

# MANUAL DO *ELETRICISTA* <sup>1</sup>

O *Eletricista* <sup>2</sup>

September 23, 2004

<sup>1</sup>Material didático, sem fins lucrativos, de conhecimentos gerais e fundamentais de Eletrotécnica, visando a formação de profissionais qualificados em diferentes áreas do conhecimento e da tecnologia.

<sup>2</sup>Professor Adjunto do Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência (DESP), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, Brasil. Fone: (55)2208147.

## Prefácio

Dedico este manual à minha esposa, ao meu filho, aos meus pais, familiares, professores e amigos, que sempre acreditaram e continuam acreditando no Amor.

Pretendo apresentar, em um volume, minha experiência profissional na área de eletrotécnica ao longo dos anos. Compreende os fundamentos de eletricidade, eletrônica, cálculo, os principais componentes elétricos e eletrônicos, as recomendações de normas, e uma análise da conjuntura tecnológica atual e das perspectivas no mundo técnico de amanhã. Pretendo, neste manual, a exemplo dos 'Handbooks', organizar uma seqüência de conteúdo e experiências profissionais pessoais, que julgo conveniente repetir para outras pessoas interessadas. Corresponde aos principais trabalhos realizados em ensino, pesquisa e extensão.

Como podemos ver, este conteúdo pode servir para um curso, como revisão de conhecimentos e práticas, como material de consulta (manual), ou ainda como uma referência bibliográfica para uma pesquisa inicial em cada assunto. Mais do que o conteúdo, este manual é uma proposta de forma de trabalho, de estudo, de ensino e aprendizagem. Para isto, é preciso pensar em 'aulas'.

Inicialmente, vou contar para vocês como foram minhas melhores aulas, como aluno ou professor. As aulas iniciaram com uma preparação. Geralmente, a aula iniciou com a leitura de um pensamento por parte do professor ou de um aluno da turma. Este pensamento era de algum cientista ou inventor relacionados ao assunto a ser tratado naquele dia. Outras vezes alguém trazia uma história sobre o assunto, que fora combinado na aula anterior. Uma vez tivemos até artistas para tocar e cantar junto conosco. Foi muito legal!

Depois destes instantes de descontração e concentração, o professor relembrou o objetivo geral do curso, da disciplina ou competência, situando aonde chegamos na aula anterior. A turma apresentava suas experiências ou tarefas combinadas na aula anterior.

No momento seguinte, o professor anunciou o tema do encontro, em forma de uma pergunta, lembrando do "lema" ou núcleo-núcleo (Meirieu, "Aprender sim ... mas como?", Editora Artmed) que surgiu na aula anterior, ou falando: "hoje iremos falar sobre tal coisa". A turma ficava contente, pois era justamente isto que desejava estudar, e sentia que estava no curso certo, fazendo o que gostava. A turma estava como que colocando o açúcar e saboreando um gostoso aperitivo, sabendo que logo viria uma refeição muito saudável e gostosa.

No momento seguinte, o professor-ator tinha o maior papel: apresentar a refeição que preparou durante a semana. Com esta apresentação, a turma ativou a memória, a imaginação, os sentimentos, e o raciocínio. As suas formas foram tão variadas que nem lembro de todas. Mas, gostaria de destacar:

- a) palestras - histórias, exemplos, casos reais, etc.
- b) práticas - demonstrações de experiências, apresentação de equipamentos e materiais, procedimentos ou normas, etc.
- c) leitura - livros, revistas, artigos, fotografias, entre outros.
- d) recursos visuais - projetor de slides, transparências no retro-projetor, data-show e filmes.

Lembro um dia em que o professor levou um 'data-show' e uma apresentação do 'power-point' que pareceu um filme. A turma gostou tanto que pediu para repetir mais duas vezes a apresentação. Nas duas repetições, o professor ia parando o 'filme' para a turma anotar questões ou observações pessoais sobre o assunto. Lembro-me que estas apresentações não eram uma simples exposição de conteúdo, mas era algo diferente, que sempre estava associado ao momento e ao contexto em que a sociedade estava vivendo.

Após a apresentação, passamos para o aprofundamento ou desenvolvimento do assunto. A turma formulava situações-problema junto com o professor, que certamente já tinha uma idéia preliminar mais elaborada sobre o que iria ser proposto.

O professor e/ou a turma lançaram perguntas, sugestões e dúvidas, que fizeram a turma raciocinar. Lembro que muitas vezes as dúvidas foram tão profundas, que nem o professor tinha respostas. A turma nunca soube se o professor não sabia mesmo ou não queria responder, para deixar a turma construir uma resposta pessoal - tomar uma decisão.

Durante estes diálogos, o professor procurou conduzir a conversa para interligar o assunto do encontro com o objetivo geral do curso, onde todos compreenderam cada vez mais a posição do assunto no contexto geral.

Nestas aulas nunca faltou a reformulação de questões deixadas nas aulas passadas. Elas não foram resolvidas neste momento, mas reconstruídas com o auxílio da apresentação anterior.

Uma forma que gostei e acho que tem muito potencial de aplicação é a tradução das questões ou da situação-problema na forma de testes objetivos, na forma de múltipla escolha ou de um número, um valor, uma quantidade. Isto nos ajudou ter clareza intelectual do problema, e soubemos onde estávamos, onde queríamos e poderíamos chegar. A gente desenvolvia a capacidade de análise e síntese, ou seja, desenvolvia a inteligência.

Quando este teste objetivo teve objetivo único de avaliação, como são geralmente aplicados na escola, concursos, etc, as conseqüências foram desastrosas. Um professor foi quase suspenso da escola porque a turma pensava que ele queria 'ferrar os alunos'. Infelizmente, estes testes também vêm servindo como forma de seleção para ingresso na universidade, incentivando a concorrência e a competição em sala de aula, e sendo um dos maiores incentivos para o fracasso geral do ensino.

Depois que a turma respondeu os testes objetivos, cada um entregou a grade de respostas para o professor, identificando-se por apelido, cognome ou nome. Foi muito divertido, pois vimos como cada um se identifica melhor.

Enquanto o professor ia digitando as respostas no computador, uma parte da turma ia terminando de preencher sua grade de respostas e outra já estava fazendo sua justificativa pessoal para cada questão. Quando todos terminaram de fazer a grade de respostas o professor já informou, com o auxílio de um programa do computador, os pares com maior afinidade de respostas, e que reunissem as classes para elaborar uma justificativa em comum de cada questão.

Vale lembrar que existem dois tipos de isolamento:

a) o isolamento imposto por aqueles que dirigem o mundo e querem manter as pessoas isoladas, pois se elas estiverem juntas, "elas começarão a ter idéias, a trocá-las e a aprender com elas, o mesmo que acontece em um laboratório científico" (Chomsky, Propaganda e Consciência Popular, 2003, p.56).

b) o isolamento para reforço e consolidação de idéias, do deserto voluntário, da opção e da liberdade.

Quando tínhamos o isolamento consciente não éramos dirigidos por este "falso agrupamento" gerado pela "falsa informação" (Serres, Entrevista no Programa Roda Viva da TV Cultura, 1999), e não estávamos ilhados e não éramos náufragos inconscientes como somos hoje.

Durante estes breves momentos das minhas melhores aulas pude construir a minha opinião junto com a turma sobre este grande paradoxo que é ensinar e aprender. A gente precisava (e precisa) fazer uma escolha por X ou Y para ensinar ou aprender Z. Mesmo que X e Y não parecessem ter muita correlação com Z, eles fazem parte da complexidade da vida humana. Posso lembrar de vários momentos em que o "isolamento" por X ou Y significou nossa condição para ensinar e aprender determinado conteúdo.

As aulas que partiram deste princípio de individualidade para o geral foram ótimas. Depois de discutir dois a dois, os pares foram reunidos com mais outros pares afins, e depois estes grupos de quatro foram agrupando-se com mais outro grupo de maior afinidade. A maior afinidade foi escolhida pelo programa de computador, que nunca falhou.

Depois que todos os grupos de 08 (oito) pessoas elaboraram sua resposta única para cada questão, passou-se para o debate geral ou seminário. O professor anunciou que chegara o instante de cada grupo defender ou reavaliar suas respostas diante do mundo, representado pela maioria da turma. Isto passou a idéia de responsabilidade da maioria e o desafio para a minoria. Para aumentar mais ainda o interesse, o professor tinha 08 coletes coloridos para cada grupo, utilizados normalmente em torneios desportivos.

No início do período letivo, a turma estabelecia regras para o debate, a fim de que falasse um de cada vez, dando a oportunidade a todos de expor seu trabalho, sua opinião, seu conhecimento, seus gostos, etc. Além da parte cognitiva, ou do reconhecimento intelectual, desenvolvido anteriormente, o debate permitia

à turma tomar uma decisão de estudar determinado assunto, refazer determinada experiência, aplicar de alguma forma particular o que se concluía.

Durante ou logo após o debate ocorria o que chamamos de contextualização (Meirieu). A turma elaborava junto com o professor um resumo do assunto estudado em aula. Era o convencional "caderno" ou "apostila". O professor lembrou uma série de questões e assuntos para as próximas aulas. Todos alunos e alunas tiveram oportunidade de visualizar e se decidir por exercícios e aplicações práticas, conforme a situação particular de cada um, elaborando um instrumento de aplicação.

O instrumento de aplicação foi muitas vezes um cronograma de trabalho, um planejamento de estudo. Algumas vezes foi uma visita ou uma viagem. O importante é que cada um definiu seu propósito. O professor, representando a escola, fez um acordo com a turma, onde cada um ficou com um determinado compromisso, inclusive o seu.

Este manual que apresento a seguir são os meus instrumentos de aplicação, que ficam na área de eletricidade. Quando se trabalha com eletricidade, a eletrotécnica e a eletrônica têm o seu papel especial, que podem ser de interesse ou conhecimento distinto de uma pessoa para outra. Uma das obrigações principais deste trabalho deve ser não fazer distinção entre eletrotécnica e eletrônica, considerando-as apenas como ferramentas fundamentais indispensáveis à vida profissional do eletricista. Portanto, vamos lembrar sempre que precisamos ter um mínimo de conhecimento teórico e de prática, e que não se pode abrir mão destes pontos.

Sabemos da dificuldade de reunir num único texto uma dimensão tão grande do conhecimento como a eletricidade. Entretanto, ganhamos uma visão do todo, com interdisciplinaridade, que é tão necessário nos dias atuais. Assim, dividiu-se este manual em três partes:

- conhecimentos técnicos: consiste dos princípios fundamentais da eletrotécnica, os principais materiais, as ferramentas e seu emprego. Este manual poderá ser usado num curso técnico, ou como introdução a um curso de projeto.

- projetos elétricos, eletrônicos e mecânicos: são fornecidos exemplos e 'regras' básicas de projeto. Pode ser usado em cursos técnicos específicos, como engenharias.

- análise: é uma parte mais matemática, voltada para solução de problemas encontrados nos projetos. Usando o computador, pode-se realizar a simulação e síntese de novos projetos.

Subdividiu-se o conteúdo de cada parte em diversas áreas da eletricidade:

- instalações
- eletrônica analógica e digital
- máquinas elétricas e acionamentos
- sistemas de potência
- sistemas térmicos e hidráulicos

Procurou-se apresentar os conteúdos numa sequência de aprendizagem ou ensino, com dificuldade crescente. Entretanto, será interessante ao professor e/ou o leitor estudar o texto conforme o que julgar mais oportuno. Tomei emprestado muito material de livros, artigos em revistas ou da internet, e de trabalhos informais ou formais de nossa vida acadêmica.

No início de cada período letivo era planejada e combinada a forma de avaliação do professor, do conteúdo e dos alunos. Os itens iam surgindo conforme a aula evoluía, exigindo a intervenção do professor e a participação dos alunos.

Durante a aula tivemos várias atividades de avaliação, que exigiram participação ativa do professor e dos alunos, e foram:

- a) cumprimento dos acordos das aulas anteriores representados no instrumento de aplicação (exercícios, visitas, cronograma de leitura, etc);
- b) tradução do objetivo geral na noção-núcleo, e seu entendimento;
- c) conhecimento dos assuntos anteriores e sua inserção no contexto geral da sociedade;
- d) interpretação da apresentação, captando e apresentando tópicos relacionados ao assunto;
- e) formulação de questões, experiências, e testes objetivos;

- f) resolução dos testes, experiências, etc. com capacidade de obter resultados;
- g) justificativa ou defesa para as respostas, interpretando os resultados;
- h) reconhecimento da situação particular, como competência, conhecimento, habilidade, etc.;
- i) decisão por determinada prática, optando pelo que fazer; e
- j) elaboração e utilização de um lema ou símbolo da aula (um objeto, uma frase, uma fotografia, etc.).

Na avaliação, que ocorria paralelamente com a aula, comparava-se o programa e o seu conteúdo, e o nível atingido até o momento por cada um, anotando-se numa grade ou matriz fixada na sala de aula. Assim, ficou fácil ao professor e todo aluno ou aluna da turma fazer a sua média, considerando os 10 (dez) itens enumerados anteriormente. Não lembro como foi a avaliação final, porque ela nunca foi necessária. Todos que estiveram presentes em aula conseguiram média superior a 7,00 (sete).

As aulas eram divididas por assunto, podendo incluir vários encontros, conforme o desenvolvimento do assunto. Não recorro bem a distribuição do tempo, mas era mais ou menos assim:

- a) preparação e noção-núcleo - 5 %
- b) apresentação - 30 %
- c) aprofundamento - 30 %
- d) debate e contextualização - 30 %
- e) conclusão - 5 %

Na conclusão das minhas melhores aulas, a turma elaborava um lema, o professor e a turma trocavam um símbolo-prêmio, que muito estimulava e animava a todos. Assim, ainda hoje, nunca me esqueço do primeiro ano de aula, da minha primeira professora, e das minhas melhores aulas.

Agradeço a todos que me ajudaram na vida, pois acredito que ninguém faz nada sozinho. Desejo agradecer de modo especial ao meu irmão, e ao ‘professor-médico-engenheiro’, pelo incentivo ao uso do Latex, esta grande ferramenta que me permitiu conceber e iniciar a compilação deste manual. Também agradeço antecipadamente aos que vierem ajudar na correção do texto, nos exemplos, nos programas, ou mesmo na força moral.

Apresentando este trabalho, não podemos deixar de prestar nossa homenagem e gratidão aos grandes mestres que tanto contribuíram para a construção do caminho da ciência, que é tanto teórica como experimental, bem como a todos que trabalharam para a construção de nossa universidade, com ênfase nos cursos em que estamos inseridos.

