.pdf>

O **quinto passo** é o cálculo do índice do recinto da sala. Este é calculado pela Equação 10.1. Nossa exemplo tem 1,371 como índice de recinto.

Equação 10.1

$$K = \frac{a \times b}{h(a + b)}$$

Onde: K – índice do recinto  
a – comprimento da sala  
b – largura da sala  
h – altura da sala

O **sexto passo** é a definição do fator de utilização da luminária. Este valor é tabelado dependente dos índices de reflexão das paredes, do piso, do teto e do índice do recinto. O fator de utilização da luminária para este exemplo é de 0,5.

O **sétimo passo** é a definição do fator de depreciação da instalação. Este fator é relacionado com a manutenção e limpeza das lâmpadas e luminárias. Para uma boa manutenção, utiliza-se 1,25, enquanto que para uma manutenção crítica utiliza-se 1,7. Neste exemplo será utilizado 1,25 como fator de depreciação.

O **oitavo passo** é a determinação da eficiência do recinto. Este valor também é tabelado, assim como o fator de utilização da luminária. Neste exemplo, a eficiência do recinto é de 1,04.

O **nono passo** é a escolha das lâmpadas e luminárias a serem utilizadas. Neste exemplo será considerado a utilização de luminárias embutidas no forro para duas lâmpadas de 32 W, com eficiência de 70 %. Sabe-se, também, que cada lâmpada emite 3400 lúmens. Esta lâmpada apresenta um IRC de 80.

O Quadro 10.1 apresenta o resumo dos dados para o projeto luminotécnico, facilitando assim o cálculo.

**Quadro 10.1: Resumo dos dados para projeto luminotécnico**

Comprimento da sala	a	8	m
Largura da sala	b	6	m
Pé direito (altura da sala)	h	2,5	m
Iluminância mantida no recinto	$E_m$	500	lux
Altura do plano de trabalho	$h_{pt}$	0,8	m
Fator de reflexão das paredes	$\rho_p$	0,75	
Fator de reflexão do teto	$\rho_t$	0,75	
Fator de reflexão do piso	$\rho_c$	0,4	
Índice do recinto	K	1,371	
Fator de utilização da luminária	$F_u$	0,5	
Fator de depreciação	$F_d$	1,25	
Fator de eficiência do recinto	$\eta_R$	1,04	
Fator de eficiência da luminária	$\eta_L$	0,7	
Fluxo luminoso de cada lâmpada	$\phi$	3400	lm

Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013

Após o agrupamento dos dados do projeto, substitui-se estes na Equação 10.2 para obter o número de lâmpadas necessárias para o projeto. Como a luminária é projetada para duas lâmpadas, o resultado deve ser arredondado para cima para um número inteiro múltiplo de dois.

Equação 10.2

$$n = \frac{E_m \times a \times b \times F_d}{\phi \times \eta_L \times \eta_R \times F_u}$$

Neste exemplo, o número de lâmpadas resultante é de 24 lâmpadas. Dessa forma, são necessárias 12 luminárias. As luminárias devem ser distribuídas em forma de malha, uniformemente espaçadas.

Com este resultado, a iluminância mantida especificada na norma é cumprida, assim como o IRC. O ofuscamento na sala é pequeno devido a montagem das luminárias no forro, ficando fora do campo de visão das pessoas.

Conforme o exemplo citado, podemos desenvolver um bom projeto luminotécnico para uma sala exemplo. Cabe salientar que, ao final da execução desse projeto, deve-se fazer as devidas medições luminotécnicas para verificação dos índices de iluminância alcançado.

## Resumo

Nessa aula, vimos que conceitos luminotécnicos são importantes para a padronização dos níveis de iluminação mínimos necessários no ambiente de trabalho. A devida interpretação destes conceitos é fundamental para o desenvolvimento de um projeto luminotécnico coerente com a NBR ISO/CIE 8995-1 e com as necessidades impostas pela atividade desenvolvida no ambiente de trabalho. O exemplo clarifica a aplicação da norma em um ambiente simples, porém muito comum.