O Eletricista  
Setembro de 2004



# Contents

<b>I</b>	<b>Conhecimentos técnicos</b>	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>Grandezas elétricas fundamentais</b>	<b>17</b>
1.1	Corrente elétrica $I$	17
1.1.1	Elétrons livres	17
1.1.2	Estrutura Atômica	18
1.1.3	Eletrólise da água	19
1.1.4	Convenção de corrente elétrica	21
1.1.5	Unidade de medida de corrente elétrica	21
1.1.6	Hora de praticar	21
1.1.7	Ligação de amperímetro num circuito	22
1.1.8	Usando um multímetro digital	22
1.1.9	Lei de Kirchoff da corrente	24
1.1.10	Realização de emendas e conexões	24
1.1.11	Noções sobre soldagem	24
1.2	Tensão elétrica $V$	26
1.2.1	Geradores Eletroquímicos	26
1.2.2	O conceito de potencial	27
1.2.3	Diferença de potencial	27
1.2.4	Circuito de uma lanterna	28
1.2.5	Medição de tensão	29
1.2.6	Ligação de um painel fotovoltaico	30
1.3	Resistência elétrica $R$	30
1.3.1	Resistividade $\rho$	31
1.3.2	Lei de Ohm	32
1.3.3	Tipos de resistores	32
1.3.4	Associação de resistores e análise de circuitos	34
1.3.5	Medição de resistência	35
1.3.6	A lâmpada série	36
1.3.7	Divisor de tensão	36
1.4	Potência elétrica $P$	37
1.4.1	Convenção do sentido do fluxo de potência	38
1.4.2	Lei de Joule	38
1.4.3	Trabalho ou energia elétrica $W$	38
1.4.4	Outras formas de energia	39
1.4.5	Conjugado	40
1.4.6	Montagem de um multímetro analógico para corrente contínua	41
1.5	Resumo de grandezas elétricas	41
1.6	Exercícios	42

<b>2</b>	<b>O ‘mundo’ das interações eletromagnéticas</b>	<b>43</b>
2.1	Força eletro motriz e o campo elétrico . . . . .	43
2.1.1	A conservação da carga elétrica . . . . .	43
2.1.2	O campo elétrico . . . . .	44
2.1.3	Lei de Coulomb . . . . .	44
2.1.4	Linhas de força . . . . .	45
2.1.5	Circuitos Elétricos . . . . .	45
2.1.6	Capacitor . . . . .	46
2.2	Magnetismo . . . . .	47
2.2.1	Uso do magnetismo pela humanidade . . . . .	49
2.2.2	Os pólos norte e sul . . . . .	49
2.2.3	Um ímã num campo magnético - medidor de ferro móvel . . . . .	50
2.2.4	Força magneto motriz - Pólos magnéticos . . . . .	51
2.2.5	Fluxo magnético . . . . .	51
2.2.6	Indução ou densidade de fluxo magnético . . . . .	52
2.2.7	Campo magnético . . . . .	52
2.2.8	Permeabilidade magnética . . . . .	52
2.2.9	Relutância magnética . . . . .	52
2.3	Eletro + magnetismo = interação entre os campos . . . . .	52
2.3.1	Corrente elétrica produz campo magnético . . . . .	53
2.3.2	Campo magnético exerce força sobre a corrente elétrica . . . . .	54
2.3.3	Fluxo magnético variável induz f.e.m. no circuito elétrico . . . . .	54
2.4	Geradores elétricos . . . . .	57
2.4.1	Alternadores . . . . .	57
2.4.2	Os dínamos - corrente pulsante . . . . .	58
2.5	Transformadores . . . . .	59
2.5.1	Modelo de transformador . . . . .	60
2.5.2	Princípio de funcionamento . . . . .	60
2.5.3	Transformador Ideal . . . . .	61
2.5.4	Perdas no transformador . . . . .	62
2.5.5	Autotransformador . . . . .	62
2.5.6	O alicate amperométrico . . . . .	63
2.6	Bobina . . . . .	63
2.6.1	Auto-indução de uma bobina . . . . .	63
2.6.2	Indutância . . . . .	63
2.6.3	Resistência em corrente alternada . . . . .	64
2.6.4	Experiências . . . . .	64
2.6.5	Arco voltaico - solda elétrica . . . . .	64
2.7	Resumo . . . . .	64
<b>3</b>	<b>Riscos e segurança em eletricidade</b>	<b>67</b>
3.1	Componentes elétricos . . . . .	67
3.1.1	Isolantes elétricos . . . . .	69
3.1.2	Vida da isolação . . . . .	69
3.2	Linhas ou condutos elétricos . . . . .	70
3.3	Condutores . . . . .	70
3.4	O choque elétrico . . . . .	70
3.4.1	Choque produzido por contato com circuito energizado . . . . .	70
3.4.2	Choque produzido por contato com corpo eletrizado . . . . .	71



3.4.3	Choque produzido por raio (Descarga Atmosférica) . . . . .	71
3.4.4	Avaliação do choque elétrico . . . . .	71
3.5	Efeitos da Eletricidade no Corpo Humano . . . . .	71
3.5.1	Trajetória da corrente elétrica no corpo humano . . . . .	72
3.5.2	Tipo da corrente elétrica . . . . .	72
3.5.3	Tensão nominal . . . . .	72
3.5.4	Intensidade da corrente de choque elétrico . . . . .	73
3.5.5	Resistência do circuito . . . . .	74
3.5.6	Frequência da corrente . . . . .	74
3.6	Primeiros socorros à vítima de choque elétrico . . . . .	74
3.7	Aterramentos . . . . .	76
3.7.1	Esquemas de Aterramento . . . . .	77
3.7.2	Ligações à Terra . . . . .	79
3.7.3	Eletrodos de Aterramento . . . . .	79
3.8	Ligação de circuitos com gerador, amperímetro, voltímetro e carga . . . . .	79
3.8.1	Aplicação prática de medidas de segurança . . . . .	79
3.8.2	Ligação de tomadas e lâmpadas com segurança . . . . .	79
3.9	Prevenção de Acidentes com Eletricidade . . . . .	80
<b>4</b>	<b>Bancada de eletrônica</b>	<b>83</b>
4.1	Origem da eletrônica . . . . .	83
4.1.1	O Radar . . . . .	85
4.1.2	Tungstênio, Selênio e Germânio . . . . .	85
4.1.3	Aplicações . . . . .	86
4.1.4	Indústria Eletrônica . . . . .	86
4.1.5	Televisão . . . . .	86
4.2	Elementos básicos de uma bancada . . . . .	87
4.3	Componentes eletrônicos básicos . . . . .	87
4.4	Fontes de energia . . . . .	94
4.4.1	Fonte de tensão contínua fixa . . . . .	94
4.4.2	Fonte de alimentação CC ajustável . . . . .	94
4.4.3	Fonte de tensão chaveada . . . . .	97
4.5	Geradores de sinais - formas de onda e frequência . . . . .	97
4.6	Amplificadores de tensão e potência . . . . .	97
4.7	Osciloscópio . . . . .	97
4.7.1	Aplicações em medidas elétricas e eletrônicas . . . . .	97
4.7.2	Partes principais de um osciloscópio . . . . .	97
4.7.3	Uso do osciloscópio para medição de sinais . . . . .	97
4.7.4	Comparador de tensão . . . . .	97
4.7.5	Amplificador de tensão . . . . .	97
4.7.6	Ligação de transistores bipolares . . . . .	97
4.8	Montagens eletrônicas básicas . . . . .	97
<b>5</b>	<b>A eletricidade e a informática</b>	<b>99</b>
5.1	Um ‘pouco’ de história . . . . .	99
5.1.1	Da teoria à prática . . . . .	100
5.1.2	Os primeiros computadores modernos . . . . .	102
5.1.3	A era do “chip” e o advento do microcomputador . . . . .	104
5.2	Montagem de circuitos digitais . . . . .	107

5.2.1	Tacômetro . . . . .	107
5.2.2	Entrada e saída de dados para o computador . . . . .	107
5.3	Microcontroladores . . . . .	107
5.4	Uso do computador para simulação de sistemas . . . . .	107
5.4.1	Diagrama de blocos . . . . .	107
5.4.2	Linguagens de programação . . . . .	107
5.4.3	Funções matemáticas . . . . .	107
5.5	Resumo e questionamentos . . . . .	110
<b>6</b>	<b>Sistemas de corrente alternada</b>	<b>111</b>
6.1	Evolução das redes em corrente contínua . . . . .	111
6.2	Histórico da corrente alternada . . . . .	111
6.3	Sistema Interligado . . . . .	113
6.4	Distribuição de energia elétrica . . . . .	114
6.4.1	Monofásico . . . . .	114
6.5	Parâmetros característicos dos sistemas de corrente alternada . . . . .	115
6.5.1	Período, frequência, e velocidade angular . . . . .	115
6.5.2	Amplitude e ângulo de fase . . . . .	115
6.5.3	Potência instantânea . . . . .	116
6.5.4	Frequência $f$ . . . . .	117
6.5.5	Tensão de pico ou máxima $V_{max}$ . . . . .	117
6.5.6	Corrente máxima $I_{max}$ . . . . .	117
6.5.7	Valor eficaz de tensão e corrente $V$ e $I$ . . . . .	117
6.5.8	Defasagem $\theta$ . . . . .	118
6.5.9	Potências aparente, ativa e reativa . . . . .	118
6.5.10	Fator de potência . . . . .	118
6.6	Sistema trifásico . . . . .	119
6.6.1	Rede monofásica . . . . .	119
6.7	Rede trifásica . . . . .	119
6.8	Ligações básicas . . . . .	120
6.8.1	Ligação de motores com chave manual . . . . .	121
<b>II</b>	<b>Projetos</b>	<b>123</b>
<b>7</b>	<b>Produção de energia elétrica</b>	<b>125</b>
7.1	Energia hidráulica . . . . .	127
7.1.1	Estudo hidrológico . . . . .	127
7.1.2	Terminologia . . . . .	129
7.1.3	Como é, e como poderá ser gerada a energia no Brasil . . . . .	132
7.1.4	Histórico das turbinas hidráulicas . . . . .	133
7.1.5	Turbinas para pequenas centrais hidráulicas . . . . .	134
7.1.6	Crítérios para a seleção de turbinas hidráulicas para micro, mini e pequenas centrais	141
7.1.7	O Programa Nacional de PCHs . . . . .	143
7.2	Energia Eólica . . . . .	145
7.2.1	Cataventos . . . . .	146
7.2.2	Turbinas eólicas e aerogeradores . . . . .	146
7.2.3	Sistemas de energia eólica . . . . .	147
7.3	Energia solar fotovoltaica . . . . .	147

7.3.1	O bombeamento de água com painéis solares . . . . .	148
7.3.2	Sistemas de energia fotovoltaica . . . . .	149
7.4	Energia da biomassa . . . . .	149
7.4.1	O potencial energético da biomassa . . . . .	150
7.4.2	Combustão direta da biomassa . . . . .	151
7.4.3	Combustíveis de origem vegetal . . . . .	151
7.5	Biodigestores . . . . .	151
7.5.1	Biofertilizante . . . . .	152
7.5.2	Preparação da mistura . . . . .	152
7.5.3	Decomposição da matéria orgânica . . . . .	153
7.5.4	A formação do metano . . . . .	153
7.5.5	O aproveitamento do metano . . . . .	154
7.6	Aquecedores solares . . . . .	155
7.6.1	Radiação solar em Santa Maria - RS . . . . .	155
7.6.2	O motor Stirling . . . . .	155
7.7	Conservação de energia . . . . .	156
7.7.1	Predominância da Geração Hidráulica . . . . .	156
7.7.2	Recursos Hídricos do Brasil . . . . .	157
7.7.3	“O Brasil não precisa de Belo Monte” . . . . .	157
<b>8</b>	<b>Acionamento de motores de indução</b>	<b>161</b>
8.1	Sobre acionamentos elétricos . . . . .	161
8.1.1	Terminologia . . . . .	161
8.1.2	O contator . . . . .	164
8.1.3	Fusíveis . . . . .	165
8.1.4	Disjuntor . . . . .	166
8.1.5	Protetores térmicos (sondas térmicas) para motores elétricos . . . . .	167
8.1.6	Relés de Sobrecarga . . . . .	168
8.1.7	Relés de tempo (temporizador) . . . . .	169
8.1.8	Relé de sequência de fase . . . . .	169
8.1.9	Relé de proteção PTC . . . . .	170
8.1.10	Relé de falta de fase . . . . .	170
8.1.11	Relé de mínima e máxima tensão . . . . .	170
8.2	Motor de indução . . . . .	171
8.2.1	Princípio de funcionamento - campo girante . . . . .	171
8.2.2	Dados de placa . . . . .	172
8.2.3	Curvas conjugado-velocidade da carga e do motor . . . . .	175
8.2.4	Regulagem da velocidade de motores de indução . . . . .	178
8.2.5	Partida de motores . . . . .	179
8.3	Chaves de partida . . . . .	181
8.3.1	Chave de partida direta . . . . .	181
8.3.2	Partida através de chave estrela-triângulo (Y- $\Delta$ ) . . . . .	183
8.3.3	Partida através de chave compensadora . . . . .	184
8.3.4	Partida através de chave série-paralela . . . . .	186
8.3.5	Exercícios práticos - chaves de partida . . . . .	187
8.3.6	Condições de serviço das chaves . . . . .	187
8.3.7	Instalação das chaves de partida . . . . .	190
8.3.8	Manutenção preventiva e corretiva em chaves de partida . . . . .	191
8.4	Motores de indução com inversores de frequência . . . . .	194

8.4.1	Características dos inversores . . . . .	195
8.4.2	Variação da velocidade com inversores . . . . .	196
8.4.3	Condições especiais de serviço . . . . .	198
8.4.4	Características de desempenho dos motores . . . . .	198
8.4.5	Características do sistema de isolamento . . . . .	199
8.5	Instalação de motores elétricos . . . . .	200
8.5.1	Fundações . . . . .	200
8.5.2	Tipos de bases . . . . .	200
8.5.3	Alinhamento . . . . .	201
8.5.4	Acoplamento . . . . .	201
8.6	Sobrecarga e vida útil de motores assíncronos . . . . .	202
8.7	Projeto e montagem de controle de posição com caixa de redução de velocidade . . . . .	202
<b>9</b>	<b>Iluminação</b>	<b>203</b>
9.1	Conceitos de luminotécnica . . . . .	203
9.2	Níveis de iluminamento . . . . .	204
9.3	Escolha de lâmpadas e seus respectivos lúmens . . . . .	204
9.4	Tipos de lâmpadas . . . . .	204
9.5	Iluminação Interna . . . . .	204
9.5.1	Residencial . . . . .	204
9.5.2	Cálculo luminotécnico . . . . .	205
9.5.3	Ligação de lâmpadas fluorescentes . . . . .	206
9.5.4	Ligação de dimmers e controles . . . . .	206
9.5.5	Uma fotocélula simples . . . . .	206
9.6	Resumo . . . . .	208
<b>10</b>	<b>Instalações elétricas</b>	<b>209</b>
10.1	Distribuição de tomadas . . . . .	209
10.2	Divisão de circuitos . . . . .	210
10.3	Dimensionamentos . . . . .	211
10.4	Entrada de energia . . . . .	213
<b>11</b>	<b>Sistemas de medição e controle</b>	<b>219</b>
11.1	Medidas em circuitos lineares . . . . .	219
11.2	Medição de tensão, corrente, e potência não senoidais . . . . .	221
11.3	Medição de R,L com V,I,W . . . . .	221
11.3.1	Divisor resistivo com osciloscópio digital - V . . . . .	221
11.3.2	Resistor derivação ou shunt com um voltímetro eletrônico - I . . . . .	222
11.3.3	Wattímetro analógico - W . . . . .	222
11.4	Aferição de sensores e instrumentos . . . . .	223
11.4.1	Aferição de voltímetro analógico . . . . .	223
11.4.2	Aferição de wattímetro . . . . .	223
11.4.3	Aferição de um transdutor analógico de corrente-tensão . . . . .	224
11.4.4	Aferição de um transdutor digital de temperatura-tensão . . . . .	225
11.5	Pontes de corrente alternada . . . . .	225
11.5.1	Características dos Componentes das Pontes . . . . .	225
11.5.2	Análise das Pontes CA . . . . .	226
11.5.3	Ponte de Maxwell . . . . .	226
11.5.4	Ponte de Schering . . . . .	226

11.6	Medição das perdas e da curva de saturação . . . . .	226
11.6.1	Perdas por histerese e por correntes induzidas de Foucault. . . . .	227
11.6.2	Curva de saturação ou de magnetização sem histerese. . . . .	228
11.7	Circuito equivalente dos transformadores para instrumentos . . . . .	229
11.8	Projeto e especificação de transformadores para instrumentos . . . . .	230
11.8.1	Projeto de transformadores . . . . .	230
11.8.2	Projeto de TP e TC . . . . .	230
11.9	Medidores de energia, demanda e fator de potência . . . . .	231
11.9.1	Medição do fator de potência em circuitos trifásicos . . . . .	231
11.9.2	Método dos dois wattímetros . . . . .	231
11.9.3	Sistema trifásico a quatro fios . . . . .	232
11.9.4	Medição de energia, demanda e FP . . . . .	232
11.10	Medição em circuitos trifásicos com transformadores para instrumentos . . . . .	233

### **III Análises 237**

#### **12 Análise eletromagnética 239**

12.0.1	Exercícios . . . . .	239
--------	----------------------	-----

#### **13 Análise de viabilidade econômica e ambiental 249**

13.1	O equilíbrio ecológico . . . . .	249
13.1.1	Introdução ao Método dos Mínimos Quadrados . . . . .	249
13.1.2	Caso Não-Linear . . . . .	251
13.1.3	Definição da função objetivo . . . . .	251
13.1.4	Descrição do algoritmo . . . . .	251
13.1.5	Montagem das matrizes . . . . .	252
13.2	Viabilidade técnico econômica . . . . .	252
13.3	Estudo de caso: um sistema rural alternativo . . . . .	252

#### **14 O compromisso ético e social 257**

14.1	Declaração de Brasília dos integrantes do Sistema Confea/Creas . . . . .	257
14.2	Atitude política ou técnica? . . . . .	259



**Part I**

**Conhecimentos técnicos**





# Chapter 1

## Grandezas elétricas fundamentais

*“Em primeiro lugar temos de conhecer-nos  
e acostumar-nos a dialogar livremente  
conforme o grau de nossa cultura.”*  
(J. Kentenich)

A eletricidade é uma forma de energia, um fenômeno que é um resultado da existência de cargas elétricas. A teoria de eletricidade e seu inseparável efeito, magnetismo, é provavelmente a mais precisa e completa de todas as teorias científicas. O conhecimento da eletricidade foi o impulso para a invenção de motores, geradores, telefones, rádio e televisão, raios-X, computadores e sistemas de energia nuclear. A eletricidade é uma necessidade para a civilização moderna.

### 1.1 Corrente elétrica $I$

Próximo do ano 600 AC., os gregos descobriram uma peculiar propriedade do âmbar (um mineral translúcido, quase amarelo). Quando esfregado com um pedaço de pelo de animal, o âmbar desenvolve a habilidade para atrair pequenos pedaços de plumas. Por séculos essa estranha e inexplicável propriedade foi associada unicamente ao âmbar.

Dois mil anos depois, no século XVI, William Gilbert provou que muitas outras substâncias são “elétricas” (palavra originária do termo em grego para âmbar, *elektron*) e que elas podem apresentar dois efeitos elétricos. Quando friccionado com peles o âmbar adquire uma “eletricidade de resina”, enquanto o vidro quando friccionado com a seda adquire o que eles chamaram de “eletricidade vítrea”, o que eles descobriram foram as cargas positivas e negativas. Eletricidade repele o mesmo tipo e atrai o tipo oposto. Cientistas pensavam que a fricção realmente criava a eletricidade, porém eles não notavam que uma igual quantidade de eletricidade oposta ficava na pele ou na seda.

#### 1.1.1 Elétrons livres

Durante muitos séculos, a humanidade interrogou-se sobre a estrutura da matéria.

A possibilidade que a eletricidade não consista de um uniforme e contínuo fluido provavelmente ocorreu a muitos cientistas. Mesmo Franklin, uma vez, escreveu que o “fluido” consiste de “partículas extremamente sutis”.

Todavia, uma grande quantidade de evidências tinham se acumulado antes da eletricidade ser aceita como formada por minúsculas partículas, quantidades discretas, e não mais como um fluido, quando vista microscopicamente. James Clerk Maxwell se opôs à teoria corpuscular. Por volta do fim do século XIX, entretanto, o trabalho de Sir Joseph John Thompson (1856-1940) e outros provaram a existência do elétron.

Thompson tinha medido a proporção da carga do elétron para a sua massa. Então em 1899 ele deduziu um valor para a carga eletrônica pela observação do comportamento de uma nuvem de minúsculas partículas de água carregadas em um campo elétrico. Essa observação conduziu ao Experimento da Gota de Óleo de Millikan.

Robert Millikan, um fisicista da Universidade de Chicago, com a assistência de um estudante Harvey Fletcher, procuraram medir a carga de um único elétron, um objetivo ambicioso em 1906. Uma minúscula gotinha com um pequeno excesso de elétrons foi formada forçando o líquido através de um dispositivo especial. A gota foi então, em verdade, suspensa, com um campo elétrico atraindo para cima e a força gravitacional puxando para baixo. Para a determinação da massa da gota de óleo e do valor do campo elétrico, a carga na gota foi calculada. O resultado: a carga do elétron  $e$  é negativa e tem como valor

$$e = -1,6021917 \times 10^{-19} \text{Coulombs.}$$

Millikan também determinou que as cargas sempre aparecem com um valor de mais ou menos  $e$ , em outras palavras, a carga é quantizada. Outras partículas elementares descobertas depois tiveram também suas cargas determinadas e foi possível notar que seguiam esta mesma característica. Por exemplo, o Positron, descoberto em 1932 por Carl David Anderson do Instituto de Tecnologia da Califórnia, é exatamente a mesma do elétron, exceto que esta é positiva.

### 1.1.2 Estrutura Atômica

A maior parte da matéria, em geral, é neutra. A tendência é que para cada próton (carga positiva) no átomo, para este ser eletricamente neutro, deve existir um elétron (carga negativa), e a soma das cargas deve ser nula. Em 1911, Ernest Rutherford propôs um modelo para o átomo. Ele sugeriu que os elétrons orbitavam um núcleo carregado, com um diâmetro de  $10^{-14}$  metros, da mesma forma que os planetas orbitavam o Sol. Rutherford também sugeriu que o núcleo era formado por prótons, sendo que cada um teria uma carga de  $+e$ .

Essa visão da matéria, ainda considerada correta em muitos casos, estabilizou a força elétrica que mantém um átomo unido. Depois que Rutherford apresentou seu modelo atômico, o fisicista dinamarquês Niels Bohr propôs que os elétrons ocupam apenas certas órbitas em torno do núcleo, e que outras órbitas são impossíveis.

Hoje sabemos que a matéria é constituída por átomos. Existem mais de cem tipos de átomos diferentes na natureza ou produzidos em laboratório pelos cientistas. Cada tipo de átomo constitui o que se chama de Elemento Químico. O oxigênio é um elemento, o cloro também, assim como o hidrogênio.

Se pudéssemos ver um átomo, constataríamos que ele é formado por um núcleo e várias partículas girando ao redor dele: os elétrons. De certa maneira, lembra o nosso sistema solar, com o sol no centro e os planetas girando em sua volta. Se bem que essa semelhança seja apenas formal, permite compreendermos como se forma a eletricidade.

Os cientistas observaram que as forças atômicas de atração entre o núcleo e os elétrons são distintas das forças gravitacionais, presentes no sistema solar. Elas foram denominadas de forças elétricas, e associadas a cargas elétricas. Por convenção, os elétrons foram denominados de carga negativa e o núcleo de carga positiva. Assim, os elétrons são pequenas partículas, dotadas de carga negativa, que giram em torno do núcleo, que é formado por prótons, com carga elétrica positiva, e nêutrons, com carga elétrica neutra.

Podemos concluir, de imediato, uma coisa muito importante: para que o átomo esteja em equilíbrio, isto é, seja neutro, a carga positiva deve ser igual à carga negativa. Resulta que o número de prótons que estão no núcleo é igual ao número de elétrons que giram ao redor. Existem átomos que têm 1 próton e 1 elétron (hidrogênio), átomos que possuem 13 prótons e 13 elétrons (alumínio), e assim por diante.

Os cientistas já comprovaram que o próton é muito mais pesado que o nêutron (pesa 1836 vezes mais). O nêutron pesa praticamente o mesmo que o elétron. A título de comparação, podemos imaginar o átomo de ferro com 26 elétrons. Se cada elétron fosse do tamanho de uma bola de gude, o núcleo do átomo de

ferro pesaria tanto quanto uma locomotiva de 10 toneladas. Pode-se perceber que, praticamente toda a massa do átomo está no seu núcleo.

Entretanto, a comparação que acabamos de fazer não pode ser feita em termos de carga elétrica. Os cientistas denominaram força eletrostática a atração entre elétrons (carga negativa) e prótons (carga positiva). Como o próton é muito mais pesado, ele quase não sai do lugar; e o elétron ‘caminha’ ao seu encontro.

Quando se estuda eletricidade, são os elétrons que mais interessam. O núcleo não tem muita importância. Mesmo assim, não são todos os elétrons que interessam. Há alguns elétrons que estão fortemente presos ao núcleo: são os elétrons que estão próximos a ele. Porém, outros elétrons, que giram mais afastados de um átomo e pulam de um para outro átomo vizinho. São chamados, por isso, de **elétrons livres**. Estes elétrons é que interessam para os circuitos elétricos. Quando os elétrons livres passam de um átomo para o outro, temos uma **corrente de elétrons**. É a própria **corrente elétrica** dos circuitos e dos condutores.

**Exemplo** Considerando que num pedaço de ferro Fe, cada átomo possua um elétron livre. Se desejarmos ter a carga acumulada de  $-1C$  neste pedaço de ferro, qual a sua massa?

Solução: O número de átomos será

$$n_{atom} = \frac{-1 C}{-1,60 \times 10^{-19} C} = 0,625 \times 10^{19}$$

Sabemos que a massa atômica do Ferro de é 55,84 (ver tabela periódica). Assim, em 55,84g temos o número de Avogadro

$$6,023 \times 10^{23} \text{ átomos}$$

Assim, fazemos a regra de três:

$$6,023 \times 10^{23} \text{ átomos} \rightarrow 55,84 \text{ g}$$

$$0,625 \times 10^{19} \text{ átomos} \rightarrow x \text{ g}$$

que resulta

$$x = \frac{0,625 \times 10^{19} \times 55,84}{6,023 \times 10^{23}} = 5,794 \times 10^{-4} \text{ gramas}$$

Esta pequena massa terá a ‘incrível’ carga de 1 Coulomb. Verificaremos, no decorrer deste manual, que as cargas se distribuem numa película.

### 1.1.3 Eletrólise da água

Vamos resumir uma reação química muito conhecida: a eletrólise. A Eletrólise acontece quando se põem dois eletrodos (um positivo e um negativo) dentro do recipiente com água e faz-se passar uma corrente elétrica entre eles. Aí, como eles se polarizam, eles acabam atraindo  $O_2$  para um dos eletrodos (o positivo - dado que o íon oxigênio é negativo:  $O^-$ ) e  $H_2$  (porque o íon hidrogênio é positivo:  $H^+$ ) para o outro (o eletrodo negativo). Pela passagem da corrente elétrica numa solução aquosa de  $Na_2SO_4$  há decomposição da água, dando hidrogênio no cátodo (pólo negativo) e oxigênio no ânodo (pólo positivo). O volume do hidrogênio produzido é o dobro do volume de oxigênio. Dessa forma, pode-se separar o hidrogênio do oxigênio.

A eletrólise é o processo pelo qual uma corrente elétrica contínua (como aquela que provém de pilhas e baterias), passa entre dois eletrodos fixados em um recipiente, que contém o material a dissociar. Em seu percurso a eletricidade provoca a quebra das ligações químicas das moléculas, liberando assim seus átomos constituintes. Atualmente a eletrólise da água é o principal processo industrial para a obtenção de oxigênio!

Michael Faraday (1791-1867) foi o responsável pela introdução no Conselho de Whewell (1833) de uma nova terminologia na química, que é empregada até hoje, como *eletrólise*, *íons*, *ânion*, *anodo*, *cátion*,



Figure 1.1: Michael Faraday (1791-1867)

*catodo*, etc. Formulou as leis da eletrólise (1834) e, por isso, denominou-se *faraday* a quantidade de eletricidade necessária para libertar um equivalente-grama de qualquer substância. Definiu corrente elétrica como resultado da vibração provocada pelas rápidas alternâncias de tensão nas moléculas dos bons condutores (1838).

Quanto a indivisibilidade do átomo, parece haver sido o físico francês André-Marie Ampère (1775-1836) o primeiro a propor, que o átomo era constituído de partículas subatômicas, na tentativa de explicar o elemento boyleano. Mais tarde, o físico alemão Gustav Theodor Fechner (1801-1887) propôs o modelo de que o átomo consistia de uma parte central massiva que atraía gravitacionalmente uma nuvem de partículas quase imponderáveis. No entanto, as experiências realizadas sobre fenômenos eletromagnéticos, realizadas a partir do trabalho do físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) e do próprio Ampère sobre cargas elétricas circulando em fios condutores, fizeram com que os cientistas cada vez mais ficassem convencidos de que o átomo possuía constituintes portadores de carga elétrica. Desse modo, o físico alemão Wilhelm Eduard Weber (1804-1891) propôs que no modelo de Fechner, as partículas imponderáveis, que envolviam a parte central do átomo, eram partículas eletrizadas atraídas por esse “núcleo”, naturalmente, por uma força elétrica.

A primeira evidência experimental sobre a estrutura do átomo foi verificada pelo físico e químico inglês Michel Faraday (1791-1867) ao descobrir o fenômeno da eletrólise, isto é, a ação química da eletricidade. Em sua experiência, Faraday observou que a passagem da corrente elétrica através de soluções químicas, por exemplo nitrato de prata, fazia com que os metais de tais soluções se depositassem nas barras metálicas (eletrodos: catodo e anodo) introduzidas nessas soluções. Essa evidência sobre a estrutura atômica foi corroborada com a teoria iônica desenvolvida pelo químico sueco Svante August Arrhenius (1859-1903), segundo a qual os íons que constituíam a corrente elétrica através da solução, no fenômeno da eletrólise, nada mais eram que átomos carregados de eletricidade.

### Os geradores não criam elétrons

Já vimos como ocorre a corrente elétrica nos circuitos condutores. Os elétrons que estão fracamente presos ao núcleo ou ao átomo podem escapar e saltar para um átomo vizinho (da direita, por exemplo), liberando espaço para um outro elétron que vem de outro átomo vizinho (da esquerda). Em consequência disso, temos possibilidade de obter um número muito grande de elétrons ‘caminhando’. Os elétrons livres saltam de um átomo para outro átomo e podem continuar o seu movimento para mais outro átomo, formando a corrente elétrica.

Porém, surgem duas perguntas: O que faz os elétrons andarem? E de onde vêm e para onde vão os elétrons nas extremidades dos condutores ou dos circuitos? Vamos pesquisar um pouco sobre isto.

Antes de mais nada, lembremo-nos da lei de Lavoisier: *Na natureza nada se cria, tudo se transforma*. E assim também acontece com os elétrons. Os elétrons não saem e não retornam ao nada. Eles têm uma origem e um destino: **o gerador**. Os geradores não são máquinas de elétrons, mas apenas trocadores de elétrons com o circuito. Impulsionam elétrons num terminal e retiram no outro.

Denomina-se **potencial elétrico** a capacidade de um gerador fazer circular uma corrente elétrica num circuito. O que interessa para o movimento de elétrons é sempre a diferença de potencial. Se essa não

existir, os elétrons não ‘andam’.

#### 1.1.4 Convenção de corrente elétrica

No interior do gerador eletroquímico os íons positivos se deslocam em sentido contrário aos elétrons do circuito, de modo que:

a) no eletrodo positivo - forma-se uma reação que combina os elétrons livres do circuito com os íons positivos da solução.

b) no eletrodo negativo - forma-se uma reação com os íons negativos da solução, liberando elétrons livres para o circuito elétrico.

Estabeleceu-se que o sentido da corrente elétrica seria dos íons positivos no interior da solução. Assim, no circuito a corrente elétrica teria o sentido do anodo (positivo) para o catodo (negativo).

#### 1.1.5 Unidade de medida de corrente elétrica

Muitas grandezas possuem várias unidades de medida. A temperatura, por exemplo, pode ser expressa em graus Celsius, Fahrenheit ou Kelvin. A pressão em Pascal, libras, kg por centímetro quadrado e muitas outras. Já a corrente elétrica é expressa sempre em *Ampère* e seus sub-múltiplos: mili (m), micro, kilo (k) ou mega (M).

Uma carga elétrica em movimento é denominada corrente elétrica.

Denomina-se corrente elétrica a relação entre o fluxo de cargas elétricas  $\Delta Q$  que atravessa uma superfície transversal do condutor  $S$  em um determinado ponto (seção de um fio), pelo intervalo de tempo  $\Delta t$ .

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1.1)$$

A unidade de corrente é o Ampère. A intensidade de corrente de 1 Ampère, ou ‘A’, é a quantidade de carga de 1 Coulomb que passa na seção de um fio durante o intervalo de tempo de 1 segundo. Assim: 1 Ampère é igual a 1 Coulomb/s.

#### 1.1.6 Hora de praticar

O que é mais importante - a teoria ou a prática? Talvez possamos citar vários exemplos a favor de uma ou de outra. Entretanto, é certo que, sem uma das duas, os conhecimentos não podem ser transmitidos e nem aplicados à tecnologia. No mercado de trabalho a teoria e a prática sempre se fazem presentes, a ponto de, se o concorrente à vaga de trabalho não tiver QI (Quem Indica) ele deverá passar por testes e estágios, para as empresas (a sociedade) selecionar a pessoa adequada a cada tarefa. Embora estejamos ou não de acordo com a competição na sociedade moderna, somos certamente unânimes para concluir que para uma sociedade desenvolvida cultural, técnica, e economicamente, a prática é fundamental. Assim sendo ... chegou a hora de praticar.

Para que as aulas práticas possam transcorrer na melhor maneira possível, num clima ideal para a aprendizagem, seguem abaixo as principais algumas recomendações, que valem para todos.

1 - Utilizar sempre uma capa ou avental de proteção. Atar os cabelos, não usar mantas ou cachecol. Usar calçados isolantes. Limpar e secar bem as mãos.

2 - Entrar no ambiente de trabalho somente com a permissão do professor ou funcionário encarregado dos laboratórios.

3 - Nas experiências de grupo, revezar as tarefas para que todos possam participar com igualdade.

4 - Não entrar no almoxarifado. Aguardar o material ser distribuído.

5 - Mexer somente nos equipamentos e materiais autorizados pelo professor.

6 - Na realização de experiências, trabalhar sempre com as fontes e equipamentos desligados, ligando-os somente após a conferência feita pelo professor.

7 - Cuidados com as escalas dos equipamentos de medidas. Verificar sempre qual tipo de grandeza será medida e sua dimensão.

8 - Certifique-se que os aterramentos estão sendo feitos de maneira correta. Cuidado com a ligação de osciloscópios e equipamentos de medida que necessitam de aterramento.