## Atividades de aprendizagem

1. Defina fluxo luminoso. Dê sua unidade.
2. Descreva os cuidados necessários ao utilizar o luxímetro.
3. Defina temperatura de cor de uma fonte luminosa.
4. Explique o procedimento de medida de iluminância de um ponto espacial utilizando um luxímetro.
5. Justifique porque não conseguimos definir cores com precisão durante o período noturno.
6. De acordo com seu conhecimento sobre temperatura de cor, complete:  
Na vitrine de uma loja de ouro, lâmpadas com \_\_\_\_\_ (alta/baixa) temperatura de cor devem ser utilizadas, emitindo predominantemente luz \_\_\_\_\_ (branca/amarela).

## Referências

ALBUQUERQUE, R. O. **Circuitos em corrente alternada**. 7. ed. São Paulo: Érica, 1997a.

ALBUQUERQUE, R. O. **Circuitos em corrente contínua**. 7. ed. São Paulo: Érica, 1997b.

BARROS, Benjamim Ferreira de; GUIMARÃES, Elaine Cristina de Almeida; BORELLI Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luis; PINHEIRO, Sonia Regina. **NR 10 – Guia prático de análise e aplicação**. São Paulo: Editora Érica, 2013.

BOYLESTAD, R. L. **Introdução à análise de circuitos**. 10. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

CAVALIN, G. **Instalações elétricas prediais** – Estude e use. 18. ed. São Paulo: Editora Érica, 2007.

EDMINISTER, J. A. **Circuitos elétricos**. 2. ed. Coleção Schaum. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2001.

GUSSOW, M. **Eletricidade básica**. 2. ed. Coleção Schaum. São Paulo: Pearson Makron Books, 1997.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. **Aterramento elétrico**. 3. ed. Porto Alegre: Editora Sagra-DC Luzzatto, 1995.

KINDERMANN, Geraldo. **Choque elétrico**. Porto Alegre: Editora Sagra-DC Luzzatto, 1995.

LOURENÇO, A. C.; CRUZ, E. C. A.; JÚNIOR, S. C. **Circuitos em corrente contínua**. 5. ed. São Paulo: Érica, 1998.

NEVES, E. G. C. **Eletrotécnica geral**. 2. ed. Editora e Gráfica Universitária – UFPel, 2004.

REIS, L. B. D. **Geração de energia elétrica**. Barueri-SP: Ed. Manole, 2003.

SILVA, M. L. **Iluminação** – Simplificando o projeto. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2009.

WEG AÇÃOAMENTOS LTDA. **Correção do fator de potência**. Manual Técnico.

## Curriculum do professor-autor



**Marcelo Freitas da Silva** é natural de São Paulo-SP. É professor do Colégio Técnico Industrial (CTISM) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Formado em Eletrotécnica pelo CTISM, graduado em Engenharia Elétrica pela UFSM, graduado em Formação Pedagógica – Licenciatura Plena em Ensino Profissionalizante pela Universidade Federal de Santa Maria. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Franciscana (UNIFRA). Mestre em Engenharia Elétrica pela UFSM. Realizou seu doutorado em Engenharia Elétrica na área de Processamento de Energia pela UFSM com estágio doutoral pela Universidad de Oviedo (Espanha). Realizou também seu pós-doutorado na Universidad de Oviedo. Atuou por vários anos em serviços de projetos e manutenção industrial. É membro do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFSM. No CTISM ministra as disciplinas de Eletrotécnica I e II, Instalação e Manutenção Elétrica, Circuitos Digitais, Eletrônica e Acionamentos de Equipamentos Elétricos. Atuou em diversos cargos administrativos do CTISM e é membro do Núcleo de Educação a Distância. Participante em diversos projetos de pesquisa e também projetos de extensão, ministrando cursos de capacitação para eletricistas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica nas áreas de Eletricidade, Eletrônica e de Segurança do Trabalho.