9 - Acompanhar a ordem das experiências rigorosamente, item por item, fazendo apenas o que foi solicitado. A mudança do roteiro, ou da experiência não compete ao momento. Apresente qualquer sugestão ou crítica por escrito ao professor, que certamente será bem vinda.

10 - Os equipamentos dos laboratórios devem ser sempre manuseados com atenção e cuidado a fim de zelar pela sua conservação e evitar que sejam danificados pelo uso indevido.

11 - Ao verificar qualquer irregularidade, seja ela na bancada de trabalho, material ou equipamento, comunicar imediatamente ao professor.

12 - Não comer, não beber e não fumar dentro dos laboratórios.

13 - Ao terminar a experiência, organizar a sua bancada, deixando-a limpa e arrumada, nas condições em que a recebeu. Desligar todas as chaves e luzes antes de sair.

14 - Finalmente, lembre-se: “laboratório não é lugar para brincadeiras, conversas, e atividades semelhantes”, que distraiam a atenção e a harmonia no trabalho.

### 1.1.7 Ligação de amperímetro num circuito

A corrente elétrica é medida com um amperímetro, cujo funcionamento se baseia nos efeitos desta corrente (analógicos) ou por queda de tensão num resistor derivação (digitais).

Atualmente, um moderno amperímetro pode detectar correntes muito baixas da ordem de  $10^{-17}$  amperes, que é apenas 63 elétrons por segundo. A corrente em um impulso nervoso é aproximadamente de 1/100.000 amperes, um relâmpago atinge uma corrente de 20.000 amperes, e uma bomba nuclear chega a 10.000.000 de amperes com 115V.

O amperímetro é **ligado em série** com o circuito. A corrente elétrica, ou os elétrons, passam pelo instrumento - entram no terminal *comum* e saem no terminal correspondente ao máximo valor que poderá passar pelo instrumento (final de escala).

As pontas de prova devem ser colocadas em série com o fio por onde passa a corrente a ser medida. Em muitos casos é preciso cortar e desencapar o fio para fazer a medida, e soldar e isolar o corte posteriormente. Como é uma operação trabalhosa, devemos fazê-la apenas em caso de necessidade.

Deve-se usar uma ‘chave em paralelo’ para desviar a corrente quando precisamos trocar de escala ou de instrumento. Precisamos conhecer a ordem de grandeza da corrente do circuito e escolher a escala mais adequada, iniciando pela mais alta. Depois, vamos fechando a chave e trocando de escala, até ficar na melhor escala de leitura.

### 1.1.8 Usando um multímetro digital

Um multímetro digital pode ajudar bastante nas atividades de eletricidade, principalmente em manutenção. Com ele você pode checar as tensões da fonte de alimentação e da rede elétrica, checar o estado da bateria da placa de CPU, verificar se o drive de CD-ROM está reproduzindo CDs de áudio, acompanhar sinais sonoros, verificar cabos e várias outras aplicações. Seu custo é menor do que você pensa. Com cerca de 30 reais (\$ 10,00) você compra um modelo simples, e com cerca de 100 reais (\$ 33,00) é possível comprar um modelo mais sofisticado.

Um multímetro possui duas pontas de prova, uma vermelha e uma preta. A preta deve ser conectada no ponto do multímetro indicado com GND ou COM (este é o chamado “terra”, “ground” ou “comum”). A ponta de prova vermelha pode ser ligada em outras entradas, mas para a maioria das medidas realizadas, a ligação é feita no ponto indicado com V- $\Omega$ -mA.



Figure 1.2: Multímetro digital.

Uma chave rotativa é usada para selecionar o tipo de medida elétrica a ser feita: V para voltagem ou tensão,  $\Omega$  para resistência e mA para corrente. Uma chave é usada para a medição de voltagens em AC (corrente alternada) ou DC (corrente contínua). Por exemplo, para medir as tensões da fonte de alimentação, ou a tensão da bateria, usamos a chave em DC. Para medir a tensão presente na saída de áudio de um drive de CD-ROM ao tocar um CD musical (um tipo de corrente alteranada), usamos a escala AC. Para medir as tensões da rede elétrica, também utilizamos a escala AC.

Alguns multímetros possuem um único conjunto de escalas para voltagem, e uma chave adicional para escolher entre AC e DC. Outros modelos, como o da figura 1.2, não possuem esta chave AC/DC, e sim grupos independentes de escalas para voltagens e correntes em AC e DC. A maioria dos multímetros não mede corrente alternada (ACA), apenas corrente contínua (DCA), tensão alternada (ACV) e tensão contínua (DCV).

Para cada grandeza elétrica existem várias escalas. Por exemplo, entre as várias posições da chave rotativa, podem existir algumas específicas para as seguintes faixas de voltagem: 200 mV, 2 V, 20 V, 200 V e 2000 V.

Vimos que a medição de corrente é feita com um amperímetro. Podemos utilizar também um **multímetro que tenha a escala apropriada**. Os multímetros possuem entradas adicionais para medir altas tensões e altas correntes. Tome cuidado, pois a ponta de prova vermelha poderá precisar ser colocada em outras entradas, dependendo da grandeza a ser medida. Em geral os multímetros possuem entradas adicionais para medir altas voltagens e altas correntes. Certos modelos possuem uma entrada independente para medição de corrente.

Resumindo, o amperímetro (ou a escala do multímetro) pode ser:

- de corrente contínua (CC ou DC), tendo um sinal '+' e/ou '-' para o sentido da corrente;
- de corrente alternada (CA ou AC), com o sinal '~' característico.

Cuidado! Os instrumentos geralmente possuem entradas para medir volts (tensão), ohms (resistência) e Hertz (frequência), uma outra entrada para medir miliampères e outra para correntes de até 10 ampères. Alguns multímetros podem ainda medir transistores para verificar se estão bons ou queimados.

### 1.1.9 Lei de Kirchoff da corrente

Em primeiro lugar, precisamos definir ‘nó’. Um ‘nó’ é simplesmente uma emenda, uma conexão entre dois ou mais fios ou condutores.

Lembremos que elétrons não podem ser criados ou extintos num nó. Assim, a soma de todas as correntes que entram num ‘nó’ é igual à soma de todas as correntes que saem deste ‘nó’. É a famosa lei dos nós ou Lei de Kirchoff da corrente.

#### Exemplo

Tendo-se uma ligação de amperímetros e fontes de corrente contínua, com leituras e polaridades conhecidas, determine as leituras dos outros instrumentos conectados ao circuito.

### 1.1.10 Realização de emendas e conexões

Um bom curso técnico ou de engenharia começa com eletricidade básica. É a mesma que é estudada no segundo grau, mas de uma forma mais prática. São aprendidas as grandezas físicas como tensão, corrente, resistência e potência. De posse desses conhecimentos, são estudados os semicondutores, como transistores e diodos. Outros componentes eletrônicos são também estudados, como os capacitores e bobinas. O aluno aprende a construir e consertar fontes de alimentação, amplificadores, rádios transmissores e receptores. Finalmente chega a vez dos circuitos integrados (chips), entrando assim na etapa de eletrônica digital. Aprendemos a construir circuitos digitais simples, como contadores, displays, somadores, multiplexadores, decodificadores, etc. Um técnico formado assim está apto a consertar, projetar e construir equipamentos em geral, e não apenas ter **conhecimentos teóricos que não servem para nada**.

Para consertar PCs, quadros de comando, circuitos de controle, os conhecimentos teóricos não são suficientes, mas também não podem ser considerados indispensáveis. Mais importante é ter uma boa idéia sobre o funcionamento dos circuitos, saber identificar se um módulo está ou não funcionando, conhecer detalhes sobre o sistema operacional, aprender a resolver conflitos de hardware, etc. Por isso é necessário estudar profundamente a teoria e as leis físicas dos equipamentos à medida que vamos nos habilitando no manuseio dos circuitos.

### Uso do alicate, da chave de fenda e da fita isolante

Neste trabalho prático, precisamos treinar e demonstrar como utilizar estas ferramentas básicas do eletricista.

### 1.1.11 Noções sobre soldagem

A soldagem é uma prática bastante conhecida dos técnicos, mas não é preciso ser um ‘expert’ para saber soldar. É fácil, e você poderá ir bem mais longe nas suas atividades de eletricidade. A primeira coisa a fazer é ir a uma loja de material eletrônico e adquirir o seguinte:

Ferro de soldar de 24 ou 30 watts

Sugador de solda

Rolo de solda para eletrônica (a mais fina)

Placa universal de circuito impresso

Resistores (qualquer valor) de 1/4 ou 1/8 W

Capacitores de poliéster, qualquer valor

Transistores BC548 ou similar

Alicate de corte e alicate de bico

Garra jacaré tamanho pequeno

Os valores dos transistores, capacitores e resistores acima não são importantes. Pode comprar os mais baratos que encontrar. Serão usados apenas no treinamento de soldagem e dessoldagem.



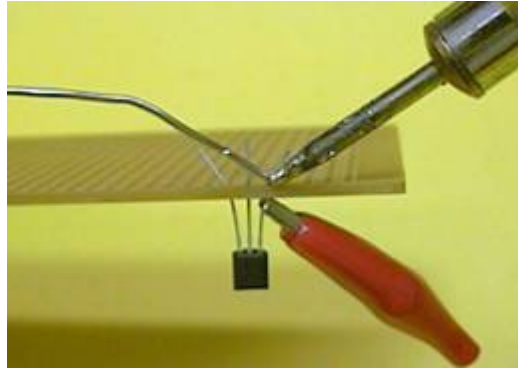


Figure 1.3: Soldagem de um transistor.

### A soldagem

Ligue o ferro de soldar e espere cerca de 1 minuto até que esteja na temperatura ideal. Para verificar se a temperatura está boa, encoste a ponta do fio de solda na ponta do ferro de soldar. A solda deverá derreter com facilidade. Vamos começar soldando um resistor. Coloque o resistor encaixado em dois furos da placa universal de circuito impresso. Feito isso, aqueça com a ponta do ferro de soldar o terminal do resistor e o cobre da placa de circuito impresso. Ambos devem ser aquecidos para que a solda possa derreter facilmente. Encoste agora a ponta do fio de solda na junção aquecida entre a placa e o terminal do resistor. Mantenha o tempo todo a ponta do ferro de soldar também encostando nessa junção. A solda deverá derreter uniformemente. Afaste o fio de solda e depois o ferro de soldar. Dentro de aproximadamente dois ou três segundos a solda estará sólida. Use o alicate de corte para retirar o excesso do terminal do resistor que sobrou.

Treine a soldagem com os resistores e com os capacitores. Não exagere na quantidade de solda. Deve ficar uma quantidade semelhante à que você observa nas placas do computador. Não sobre a solda para que esfrie. Espere três segundos e a solda esfriará sozinha. Não mova o componente enquanto a solda ainda não estiver solidificada. Na soldagem de transistores você deverá tomar um pouco mais de cuidado, pois são muito sensíveis ao calor. Se o ferro de soldar ficar encostado em seus terminais por mais de cinco segundos poderá danificá-lo. Para reduzir o calor no transistor (o objetivo é esquentar apenas a parte que será soldada) prenda uma garra jacaré no terminal do transistor que estiver sendo soldado, do outro lado da placa, como indicado na figura 1.3.

Quando for realizar uma soldagem "pra valer", lembre-se que a maioria dos componentes possuem polaridade, ou seja, uma posição correta para encaixe. Normalmente existe alguma indicação da posição correta na placa de circuito impresso. Se não existir tal indicação anote a posição correta antes de retirar o componente defeituoso, para que o novo componente seja posicionado com a polaridade correta. Alguns componentes simplesmente não funcionam se forem soldados de forma invertida (Ex.: diodos, LEDs). Outros podem ser permanentemente danificados pela inversão (transistores, capacitores eletrolíticos, chips).

Lembre-se que a potência do soldador e a espessura do fio de solda deve ser proporcional à espessura do condutor ou do componente que você vai soldar. Se aquecer demais: queima. Se aquecer 'demenos': não solda (não derrete o estanho, e não escorre).

### A dessoldagem

A dessoldagem é um pouco mais fácil no caso de resistores, capacitores, diodos e transistores. No caso de chips é mais difícil devido ao grande número de terminais. O sugador de solda possui um êmbolo de pressão que remove a solda derretida dos circuitos. Primeiro pressione o seu êmbolo, depois aproxime o



Figure 1.4: Dessoldando componentes.

seu bico da solda derretida e pressione o botão para que o bico sugue a solda. O sugador puxará a solda derretida para o seu interior. Aperte novamente o êmbolo para que possa expelir a solda retirada, já no estado sólido.

Arme o sugador de solda pressionando o êmbolo para baixo e deixando-o pronto para sugar. Encoste o ferro de solda quente no ponto de solda que você quer remover. A solda deverá derreter. Se estiver difícil de derreter, coloque um pingo de solda nova na ponta do ferro de soldar para facilitar a condução térmica, derretendo mais facilmente a solda da junção a ser desfeita. Sem tirar a ponta do ferro de soldar, encoste o bico do sugador (figura 1.4) na solda derretida e dispare. Se o componente não ficar totalmente solto, encaixe uma chave de fenda e puxe-o levemente, usando a chave como alavanca. Encoste agora o ferro de soldar novamente no terminal e o componente sairá com facilidade.

É desaconselhável a dessoldagem de chips por principiantes. Além de ser uma operação muito mais difícil, os chips são extremamente sensíveis à temperatura. Sua soldagem e dessoldagem deve ser feita apenas em laboratórios especializados, equipados com uma estação de soldagem profissional.

## 1.2 Tensão elétrica $V$

Na seção anterior fizemos a pergunta: ‘o que faz os elétrons livres pularem de um átomo para outro?’ A resposta é a força eletromotriz, diferença de potencial (d.d.p.) ou tensão elétrica  $V$ .

Nesta seção, estudaremos os fundamentos da tensão elétrica ou voltagem, e suas grandezas derivadas, e no capítulo seguinte as suas interações eletromagnéticas.

### 1.2.1 Geradores Eletroquímicos

Vamos estudar um circuito elétrico formado por um condutor e um gerador eletroquímico. Gerador eletroquímico e eletrólise são processos contrários. Para fins de entendimento, podemos aproximar o gerador eletroquímico como a reação química da *eletrólise invertida*.

Em experimentos com o que ele chamava de eletricidade atmosférica, Galvani descobriu que uma perna de rã poderia se contrair quando presa por um gancho de bronze em uma treliça de aço. Outro italiano, Alessandro Volta, um professor da Universidade de Pavia, afirmou que o bronze e o aço, separados por um tecido úmido de lã, geravam eletricidade, e que a perna de rã era apenas um detector. Em 1800, Volta conseguiu amplificar o efeito pelo empilhamento de placas feitas de cobre, zinco e papelão úmido respectivamente e fazendo isto ele inventou a bateria.

Uma bateria separa cargas elétricas através de reações químicas. Se a carga é removida de alguma forma, a bateria separa mais cargas, transformando energia química em energia elétrica. Uma bateria pode produzir cargas, por exemplo, para forçá-las através do filamento de uma lâmpada incandescente. Sua capacidade para realizar trabalho por reações elétricas é medida em Volt, unidade nomeada por Volta. Um volt é igual a 1 joule de trabalho ou energia por cada Coulomb de carga. A capacidade elétrica de uma bateria para realizar trabalho é denominada Força Eletromotriz, ou *fem*.

Por causa de um acidente, no século XVIII o cientista italiano Luigi Galvani começou uma cadeia de eventos que culminaram no desenvolvimento do conceito de voltagem e a invenção da bateria. Em 1780, um dos assistentes de Galvani noticiou que uma perna de rã dissecada se contraía, quando ele tocava seu nervo com um escalpelo. Outro assistente achou que tinha visto uma faísca saindo de um gerador elétrico carregado ao mesmo tempo. Galvani concluiu que a eletricidade era a causa da contração muscular da rã. Ele, erroneamente pensou, entretanto, que o efeito era devido à transferência de um fluido, ou “eletricidade animal”, em vez da eletricidade convencional.

### 1.2.2 O conceito de potencial

Considere um certo corpo de massa  $m$  sujeita a um campo gravitacional  $g$ . Sabemos que a força que atua neste corpo é:

$$F = m g$$

A energia potencial gravitacional será proporcional à altura  $h$  (diferença de nível):

$$W = m g h$$

O **potencial gravitacional**  $G$  será a energia potencial dividida pela unidade de massa. Corresponde à energia potencial de um corpo com 1kg de massa.

$$G = g h$$

O potencial gravitacional corresponde ao potencial disponível. Veremos, no capítulo sobre produção de energia, que o potencial hidrelétrico é proporcional à queda disponível. Diz o ditado: **Elementar, meu caro Watson.**

### 1.2.3 Diferença de potencial

Um tipo de conservação de energia é também associado com a *fem* (força eletromotriz). A energia elétrica obtida de uma bateria é limitada pela energia estocada nas ligações químicas das moléculas. Tanto a *fem* como o potencial elétrico são medidos em volts, e, infelizmente, os termos voltagem (também chamada tensão), potencial e *fem* são usados indistintamente. Por exemplo, no caso da bateria o termo potencial muitas vezes é utilizado em lugar de *fem*.

A carga, num circuito elétrico, corresponde à massa sujeita ao potencial gravitacional.

A **tensão elétrica é o potencial elétrico** que desloca os elétrons através do circuito fechado. É expressa em Volts ou ‘V’.

Seja como uma *fem* (força eletromotriz) ou um potencial elétrico, a tensão é uma medida da capacidade de um sistema para realizar trabalho por meio de uma quantidade de carga elétrica unitária. Assim:

$$W = q V$$

Para exemplificar tensão tem-se: a voltagem medida em eletrocardiogramas, que fica em torno de 5milivolts, a tensão disponível nas tomadas da casa de 220V, e além disso tem-se o enorme potencial de 10 mil volts existente entre uma nuvem carregada e o chão, que é necessário para a produção de um relâmpago.

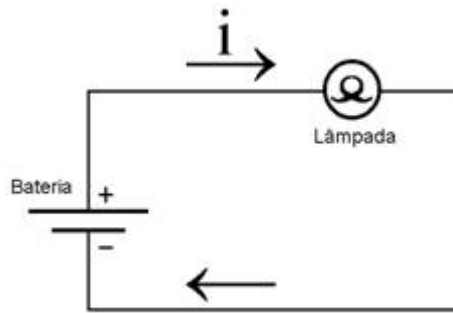


Figure 1.5: Esquema elétrico de uma lanterna. A letra  $i$  é usada para designar a corrente elétrica.

Dispositivos para o desenvolvimento de tensão inclui baterias, geradores, transformadores e geradores de Van de Graaff.

Algumas vezes altas tensões são necessárias. Por exemplo, os elétrons emitidos em tubos de televisão requer mais de 30000 volts. Elétrons se movendo devido a essa tensão alcançam velocidades perto de um terço da velocidade da luz e tem energia suficiente para produzir um ponto na tela. Essas altas diferenças de potenciais podem ser produzidas por baixas tensões alternadas utilizando-se um transformador.

#### 1.2.4 Circuito de uma lanterna

Nenhum circuito elétrico ou eletrônico pode funcionar sem um gerador de corrente elétrica. Os geradores nada mais são que baterias, pilhas ou fontes de alimentação. Possuem dois terminais, sendo um positivo e um negativo. O terminal positivo é aquele por onde “sai” a corrente da bateria para o circuito, e o negativo é aquele por onde “retorna” a corrente do circuito para a bateria.

A figura 1.5 mostra o diagrama de um circuito de uma lanterna, no qual temos uma lâmpada alimentada por uma bateria. A corrente elétrica sai do terminal positivo da bateria e trafega através do fio. Chegando à lâmpada, a energia elétrica é transformada em energia luminosa e calor. Depois de atravessar a lâmpada, a corrente retorna à bateria através do seu terminal negativo. Uma bateria é na verdade um dispositivo que empurra a corrente elétrica através dos fios ligados aos seus terminais.

Toda bateria tem uma voltagem especificada. As pilhas, por exemplo, têm 1,5 volts. Também são bastante populares as baterias de 9 volts. Hoje em dia encontramos vários tipos de bateria com diversas voltagens, inclusive recarregáveis. É o caso das baterias de telefones celulares.

Em operação normal, uma bateria deve ter circuitos ligados aos seus terminais. A corrente elétrica faz com que esses circuitos funcionem. Por exemplo, se o circuito consistir em uma simples lâmpada, o funcionamento é caracterizado pelo acendimento desta lâmpada. É o que chamamos de circuito fechado. Uma bateria pode também estar desligada. Neste caso, existe tensão entre seus terminais, porém não existe corrente. A bateria não está portanto fornecendo energia elétrica ao circuito. É o que ocorre quando temos uma bateria isolada, fora do circuito, ou então quando o interruptor (ou chave) está desligado. Chamamos esta situação de circuito aberto.

Uma situação anormal é o chamado curto-circuito. Temos um fio ligando diretamente os dois terminais da bateria. A corrente atravessa o fio, porém como não existe circuito para alimentar, esta corrente tem enorme facilidade para trafegar. Isto faz a corrente atingir um valor altíssimo, e gerando muito aquecimento. O fio pode até mesmo derreter e pegar fogo, a bateria pode esquentar até ser danificada. Para proteger equipamentos de curto-circuitos acidentais, usamos fusíveis. Se você ligar os dois terminais de uma pilha através de um fio, o curto circuito não será muito perigoso, mas se ligar os dois terminais de uma tomada

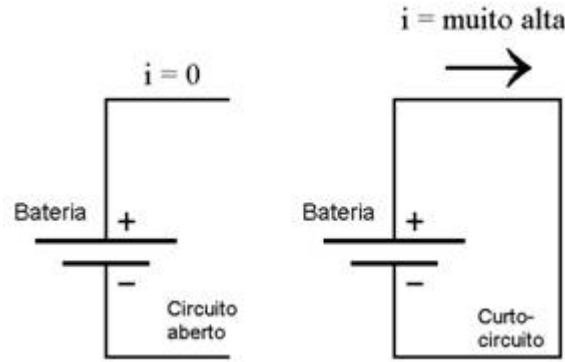


Figure 1.6: Detalhe do circuito aberto e curto circuito de uma bateria (fonte).

elétrica, pode até provocar um incêndio.

Em um circuito aberto, a corrente é sempre zero. No curto circuito, a corrente pode ser, do ponto de vista matemático, infinita. Na prática isto não ocorre, mas a corrente tende a apresentar um valor bastante elevado e perigoso.

A figura 1.6 mostra as características de uma bateria em aberto e outra em curto. Na bateria em aberto, a tensão entre os terminais é igual à tensão da bateria (vamos chamá-la de  $V_0$ ), e a corrente vale 0. Quando a bateria está em curto, a tensão entre os terminais vale 0, e a corrente assume um valor elevadíssimo. Usando componentes teóricos, a corrente tenderia a ser infinita. Na prática isto não ocorre, mas atinge um valor alto, dependendo das características da bateria.

A fonte de alimentação é um circuito que tem a mesma função de uma bateria. Ela recebe a tensão da rede elétrica e realiza várias operações: redução, retificação, filtragem e regulação. O resultado é uma tensão contínua, semelhante à fornecida por baterias. Mais adiante neste capítulo mostraremos como uma fonte de alimentação realiza este processo.

### 1.2.5 Medição de tensão

A tensão é medida com um voltímetro ligado em paralelo com o circuito, nos dois pontos onde se deseja medir a diferença de potencial.

Se você pretende medir a tensão da bateria da placa de CPU (em torno de 3 volts), não use a escala de 2V, pois tensões acima de 2V serão indicadas como 1,9999 V. Escolha então a escala de 20V, pois terá condições de fazer a medida esperada. Da mesma forma, para medir a tensão de uma rede elétrica de 220 volts (use AC, pois trata-se de tensão alternada), não escolha a escala de 200 volts, pois a máxima tensão medida será de 199,99 volts. Escolha então a escala de 2.000 volts ou outra para tensões elevadas. Como regra geral, sempre que a leitura indicada tem valor máximo ou outra indicação que esteja fora da escala, devemos utilizar uma escala maior. Quando não temos idéia aproximada da tensão que vamos medir, devemos começar com a escala de maior valor possível, pois se medirmos uma tensão muito elevada usando uma escala baixa, podemos danificar o aparelho.

Para medir a tensão entre dois pontos, selecione a escala e encoste as pontas de prova nos terminais nos quais a tensão deve ser medida (figura 1.7). Muitas vezes queremos fazer medidas de tensão relativas ao terra (o terminal "negativo" da fonte de alimentação). Você pode então fixar a ponta de prova preta em um ponto ligado ao terra (por exemplo, os fios pretos do conector de alimentação da placa de CPU) e usar a outra ponta de prova para medir a tensão no ponto desejado.

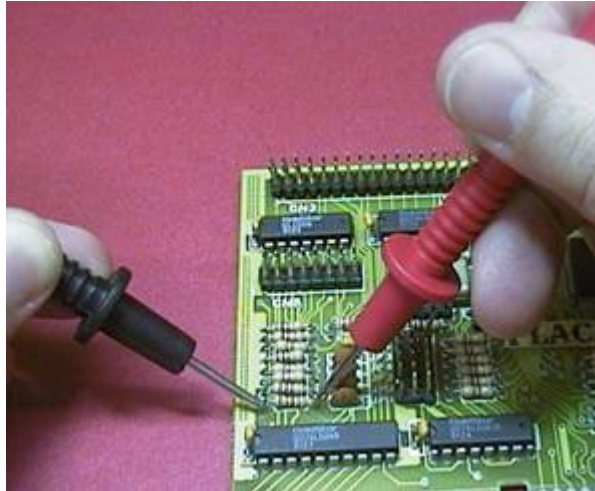


Figure 1.7: Medição de tensão (ou voltagem).

### Lei de Kirchhoff da tensão

A soma de todas as fontes de tensão de uma 'malha' é igual à soma de todas as tensões nas cargas desta 'malha'. É conhecida como lei das malhas.

Quem ainda não trocou pilhas de um dispositivo eletrônico? Certamente, todos já fizeram, tomando o cuidado de ligar as pilhas ou baterias em série: o positivo de uma com o negativo da outra. Assim, as tensões se somam. Por exemplo, com 4 pilhas de 1,5V obtemos 6,0V.

#### Exemplo

Considerando o circuito formado por malhas de voltímetros DC, determine qual será a leitura dos outros instrumentos?

### 1.2.6 Ligação de um painel fotovoltaico

Esta experiência consiste na ligação de um painel fotovoltaico com diversas cargas. Vamos fazer a medição de tensão e corrente, e desenhar um gráfico, onde tem a corrente no eixo das abscissas e tensão nas ordenadas.

## 1.3 Resistência elétrica $R$

Muitos materiais são **isolantes**. Neles todos os elétrons estão nos limites dos átomos e não permite um fluxo de cargas, menos quando submetidos a altos campos elétricos que proporcionam uma “quebra” dessas iterações dos elétrons. Então, em um processo denominado ionização, os elétrons mais “frouxos” são arrancados dos átomos, formando um fluxo de corrente. Essa condição existe durante uma tempestade elétrica. A separação de cargas entre as nuvens e o chão cria um grande campo elétrico que ioniza os átomos do ar, pelo qual é formado um caminho de condução elétrica entre as nuvens e o chão (relâmpago).

Embora um condutor permita o fluxo de cargas, isso não ocorre sem uma perda de energia. Os elétrons são acelerados por um campo elétrico. Em geral, eles se movem a distâncias razoáveis, porém eles colidem com alguns dos átomos do condutor, diminuindo sua velocidade ou mudando sua direção. Como resultado, eles perdem energia para os átomos. Essa energia aparece como calor, e essa dispersão é uma resistência para a corrente.

### 1.3.1 Resistividade $\rho$

Em 1827 um professor alemão de nome Georg Ohm demonstrou que a corrente em um fio aumenta em proporção direta com a tensão  $V$  e com área  $S$  da seção transversal do fio, e em proporção inversa ao comprimento  $l$  do fio. Dessa forma, a corrente também depende das propriedades do material, a Lei de Ohm é então

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

onde  $\rho$  é a resistividade. A quantidade  $R$  é denominada Resistência elétrica. A Resistividade depende apenas do tipo de material. A unidade de resistência é o Ohm ou  $\Omega$ , onde  $1 \Omega$  é igual a 1volt/amp.

No chumbo, um condutor razoável, a resistividade é

$$22/100.000.000\text{ohm} - \text{metro};$$

no cobre, um excelente condutor, é apenas

$$1,7/100.000.000\text{ohm} - \text{metro}.$$

Onde altas resistências entre 1 e 1 milhão ohms são necessárias, resistores são feitos de materiais como o carbono, que tem uma resistividade de

$$1.400/100.000.000\text{ohm} - \text{metro}.$$

Certos materiais perdem sua resistência quase que completamente quando submetidos a uma temperatura de alguns graus acima do zero absoluto. Esses materiais são denominados de Supercondutores. Algumas substâncias recentemente encontradas mantêm a supercondutividade em temperaturas mais elevadas.

A resistividade  $\rho$  é definida por:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (1.2)$$

onde  $\sigma$  é a condutividade do material expressa em  $(\Omega.m)^{-1}$ . A condutância é o inverso da resistência.

A tabela 1.1 apresenta a resistividade média dos materiais mais utilizados em instalações elétricas. Observa-se que a sua unidade está alterada para que, multiplicando-se pelo comprimento em metros e dividindo pela seção condutora em milímetros quadrados, se obtenha a resistência do condutor em  $\Omega$ . A condutividade do alumínio corresponde a 61% da do cobre.

Table 1.1: Resistividades dos materiais mais usados em instalações.

Material	Resistividade $\rho$ a $20^{\circ}\text{C}$
Cobre	$1/58 \Omega.\text{mm}^2.m^{-1}$
Alumínio	$1/35,4 \Omega.\text{mm}^2.m^{-1}$

A resistividade  $\rho$  para a maioria dos materiais varia com a temperatura. Para muitos materiais, incluindo os metais, a relação linear empírica é

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha T_0) \quad (1.3)$$

onde,  $T_0$  é uma temperatura de referência,  $\rho_0$  é a resistividade em  $T_0$  e  $\alpha$  é o coeficiente de temperatura média da resistividade. A resistência do cobre aumenta de  $0,00393 \Omega$  por cada aumento de  $1^{\circ}\text{C}$ . A projeção da curva interceptará a linha de **resistência zero** em  $-234,5^{\circ}\text{C}$ . Entretanto, na prática observam-se resistências extremamente baixas nesta faixa de temperatura.

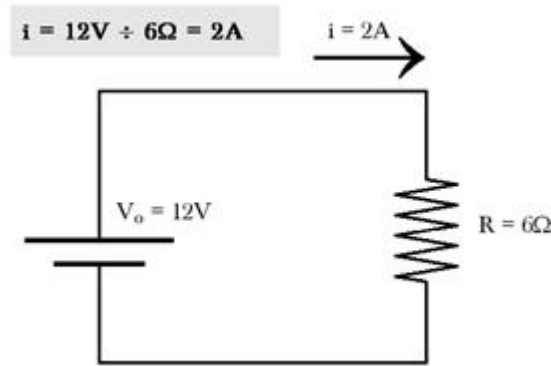


Figure 1.8: Relação entre corrente, tensão e resistência.

### 1.3.2 Lei de Ohm

A resistência elétrica  $R$  é definida como:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.4)$$

A lâmpada da lanterna, na figura 1.5, pode ser representada como um resistor, pois ela tem o efeito de uma resistência no circuito. Veja na figura 1.8 o símbolo usado para representar uma resistência num diagrama elétrico.

Todo resistor tem um valor, que é a chamada resistência. A unidade usada para medir a resistência é o ohm, cujo símbolo é  $\Omega$ . A voltagem gerada por uma bateria tem seu valor dado em volts, cujo símbolo é V. A unidade usada para medir a corrente elétrica é o ampère, cujo símbolo é A.

Existe uma relação direta entre a tensão aplicada sobre um resistor, a corrente que o atravessa e o valor da sua resistência. Esta relação é a chamada lei de Ohm. Ela diz que se um resistor de valor  $R$  é ligado a uma tensão  $V$ , sua corrente  $i$  é dada por:

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

é o mesmo que escrever:

$$V = R i$$

Por exemplo, ao ligamos uma bateria de 12 V em um resistor de  $6\Omega$ , de acordo com a lei de ohm, a corrente que atravessará o resistor será de:

$$i = \frac{12 \text{ V}}{6 \Omega} = 2 \text{ A}$$

### 1.3.3 Tipos de resistores

Este é o mais básico componente eletro-eletrônico. Vamos ver alguns tipos de resistores.

#### Resistores de fio

Muitos o chamam erradamente de resistência. Seu nome certo é resistor, e a resistência é a sua característica elétrica. Ainda assim o público leigo usa termos como “a resistência do chuveiro elétrico”, “resistência do aquecedor”, “resistência do ferro de passar”, “resistência da torradeira”. Esses dispositivos são resistores formados por fios metálicos com resistência baixa. Ao serem ligados em uma tensão elétrica, são atravessados por uma elevada corrente, resultando em grande dissipação de calor. Note que nas resistências



desses aparelhos, o objetivo principal é a geração de calor. Já nos circuitos eletrônicos, suas funções são outras, e não gerar calor. Os resistores usados nesses circuitos devem ter valores tais que possam fazer o seu trabalho com a menor geração de calor possível.

### Resistores de carvão - código de cores

Os resistores usados nos circuitos eletrônicos são de vários tipos e tamanhos. Seus dois parâmetros elétricos importantes são a resistência e a potência. Resistores que irão dissipar muita potência elétrica são de maior tamanho, e vice-versa. Os mostrados na figura 13 são de 1/8 W. Existem resistores de 1/4W, 1/2W, 1W, 2W, 5W, 10W e valores ainda mais elevados.

### Resistores sensores de temperatura - NTC

Vamos levantar a curva temperatura x resistência de um NTC.

A seguir, iremos aproximar a resistência por uma função exponencial.

### Termistores - PTC

O PTC (positive temperature coefficient) é um termistor (termômetro + resistor), cuja resistência aumenta bruscamente para um valor bem definido de temperatura.

São dispositivos feitos de material semicondutor que, para um determinado valor de temperatura sofrem uma variação brusca no valor da sua resistência. Por isto, são usados geralmente para proteção de motores. Para temperaturas acima da classe de isolamento do motor, o PTC através de sua variação brusca de resistência, sensibiliza o relé que desliga a bobina do contator, protegendo assim o motor.

A utilização de PTC's exige a instalação de um relé externo, que recebe o sinal das sondas, atuando com base nele, interrompendo a alimentação dos contadores que acionam motores. A instalação dos PTC's é feita entre as espiras, nas cabeças de bobinas de motores, sempre do lado oposto ao ventilador. Normalmente utiliza-se um PTC por fase, sendo estes estão ligados em série.

O religamento do motor será possível tão logo o enrolamento volte à temperatura normal. Esta temperatura está 5C abaixo da temperatura nominal de atuação.

Podem ser ligados vários PTC em série, de modo que a soma de suas resistências a frio não ultrapasse 550Ω (aproximadamente 6 PTC's).

Caso seja desejável um comando de alarme antes que o motor atinja a temperatura limite, deve-se utilizar dois protetores por fase. O primeiro deles dimensionado para a temperatura de alarme, que deve ser abaixo da classe de isolamento do motor. O segundo deverá ser dimensionado para atuar quando a temperatura alcançar o valor máximo permitido pela classe de isolamento do motor.

### Termoresistências - PT100

São elementos que tem sua operação baseada na característica de variação linear de resistência com a temperatura intrínseca a alguns materiais. Os elementos mais utilizados nesta área são a platina e o níquel, que possuem uma resistência de 100Ω a 0°C e o cobre com 10Ω a 0°C.

Quando usados para proteção de um motor, esses elementos possuem resistência calibrada que varia linearmente com a temperatura, possibilitando um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor, pelo "display" do controlador. Esse sistema de proteção permite ainda a sinalização de advertência com sinais luminosos ou sonoros, antes da temperatura alcançar limites proibitivos. E por isso, o sistema de custo mais elevado, havendo a necessidade de um controlador (relé para PT100).

### Resistores sensores de luz - LDR

O Resistor Dependente da Luz, ou LDR (Light Dependent Resistor), varia sua resistência elétrica de acordo com a quantidade de luz que incide sobre ele. Também chamado de célula foto-condutiva, ou ainda de foto-resistência, o LDR é um dispositivo semicondutor de dois terminais. Na escuridão, um LDR tem uma resistência muito alta e assim impede (limita) a corrente de fluir em um trecho de circuito. Na luz, porém, a resistência é muito mais baixa e isso permite o fluxo de boa intensidade no trecho de circuito em questão. O pico de sensibilidade do LDR ocorre aproximadamente em 5100  $\text{\AA}$  (luz vermelha-alaranjada). Estando iluminado, o LDR apresenta uma resistência de 1000  $\Omega$  (1K), e cortando-se essa luz o LDR demora cerca de 5 segundos para atingir a resistência de 1M $\Omega$ . A resistência máxima (no escuro) de um LDR deve ficar entre 1M ohms e 10M ohms, dependendo do tipo, e a resistência sob iluminação ambiente tipicamente fica entre 75 e 500  $\Omega$ . Uma forma simples de se verificar essa característica dos LDRs é utilizar um multímetro em escala de resistência (Rx100). Os LDRs mais comuns são os de 1 cm e 2,5 cm de diâmetro, diferenciando-se principalmente pela sua capacidade de corrente, já que o LDR com uma superfície maior, além de apresentar maior sensibilidade também apresenta uma maior capacidade de dissipar calor, conseguindo controlar correntes mais intensas. Um LDR de 2,5 cm, por exemplo, pode controlar diretamente a corrente da bobina de um relé sensível, e até mesmo uma lâmpada de baixa potência.

### Resistores sensores de deslocamento (Strain Gauge)

São resistores que variam com o deslocamento. São usados em balanças.

### Resistores variáveis - Variacs, trimpots e potenciômetros

Possuem geralmente três terminais, onde o terminal do meio é móvel.

### 1.3.4 Associação de resistores e análise de circuitos

Eventualmente podemos encontrar em circuitos, resistores ligados uns aos outros. Dizemos que os resistores estão associados. As duas principais formas de associação de resistores são as do tipo série e paralela. Ambas são mostradas na figura 1.9.

Se ligarmos duas cargas iguais a um sistema monofásico, esta ligação pode ser feita em dois modos:

-ligação em série, em que as duas cargas são atravessadas pela corrente total do circuito. Neste caso, a tensão em cada carga será a metade da tensão do circuito para cargas iguais.

-ligação em paralelo, em que é aplicada às duas cargas a tensão do circuito. Neste caso, a corrente em cada carga será a metade da corrente total do circuito para cargas iguais.

#### Ligação de resistores em série

Quando dois resistores estão em série, a resistência total é igual à soma das resistências de cada resistor. Portanto é calculada pela fórmula:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

#### Ligação de resistores em paralelo

Quando os resistores estão associados em paralelo, a fórmula da resistência equivalente é:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Ou seja, o inverso da resistência equivalente é igual à soma dos inversos das resistências individuais.

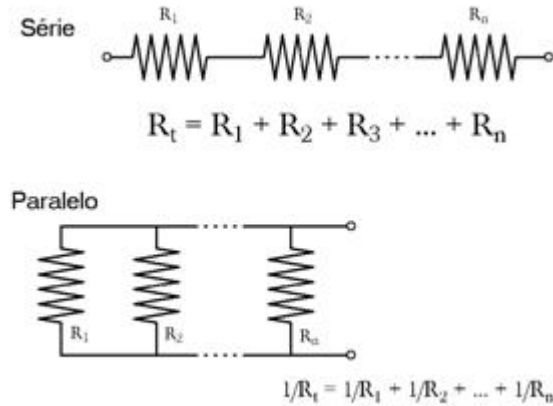


Figure 1.9: Associações de resistores.

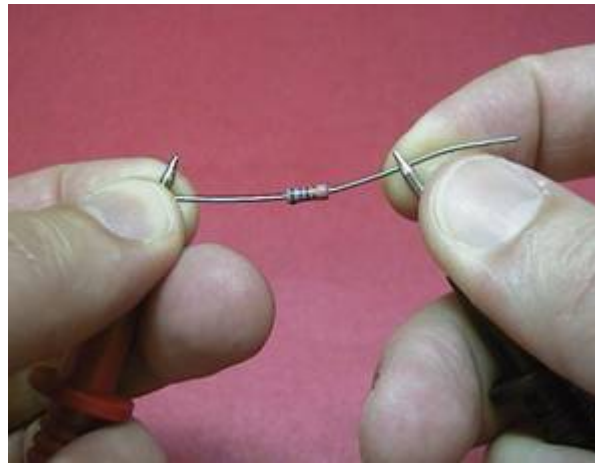


Figure 1.10: Medindo o valor de um resistor.

### 1.3.5 Medição de resistência

A medição de resistência também possui várias escalas, e você deve escolher uma escala que comporte a medida a ser realizada. Se você não tem idéia da escala a ser usada, escolha a maior delas. Por exemplo, se medir um resistor de cerca de  $150\ \Omega$  em uma escala de 20.000, será apresentado o valor 150. Se quiser maior precisão pode usar escalas menores. Por exemplo, na escala de 2000  $\Omega$ , o valor medido poderá ser 150,3 e na escala de 200 poderá ser 150,37.

Note que não podemos medir o valor de um resistor com um multímetro quando ele está em um circuito. O valor medido será influenciado pelos demais componentes do circuito ligados ao resistor. A medida correta é feita quando o resistor está desacoplado do circuito, como mostra a figura 1.10.

Cuidado: para resistores com valores acima de 10k  $\Omega$ , é recomendável não tocar as mãos nas pontas de prova do multímetro, pois a resistência do corpo humano provocará erro na medida.

Podemos usar o multímetro na escala de resistência para verificar se um cabo está partido ou se um fusível está queimado. Quando um fio ou fusível está em perfeitas condições, sua resistência é bem baixa, em geral inferior a 1 ohm. Colocamos então o multímetro na escala mais baixa de resistência e fazemos a medida.

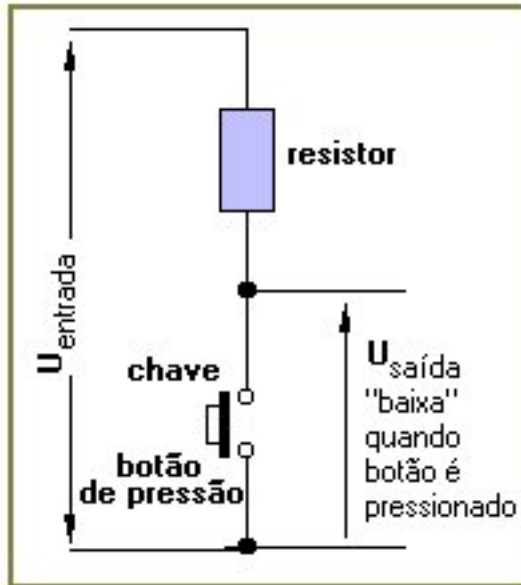


Figure 1.11: Botão de sinal, utilizado como divisor de tensão.

Quando o cabo está partido ou o fusível está queimado, a resistência é muito alta, e quando está bom é baixa. Note que para fazer essas medidas é preciso que o circuito esteja desligado.

Muitos multímetros possuem ao lado da escala de resistência, uma escala que emite um beep através de um pequeno alto falante em caso de resistência baixa. Desta forma é possível medir as ligações sem ter que olhar para o display do multímetro. Prestamos atenção apenas nas conexões que estão sendo medidas e no som emitido. Na gíria de eletrônica isto é chamado de "bipar o circuito".

### 1.3.6 A lâmpada série

É uma ferramenta indispensável na bancada do eletricista. Vamos estudá-la e utilizá-la com segurança.

### 1.3.7 Divisor de tensão

É constituído de dois resistores, ou um resistor e um interruptor, onde a sua saída é usada como entrada para instrumentos de medição (conversores AD, circuitos lógicos, etc).

Quando um interruptor é usado para prover uma entrada em um determinado circuito, seu pressionamento normalmente gera um sinal de tensão. É esse sinal de tensão que ativa o circuito propriamente dito.

A tensão de saída no circuito da esquerda é sempre BAIXA, exceto quando o botão é pressionado. Ao pressionar o botão essa tensão alta é utilizada para por em ação o circuito restante. No circuito da direita a tensão de saída é sempre ALTA (a própria tensão da fonte, no caso), exceto quando o botão é pressionado. Pressionando esse botão, a tensão de saída cai a ZERO. Para o resistor dos circuitos, um valor de 10 k $\Omega$  é o recomendado.

Em suma; quando o botão é pressionado o circuito fornece uma Usáida BAIXA.

Nos circuitos que processam sinais lógicos, uma BAIXA tensão é denominada "lógica 0" ou simplesmente "0", enquanto que uma ALTA tensão é denominada "lógica 1" ou simplesmente "1". Esses circuitos divisores de tensão, com interruptores de botão, são perfeitos para proverem entradas de sinais lógicos. [Há um probleminha de "reboot" ... mais isso é outra história.]

Que tipos de interruptores você usaria nesses circuitos? Há uma grande variedade de interruptores de botão (pressão). Os botões miniaturas trabalham adequadamente e freqüentemente estão inseridos em uma matriz de contatos. Como você observa, o botão tem externamente quatro pequenos terminais que são unidos, aos pares e internamente, por tiras de metal. O botão leva um anel metálico. Ao ser apertado, o anel toca as tiras, fechando o circuito.

Circuitos eletrônicos são construídos a partir de subcircuitos com finalidades específicas. Cada um deles deve operar em termos de entrada, processamento, saída. Há permanente transferência de informações entre subcircuitos. Essas informações, sob a denominação de sinais, via de regra estão sob a forma de tensões variáveis. Isso torna inevitável que tais circuitos incluam divisores de tensão como parte integrante de suas estruturas.

Divisores de tensão não são apenas pequenos detalhes num circuito geral, eles são fundamentais para a compreensão do circuito eletrônico como um todo. Uma vez que você os entenda e saiba como procura-los você os encontrará em todos os circuitos.

## 1.4 Potência elétrica $P$

Outra grandeza elétrica importante é a potência. Ela representa a quantidade de energia elétrica que está sendo consumida por um resistor quando é percorrido por uma corrente, e é medida em watts, cujo símbolo é W. Quando um resistor  $R$  é ligado a uma tensão  $V$  e percorrido por uma corrente  $I$ , a potência elétrica  $P$  é:

$$P = V I$$

Define-se potência como sendo o trabalho executado por unidade de tempo. A potência elétrica é obtida pelo produto da tensão pela corrente.

A tabela 1.2 apresenta a potência média de alguns aparelhos eletrodomésticos. Estes valores podem ser utilizados quando faltar a potência nominal de placa dos aparelhos.

Table 1.2: Potência média de alguns aparelhos eletrodomésticos

Aparelho	Potência (Watt)
Ar condicionado	1600
Aspirador de pó	600
Cafeteira	500
Bóiler	1500
Chuveiro	5600
Enceradeira	350
Ferro de passar roupa	750
Forno de microondas	1200
Liquificador	350
Máquina de lavar louça	2700
Máquina de lavar roupa	500
Secador de cabelo	1000
Torneira elétrica	5600
Microcomputador	500
Som	100
Televisor	200
Ventilador	100
Refrigerador	300
Freezer	500

### 1.4.1 Convenção do sentido do fluxo de potência

A potência ou energia dissipada num **resistor** é sempre positiva. Portanto, se você tiver calculado um circuito elétrico, e a **tensão** e a **corrente** tiverem de sentidos **contrários**, o problema está **errado**. O produto da tensão pela corrente de um resistor ou outro elemento passivo nunca pode ser valor negativo.

A potência é negativa nos terminais de um gerador ou de uma fonte de alimentação.

Isto é muito importante! Lembre-se disto quando formos tratar de potência ativa e reativa.

### 1.4.2 Lei de Joule

O calor resistivo causado pelo choque dos elétrons é um efeito muito importante e é usado em alguns dispositivos elétricos como a lâmpada incandescente. Em um **resistor com corrente conhecida**, a potência  $P$ , ou energia por segundo, é dada por

$$P = R I^2$$

Se o dispositivo for um **resistor com tensão conhecida** podemos escrever:

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

Por exemplo, um resistor de  $6\Omega$  ligado a uma fonte de 12 V dissipa uma potência de:

$$P = \frac{12^2}{6} = \frac{144}{6} = 24 \text{ watts}$$

É a quantidade de calor suficiente para causar uma boa queimadura ao tocarmos neste resistor. Ao contrário do que ocorre na física do segundo grau, não usamos na prática resistores de valores tão baixos, nem operamos com correntes tão elevadas, pelo menos na maioria dos casos. Os resistores usados em eletrônica apresentam em geral resistências da ordem de milhares de ohms, e as correntes elétricas normalmente assumem valores da ordem de milésimos de Ampères. Por isso usamos em eletrônica as unidades  $k\Omega$  e mA para medir resistência e corrente. As fórmulas continuam válidas, apenas utilizamos medidas diferentes para resistência e corrente. Por exemplo, um resistor de  $6 k\Omega$  ligado em uma fonte de 12 V será percorrido por uma corrente de:

$$i = \frac{V}{R} = \frac{12}{6} = 2 \text{ mA}$$

A potência elétrica neste caso é dada em miliwatts (milésimos de Watt), cujo símbolo é mW:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{12^2}{6} = 24 \text{ mW}$$

Esta potência é tão pequena que praticamente não percebemos que o resistor está quente. Gerar calor não é o objetivo dos circuitos eletrônicos, portanto devemos utilizar resistores com os maiores valores possíveis, desde que em condições de manter em funcionamento correto os demais componentes.

### 1.4.3 Trabalho ou energia elétrica $W$

Num resistor, a energia potencial elétrica é transferida aos íons da rede através do movimento dos portadores de carga e aparece como energia térmica interna.

No SI, a unidade do trabalho é o Joule (J), e o seu geral é Wh. Pode ser medido por meio de um medidor de wathora. Os kWh consumidos podem ser diretamente lidos no aparelho ou ainda determinados em função do número de rotações de um disco em função do tempo.

**Exemplo**

Calcular o consumo mensal de um refrigerador de 500 W, que ficou ligado durante 1/3 do período. (1 kWh = 1000W x 3600s =  $3,6 \times 10^6$  J).

$$C(\text{Joule}) = 500 \times 10 \times 3600 = 18 \times 10^6 \text{ J}$$

$$C(\text{kWh}) = \frac{18 \times 10^6}{3,6 \times 10^6} = 5 \text{ kWh}$$

#### 1.4.4 Outras formas de energia

Embora a energia seja uma coisa só, ela pode se apresentar de formas diferentes. Se ligarmos uma resistência a uma rede elétrica com tensão, passará uma corrente elétrica que irá aquecer a resistência. A resistência absorve energia elétrica e a transforma em calor, que também é uma forma de energia. Um motor elétrico absorve energia elétrica da rede e a transforma em energia mecânica disponível na ponta do eixo.

A unidade de medida usual para potência elétrica é o watt (W), correspondente a 1 volt x 1 ampère, ou seu múltiplo, o quilowatt = 1.000 watts. Esta unidade também é usada para medida de potência mecânica. A unidade de medida usual para energia elétrica é o quilo-watt-hora (kWh) correspondente à energia fornecida por uma potência de 1kW funcionando durante uma hora - é a unidade que aparece, para pagamento, nas contas de 'luz'.

#### Energia e potência térmica

A quantidade de energia térmica acumulada num reservatório de água quente, por exemplo, é:

$$Q = m c \Delta T$$

Quando a energia é estática, isto é, não muda com o tempo a quantidade de energia térmica ou calor trocada com o meio ambiente é nula. Neste caso a potência é zero.

Entretanto, quando a temperatura da água do reservatório mudar com o tempo, uma certa quantidade de calor estará sendo trocada com o meio ambiente. Ela será simplesmente a divisão da equação anterior pelo tempo.

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{m}{t} c \Delta T$$

A relação  $m/t$  é a vazão de água do reservatório. A potência  $P$  será a potência elétrica do aquecedor (observando as unidades).

#### Medição do rendimento de um bóiler

Nesta experiência, vamos medir a quantidade de energia elétrica consumida para aquecer um bóiler, e medir a temperatura e o volume d'água na saída. Podemos traçar a curva tempo x temperatura, tanto para aquecimento quanto para perda de calor.

#### Energia mecânica

Vamos estudar a energia mecânica através de um exemplo típico: puxar água de um poço com um balde que pesa 20N (aproximadamente 2kg), uma manivela e uma roldana.

#### O trabalho

Se o poço tem 24,5 metros de profundidade, a energia gasta, ou trabalho realizado para trazer o balde do fundo até a boca do poço é sempre a mesma, valendo

$$W = F d = 20\text{N} \times 24,5\text{m} = 490 \text{ J}$$

Note que a unidade de medida de energia mecânica, J ou Nm, é a mesma que usaremos para o conjugado. Tratam-se, no entanto, de grandezas de naturezas diferentes, que não devem ser confundidas.

$$1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

### Potência mecânica

A potência mede a “velocidade” com que a energia é aplicada ou consumida, e se calcula dividindo a energia ou trabalho total pelo tempo gasto em realizá-lo. Assim, se usarmos um motor elétrico capaz de erguer o balde de água em 2,0 segundos, a potência necessária será:

$$P_1 = 245 \text{ W}$$

Se usarmos um motor mais potente, com capacidade de realizar o trabalho em 1,3 segundos, a potência necessária será:

$$P_2 = 377 \text{ W}$$

A unidade mais usual para medida de potência mecânica é o cv (cavalo-vapor), equivalente a 736 W. Então as potências dos dois motores acima serão:

$$P_1 = 0,33 \text{ cv}$$

$$P_2 = 0,51 \text{ cv}$$

### 1.4.5 Conjugado

O conjugado, também chamado torque, momento ou binário, é a medida do esforço necessário para girar um eixo.

É sabido, pela experiência prática que, para levantar um peso por um processo semelhante ao usado em poços - a força  $F$  que é preciso aplicar à manivela depende do comprimento  $l$  da manivela. Quanto maior for a manivela, menor será a força necessária. Se dobrarmos o tamanho  $l$  da manivela, a força  $F$  necessária será diminuída à metade.

Se o balde pesa 20 N e o diâmetro do tambor é 0,20 m, a corda transmitirá uma força de 20 N na superfície do tambor, isto é, a 0,10 m do centro do eixo. Para contrabalançar esta força, precisam de 10 N na manivela.

Se o comprimento  $l$  for o dobro, isto é, 0,40 m, a força  $F$  será a metade, ou seja 5 N.

Como vemos, para medir o “esforço” necessário para girar o eixo não basta definir a força empregada: é preciso também dizer a que distância do eixo a força é aplicada. O “esforço” é medido pelo conjugado, que é o produto da força pela distância,  $F \times l$ .

No exemplo citado, o conjugado vale:

$$C = F r = 20 \text{ N} \times 0,10 \text{ m} = 10 \text{ N} \times 0,20 \text{ m} = 5 \text{ N} \times 0,40 \text{ m} = 2,0 \text{ Nm}$$

### Relação entre conjugado e potência

Quando a energia mecânica é aplicada sob a forma de movimento rotativo, a potência desenvolvida depende do conjugado  $C$  e da velocidade de rotação  $n$ . As relações são:

$$P_{mec} = C \times \omega$$

onde:

$C$  = conjugado em Nm

$F$  = força em N



$l$  = braço de alavanca em m

$r$  = raio da polia em m

$v$  = velocidade de giro no diâmetro  $d$ , em m/s

$d$  = diâmetro da peça em m

$n$  = rotação em rpm

$\omega$  = velocidade angular, em rad/s.

### Medição do rendimento de um motor

O motor elétrico absorve energia elétrica da linha e a transforma em energia mecânica disponível no eixo. O rendimento define a eficiência com que é feita esta transformação.

Chamando “Potência útil”  $P_u$  a potência mecânica disponível no eixo e “Potência absorvida”  $P_a$  a potência elétrica que o motor retira da rede, o rendimento será a relação entre as duas, ou seja:

$$\eta(\%) = \frac{P_u}{P_a} 100$$

### Energia química

Podemos determinar o estado de uma bateria colocando-a em carga.

#### Medição do rendimento de uma bateria

De forma semelhante ao bóiler, mas neste caso precisamos calcular a quantidade de energia armazenada. A temperatura será correspondente à tensão da bateria?

### 1.4.6 Montagem de um multímetro analógico para corrente contínua

#### Características do instrumento BMIP

#### Medição de tensão - voltímetro

#### Ohmímetro - medição de resistência

## 1.5 Resumo de grandezas elétricas

$V$  - Tensão elétrica (voltagem ou d.d.p.), em Volts (V)

$I$  - Intensidade de corrente elétrica (A)

$P$  - Potência elétrica (W)

$$P = VI$$

$R$  - Resistência elétrica ( $\Omega$ )

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

com  $V$  fixa:  $P = \frac{V^2}{R}$

com  $I$  fixa:  $P = RI^2$

$S$  - Seção do condutor ( $\text{mm}^2$ )

$l$  - Comprimento de condutor, ida e volta, em metros (m)

$\rho$  - Resistividade

$\rho_{\text{Cobre}} = 1/58 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .  $\rho_{\text{Al}} = 1/36 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$W$  - Energia elétrica, em Joule ou kWh

1 kWh = 1000 Watts x 1 hora

## 1.6 Exercícios

1. Um condutor de cobre de 15.24 m de comprimento e  $3.31 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  de área de seção conduz uma corrente de 10 A. Calcular a resistência e a queda de tensão do condutor. Dados: Condutividade do cobre  $= 5.8 \times 10^7 (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$ .
2. Um condutor de seção reta uniforme e 150 m de extensão acha-se sujeito a uma variação de tensão de 1.3 V e uma densidade de corrente de  $4.653.31 \times 10^5 \text{ A/m}^2$ . Qual a condutividade do material no condutor?
3. Quanto custa uma iluminação de 2 lâmpadas de 40 W durante 15 horas, se o preço do kWh é de R\$ 0,09? Resposta: R\$ 0.108

## Chapter 2

# O ‘mundo’ das interações eletromagnéticas

*“existe um mundo novo e quero lhe mostrar  
que não se aprende em nenhum livro  
basta ter coragem pra? se libertar  
viver, sonhar .... ar”*  
(Hyldon, Na Sombra de uma Árvore)

Neste capítulo, apresentaremos os ‘nossos amigos’ **capacitor, indutor, gerador e transformador**, ao mesmo tempo que apresentaremos os princípios ou leis de seus funcionamento.

Prouramos organizar o assunto sem muitas fórmulas matemáticas. Entretanto, quando algumas **fórmulas** forem apresentadas, é porque pensamos que elas **são indispensáveis** para o entendimento dos fenômenos.

### 2.1 Força eletro motriz e o campo elétrico

Vimos que a força eletro motriz ou tensão é o potencial para o deslocamento de uma carga unitária. Abordaremos um pouco mais este assunto para apresentar o conceito de campo elétrico.

#### 2.1.1 A conservação da carga elétrica

Em 1747, Benjamin Franklin na América e William Watson (1715-1787) na Inglaterra independentemente chegaram a mesma conclusão: todos os materiais possuem um tipo único de “fluido elétrico” que pode penetrar no material livremente, mas que não pode ser criado e nem destruído. A ação da fricção simplesmente transfere o fluido de um corpo para o outro, eletrificando ambos. Franklin e Watson introduziram o princípio da conservação de carga: a quantidade total de eletricidade em um sistema isolado é constante.

Franklin definiu o fluido, que correspondia a eletricidade vítrea, como positiva e a falta de fluido como negativo. Portanto, de acordo com Franklin, a direção do fluxo (corrente) era do positivo para o negativo, porém atualmente sabe-se que o oposto é vem a ser verdade. Uma segunda teoria com base no fluido foi desenvolvida, subsequente, na qual amostras do mesmo tipo se atraem, enquanto aquelas de tipos opostos se repelem.

Franklin ficou conhecido com a Garrafa de Leyden, uma garrafa recoberta por dentro e por fora com folhas de estanho. Foi o primeiro Capacitor, um dispositivo utilizado para estocar carga elétrica. A Garrafa de Leyden poderia ser descarregada tocando o seu interior e seu exterior recoberto de estanho simultaneamente, causando um choque elétrico na pessoa. Se um condutor de metal fosse usado, uma faísca poderia ser vista e ouvida. Franklin tinha dúvidas de que o raio e o trovão eram um resultado de

uma descarga elétrica. Durante uma tempestade em 1752, Franklin empinou uma pipa que tinha uma extremidade de metal. No fim da chuva, na linha condutora de cânhamo da pipa empinada, ele atou uma chave de metal, na qual amarrou um barbante de seda não condutor que colocou em sua mão. O experimento foi extremamente arriscado, mas o resultado foi inconfundível: quando ele colocou os nós de seus dedos perto da chave, ele pode atrair faíscas para si. Os outros dois que tentaram esse experimento extremamente perigoso morreram.

### 2.1.2 O campo elétrico

Neste momento, já podemos afirmar que toda massa está sujeita a uma força gravitacional, enquanto toda carga elétrica está sujeita a uma força elétrica.

A fórmula análoga da força elétrica é

$$F = q E$$

onde  $E$  é o **Campo Elétrico** equivalente ao campo gravitacional  $g$ . Nos condutores metálicos, os elétrons são os portadores de carga que se deslocam em sentido contrário ao do campo elétrico aplicado.

Se colocarmos uma carga  $q$  em um ponto  $P$  do espaço, aparecerá uma força elétrica  $F$ , atuando sobre  $q$ . Para descrever este fato, dizemos que em qualquer ponto do espaço em torno de  $P$  existe um campo elétrico criado por outras cargas.

Devemos reforçar que o campo elétrico é criado por outras fontes, que não a carga  $q$ , que é submetida a uma força eletro motriz, e deslocada de um ponto a outro.

Para verificar se existe ou não campo elétrico num ponto do espaço, usamos uma carga de prova (ou carga de teste).

### 2.1.3 Lei de Coulomb

A busca da humanidade pela fonte de campo elétrico remonta desde a Idade Média. As experiências iniciaram pela isolação de cargas positivas e negativas.

Já era conhecido em 1600 que a força repulsiva ou atrativa diminuía quando as cargas eram separadas. Essa relação foi primeiro abordada de uma forma numericamente exata, ou quantitativa, por Joseph Priestley, um amigo de Benjamin Franklin. Em 1767, Priestley indiretamente deduziu que quando a distância entre dois pequenos corpos carregados é aumentada por um fator, as forças entre os corpos são reduzidas pelo quadrado do fator. Por exemplo, se a distância das cargas é triplicada, a força resultante diminui para um nono do valor anterior. Ainda que rigorosa, a prova de Priestley foi tão simples que ele mesmo não ficou plenamente convencido. O assunto não foi considerado encerrado até 18 anos depois, quando John Robinson, da Escócia, fez mais medidas diretas da força elétrica envolvida.

O físico francês Charles A. de Coulomb, cujo nome é usado para designar a unidade de carga elétrica. Este fato aconteceu depois de realizar uma série de experimentos, que adicionou importantes detalhes (bastante precisos) à prova de Priestley. Ele também desenvolveu a teoria de dois fluidos para cargas elétricas, rejeitando tanto a idéia da criação de eletricidade pela fricção e o modelo de um único fluido de Franklin.

Hoje a lei da força eletrostática, também conhecida como Lei de Coulomb, é expressa da seguinte forma: se dois pequenos objetos, separados por uma distância  $r$ , tem cargas  $q_1$  e  $q_2$  e estão em repouso, a magnitude da força  $F$  entre elas é dada por

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

onde  $k$  é uma constante. De acordo com o Sistema Internacional de Medidas, a força é medida em Newtons, a distância em metros, e a carga em Coulombs.

Também foi concluído que cargas de sinais opostos se atraem, enquanto aquelas que possuem o mesmo sinal se repelem. Um Coulomb (C) representa uma grande quantidade. Para manter um Coulomb positivo (+C) 1m de distância de um Coulomb negativo (-C) seria necessário uma força de 9 bilhões de Newtons. Uma nuvem eletricamente carregada típica pode caudar um raio que possui uma carga de 30 Coulombs.

#### 2.1.4 Linhas de força

O conceito de linhas de força foi introduzido pelo físico inglês M. Faraday, no século passado, com a finalidade de representar o campo elétrico através de diagramas.

Para que possamos compreender esta concepção de Faraday, suponhamos uma carga puntual positiva  $Q$  criando um campo elétrico no espaço em torno dela. Faraday imaginou que em cada ponto deste espaço temos um vetor, cujo módulo diminui à medida que nos afastamos da carga.

Se a carga criadora do campo for uma carga puntual negativa, sabemos que o vetor, em cada ponto do espaço, estará dirigido para esta carga.

No campo da carga positiva as linhas divergem a partir da carga e no campo de uma carga negativa as linhas convergem para a carga.

De maneira semelhante, podemos traçar várias outras linhas de força do campo elétrico criado pela combinação de várias cargas, constituindo um capacitor.

#### 2.1.5 Circuitos Elétricos

São associações de componentes elétricos com a finalidade de transmitir controladamente a potência elétrica que lhes é aplicada. Os constituintes elementares do circuitos elétricos são chamados de componentes. São eles:

**Resistores:** são componentes que fornecem uma resistência pré-determinada. Eles são constituídos por um pequeno cilindro de cerâmica em torno do qual é colocada uma fina camada de carvão, grafite ou uma mistura de carvão e boro. Nas extremidades do cilindro são colocados terminais de fio de cobre estanhado e então o resistor é coberto de uma camada protetora de esmalte especial.

**Capacitores:** são dispositivos capazes de armazenar energia elétrica sob forma estática. São constituídos por dois eletrodos condutores isolados por um dielétrico.

**Transformadores:** constam de dois ou mais indutores acoplados por um mesmo circuito magnético.

**Geradores Elétricos:** são dispositivos capazes de fornecer potência elétrica.

**Linhas de Transmissão:** são dispositivos destinados ao transporte de potência elétrica sob a forma de ondas eletromagnéticas.

**Válvulas Eletrônicas:** são dispositivos que consistem de dois ou mais eletrodos, mantidos em ambiente fechado, total ou parcialmente vacuofeito, entre os quais circulam correntes eletricamente controláveis pela excitação externa de um ou mais destes eletrodos. Foram quase que totalmente substituídas pelos transistores. Uma aplicação onde as válvulas predominam é em amplificadores para guitarras. E, ao contrário do que muita gente pensa, os guitarristas não preferem os amplificadores valvulados por terem estes uma resposta de frequência mais extensa. Justamente o contrário! Os amplificadores valvulados para guitarras pouco tem a ver com os amplificadores valvulados para alta-fidelidade (hi-fi). Uma das razões da preferência dos guitarristas é que a distorção produzida pelas válvulas é mais suave (menos harmônicos ímpares). Alguns guitarristas chegam mesmo a usar apenas a distorção do amplificador, sem recorrer a distorcedores do tipo em pedal. Quanto às distorções ditas mais "pesadas" (ou seja, com maior ganho), os amplificadores valvulados também proporcionam melhores resultados, pois sua resposta limitada em altas frequências (combinada com o uso habitual de alto-falantes de 12 polegadas - sem tweeters) atenua um pouco as frequências mais altas, "limpando" (subjettivamente falando) o som.

**Transistores:** são dispositivos simplificados baseados no comportamento elétrico de semicondutores. Eles são responsáveis pela amplificação dos sinais nos circuitos. Substituem as válvulas, hoje em dia, na

maioria das aplicações.

### 2.1.6 Capacitor

O capacitor é um componente eletrônico capaz de armazenar e fornecer cargas elétricas. Ele é formado por duas placas paralelas, separadas por um material isolante, chamado dielétrico. Quando o ligamos a uma tensão fixa, momentaneamente passa por ele uma pequena corrente, até que suas placas paralelas fiquem carregadas. Uma fica com cargas negativas (elétrons) e outra com cargas positivas (falta de elétrons).

Existem vários tipos de capacitores, e as principais diferenças estão nos valores e nas tensões elétricas suportadas. Um capacitor que vai ser ligado a uma tensão de 50 volts deve ser maior que outro de mesmo valor mas que vai ser ligado a uma tensão de apenas 10 volts. Um capacitor sofre ruptura do dielétrico quando é ligado a uma tensão mais elevada que a especificada. Em outras palavras, ele explode!

O valor de um capacitor é chamado de capacitância. A grandeza usada para medi-la é o faraday, cujo símbolo é F. O faraday é uma unidade muito grande para medir os capacitores da vida real. Um capacitor de 1F seria imenso. Encontramos na prática capacitores medindo algo da ordem de milésimos ou milionésimos do faraday. Por isso é mais comum usar o microfaraday ((F) para medir os capacitores. Um capacitor de 4700 (F, por exemplo, é considerado de tamanho relativamente grande para um circuito eletrônico. Ainda assim existem os chamados supercapacitores, que possuem capacitâncias da ordem de alguns faradays, entretanto não são empregados em circuitos eletrônicos devido ao seu grande tamanho.

Os capacitores têm várias aplicações nos circuitos eletrônicos. Um das principais é a filtragem. Eles podem acumular uma razoável quantidade de cargas quando estão ligados a uma tensão. Quando esta tensão é desligada, o capacitor é capaz de continuar fornecendo esta mesma tensão durante um pequeno período de tempo, funcionando portanto como uma espécie de bateria de curta duração.

Em qualquer placa de circuito, encontramos pequenos capacitores ao lado de cada chip. São chamados de capacitores de desacoplamento. Uma das características elétricas dos chips é que de um instante para outro podem aumentar substancialmente a quantidade de corrente consumida. A fonte de alimentação nem sempre tem condições de responder ao fornecimento de corrente com a rapidez necessária (em geral em bilionésimos de segundo), e o resultado é uma pequena queda de tensão próxima ao chip que está solicitando este aumento de corrente. O capacitor de desacoplamento tem condições de fornecer rapidamente a corrente elevada que o chip exige, dando tempo à fonte para se adaptar ao novo patamar de corrente. Os capacitores de desacoplamento funcionam portanto como pequenas baterias axiliares, ajudando a fonte de alimentação no fornecimento de corrente para os chips.

Um capacitor não precisa necessariamente ter placas paralelas e um dielétrico. Qualquer objeto possui uma capacitância. O corpo humano, por exemplo, pode funcionar como um capacitor de baixo valor, mas ainda assim capaz de armazenar cargas elétricas. É o que chamamos de eletricidade estática.

Capacitores também têm grandes aplicações em circuitos de rádio. Eles não permitem a passagem da corrente contínua, já que seu dielétrico é um isolante, mas permitem a passagem de tensões alternadas. Como a corrente alternada trafega ora no sentido direto, ora no sentido inverso, um capacitor pode ora se carregar positivamente, ora negativamente, deixando que a corrente alternada o "atravesse". Quanto mais alta é a frequência da corrente alternada, mais facilmente ela atravessa o capacitor. Eles podem assim ser usados como filtros, barrando as frequências baixas e deixando passar as frequências altas.

Quando são necessárias capacitâncias elevadas, são utilizados capacitores eletrolíticos de alumínio ou tântalo. Os capacitores eletrolíticos de alumínio são muito usados em fontes de alimentação, em circuitos de som, rádio e TV, e até em placas de computador. Entretanto para as placas de computador é mais recomendável usar os capacitores de tântalo. Eles são mais caros, porém são mais duráveis e de menor tamanho. São muito usados em discos rígidos e telefones celulares, mas também os encontramos sendo usados como capacitores de desacoplamento do processador, nas placas de CPU. Infelizmente para economizar, muitos fabricantes de placas de CPU usam capacitores eletrolíticos de alumínio, ao invés de tântalo. Isso poderia ser aceitável, se levassem em conta a vida útil do capacitor. Existem capacitores eletrolíticos com

duração de 10.000 horas, outros com 5.000 horas, outros com apenas 1.000 horas, que são mais baratos. Placas de CPU de baixo custo e baixa qualidade usam muitos componentes inadequados, sobretudo capacitores de baixa qualidade. Placas de CPU feitas por fabricantes comprometidos com a qualidade utilizam capacitores de tântalo ou então eletrolíticos de alumínio de longa duração.

O capacitor, um descendente da Garrafa de Leyden, é um dispositivo capaz de armazenar trabalho elétrico ou estocar carga. Se uma carga  $Q$  é deslocada entre placas de metal a voltagem sobe para uma quantidade  $V$ . A medida utilizada para medir o quanto de carga um capacitor pode estocar é a Capacitância  $C$ , onde

$$Q = C V$$

A carga flui de um capacitor da mesma forma que na bateria, mas com uma diferença significativa. Quando a carga deixa as placas do capacitor, não é possível obter mais carga sem recarregar o dispositivo. Isso acontece devido o caráter conservativo da força elétrica. A energia liberada não pode exceder a energia estocada. Essa capacidade para realizar trabalho foi denominada de Potencial Elétrico.

A energia elétrica  $W$ , em Joules, armazenada num capacitor é:

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

onde  $V$  é a tensão instantânea entre os terminais do capacitor.

Por exemplo, um capacitor de  $10\mu\text{F}$  com  $100\text{V}$  nos seus terminais terá a energia de

$$W = \frac{1}{2} 10 \times 10^{-6} 10^4 = 5 \times 10^{-2} \text{ Joules}$$

Fazendo a transformação de Joule para kWh

$$1\text{kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{J},$$

teríamos o valor de  $W = 5/3,6 \times 10^{-8} \text{kWh}$ . Mas como esta energia não pode ser convertida diretamente em trabalho (movimento, calor, luz, etc), ela é chamada de energia reativa de um circuito de corrente alternada (ver capítulo específico).

### Exemplo

Num circuito de **corrente alternada**, a energia absorvida por um capacitor num determinado intervalo de tempo (meio período) será devolvida para o circuito elétrico num outro intervalo de tempo (meio período seguinte). A quantidade total de energia trocada de um capacitor com o circuito elétrico é denominada de **energia reativa capacitiva**. Normalmente, a leitura é feita a cada 30 dias. Ela é medida e expressa em kVA<sub>rh</sub> (lê-se ‘ca-vê-A-erre-hora’). O símbolo para esta energia é  $Q$ .

No exemplo anterior, a energia reativa capacitiva armazenada e trocada com o circuito em meio período é  $Q_{1/2T} = 18 \times 10^{-8} \text{kVA}_{rh}$ . Para calcular o consumo mensal basta multiplicar pelo número de períodos de um mês. Então:

$$Q = 5/3,6 \times 10^{-8} \times 30 \times 24 \times 3600 \times 60 = 2,16 \text{ kVA}_{rh}$$

## 2.2 Magnetismo

Nesta seção, estudaremos o circuito magnético com ímãs, sem envolver corrente.

O mais antigo livro de Medicina que se conhece, escrito cerca de 1000 anos antes de Cristo - o “Livro de Medicina Interna do Imperador Amarelo” - faz referência ao uso do magnetismo nas artes da cura. Há evidências, em obras hindus, egípcias e persas, de que as propriedades da magnetita eram conhecidas mesmo em épocas ainda mais remotas.

Quando se descobriu a eletrização por atrito, começou-se a suspeitar de uma possível relação entre esse fenômeno e o magnetismo, já que ambos apresentavam a característica da atração. Mas não existiam meios para investigar se a suposição tinha fundamento.

Tendo observado que pedaços de magnetita, quando em formas mais ou menos semelhantes a cilindros ou barras, apresentavam a tendência de se orientar na direção (aproximada) norte-sul, os chineses inventaram a bússola. Originalmente as bússolas não possuíam indicadores delgados como as atuais "agulhas imantadas"; tinham uma base em feitio de tigela rasa, sobre a qual repousava uma "concha de sopa" feita de magnetita. Essa concha era construída de tal maneira que o cabo não se apoiava na beirada da tigela, mas ficava livre para se mover, e sempre acabava apontando no sentido sul.

Nos séculos seguintes descobriram-se alguns fatos intrigantes: os ímãs (que nada mais eram do que os tais cilindros ou barras de magnetita) dispõem de "pólos", em número de dois, e opostos. O comportamento de dois ímãs, ao serem aproximados, depende dos tipos de pólos em aproximação: os opostos se atraem e os semelhantes se repelem. E talvez o maior mistério de todos: não se podem obter pólos isolados ("monopolos magnéticos")! Sempre que um ímã é quebrado, instantaneamente aparecem pólos opostos nas extremidades partidas. Cada fragmento do ímã original é também um ímã completo, não importando em quantos pedaços tenha sido quebrado - ou esmigalhado - o primeiro.

A relação entre eletricidade e magnetismo, comprovada em 1820, autorizou Ampère a sugerir a existência de correntes elétricas microscópicas e permanentes na matéria imantada. Quanto ao fenômeno da orientação espontânea na direção (aproximada) norte-sul, a hipótese de que o planeta Terra é um grande ímã, como sugeriu William Gilbert, parece razoável: uma vez que pólos diferentes se atraem, o sul magnético da Terra atrai o norte do ímã, e vice-versa. Maricourt batizou os pólos do ímã de acordo com o sentido para o qual apontavam; concluímos então que o norte geográfico corresponde (aproximadamente) ao sul magnético da Terra, e vice-versa. Só falta descobrir o que está provocando o magnetismo do planeta. Por volta de 1600 Gilbert ainda pensava em "eflúvios" na tentativa de entender o magnetismo, mas, um século depois, idéias semelhantes a essa estavam banidas do pensamento científico devido ao prestígio da obra publicada por Isaac Newton em 1687, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural), um tratado de Mecânica Clássica que incluía a Teoria da Gravitação Universal.

Essa teoria, que teve grande sucesso em explicar fenômenos até então incompreendidos, passou a ser aceita livremente, e a filosofia na qual se baseava acabou sendo estendida a campos não abrangidos por ela, como por exemplo a Eletricidade e o Magnetismo.

O fato é que a Teoria da Gravitação Universal de Newton supunha a atração gravitacional como uma força que agia à distância - ou seja, sem necessidade da existência de coisa nenhuma entre os dois corpos em interação. Dispensava eflúvios, almas, ou qualquer coisa que emanasse dos objetos. Bastava haver um corpo de massa  $m_1$  aqui, outro de massa  $m_2$  ali, e pronto! os dois atraíam-se instantaneamente com uma força proporcional ao produto das massas, e inversamente proporcional ao quadrado da distância.

A respeitabilidade (até hoje indiscutível) dos trabalhos de Newton influenciou o modo de pensar dos outros estudiosos, e foram elaboradas fórmulas parecidas com a da Lei da Gravidade tanto para as interações magnéticas (John Michell, 1750) quanto para as interações elétricas (Augustin Coulomb, 1785). Hoje se sabe que essas expressões - baseadas não só na Mecânica de Newton como também em cuidadosas medições - não estão erradas; no entanto (como a própria teoria em que foram inspiradas), são úteis em um número limitado - embora grande - de casos, não tendo validade universal.

As evidências da correlação entre eletricidade e magnetismo, obtidas por Oersted, Faraday e outros, eram experimentais (fundamentadas em experiências), sem sustentação em nenhuma teoria que lhes desse legitimidade matemática. Essa teoria - o Eletromagnetismo - foi construída depois por James Clerk Maxwell, que se baseou principalmente nos experimentos de Faraday, e na sua própria criatividade e erudição.



### 2.2.1 Uso do magnetismo pela humanidade

Existem indícios, na antiga literatura de vários povos (hebreus, árabes, hindus, egípcios e chineses), de que o fenômeno do magnetismo é conhecido há alguns milhares de anos.

A magnetita era usada com finalidades terapêuticas; as doenças tratadas iam desde reumatismo e espasmos musculares (câimbras) até prisão de ventre. Os médicos chineses usavam as pedrinhas magnéticas juntamente com a acupuntura, na tentativa de aliviar dores e de restabelecer a saúde de seus pacientes.

Quando a bússola foi inventada, seu uso não se destinava à orientação dos viajantes, mas sim à prática do Feng Shui, uma arte chinesa exercida ainda hoje. Os praticantes do Feng Shui acreditam que a construção de edifícios, túmulos e monumentos, e também a disposição dos móveis e objetos dentro destes, devem obedecer a uma certa orientação em relação aos pontos cardeais. O objetivo é harmonizar os ambientes para a obtenção de bem-estar e felicidade.

Atualmente comercializam-se muitos objetos magnéticos para tratamento de saúde: braceletes, calçados, adesivos, colchões, etc. Porém não há, até agora, nenhuma evidência científica (isto é, obtida por meio do "método científico") de que esses métodos sejam realmente eficazes.

Os fenômenos magnéticos são largamente utilizados no desenvolvimento de novas tecnologias desde sistemas de geração e distribuição de energia hidrelétricas, entre outros outros sistemas de conversão eletromecânica.

Embora o magnetismo não receba a ênfase necessária no ensino médio, está muito presente em nossa vida, pois desde o ímã que colocamos na porta da geladeira até a memória do HD (hard disk) do computador, ou mesmo as fitas cassete que utilizamos para armazenar as nossas músicas preferidas utilizam fenômenos e materiais magnéticos.

A palavra magnetismo está associada ao nome de uma cidade da região da antiga Turquia que era rica em minério de ferro: a Magnésia.

Provavelmente foram os gregos quem primeiro refletiram sobre as propriedades da magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Este mineral, que no seu estado natural frequentemente tem o poder de atrair o ferro e outros metais, era extraído na província da Magnésia.

A primeira aplicação tecnológica magnética foi a bússola. Foi introduzida na China no século XIII e os pioneiros na sua utilização foram os Árabes. Entretanto todos concordam que a bússola era certamente conhecida no oeste da Europa por volta do século XII, pois a primeira referência sobre a sua utilização foi feita por Alexander Neckma.

Os óxidos resultam da combinação do oxigênio com metais e metalóides, já os hidróxidos são definidos pela presença da hidroxila como elemento essencial e podem ser subdivididos de acordo com a relação do oxigênio com os cátions. Dessa forma podem ser classificados em óxidos simples, óxidos múltiplos, óxidos contendo hidroxila e hidróxidos, etc. Esta classe de minerais que corresponde a quase 4% do volume da crosta terrestre, constitui as principais jazidas de minério de ferro (hematita, **magnetita** e goethita) de cromo (cromita); manganês (pirolusita, manganita, criptomelana e psilomelana), de estanho (cassiterita), de alumínio (bauxita) e de titânio (anatásio, ilmenita e rutilo).

### 2.2.2 Os pólos norte e sul

Há muitos séculos atrás, o homem descobriu certa pedra que era capaz de atrair outras pedras iguais a ela. Naquele tempo, evidentemente, não se podia compreender como isso acontecia, nem porque. A coisa ficou apenas como curiosidade. Na verdade, não era bem uma pedra, mas um minério de algum metal até então desconhecido. Ainda hoje, de vez em quando encontramos grandes concentrações desse minério, em alguns lugares da terra.

Mais tarde, constatou-se que um pedaço dessa pedra, com a forma de um estilete, colocada sobre uma madeira e posta a flutuar sobre a água, apontava sempre para o norte. Estava inventada a primeira bússola.

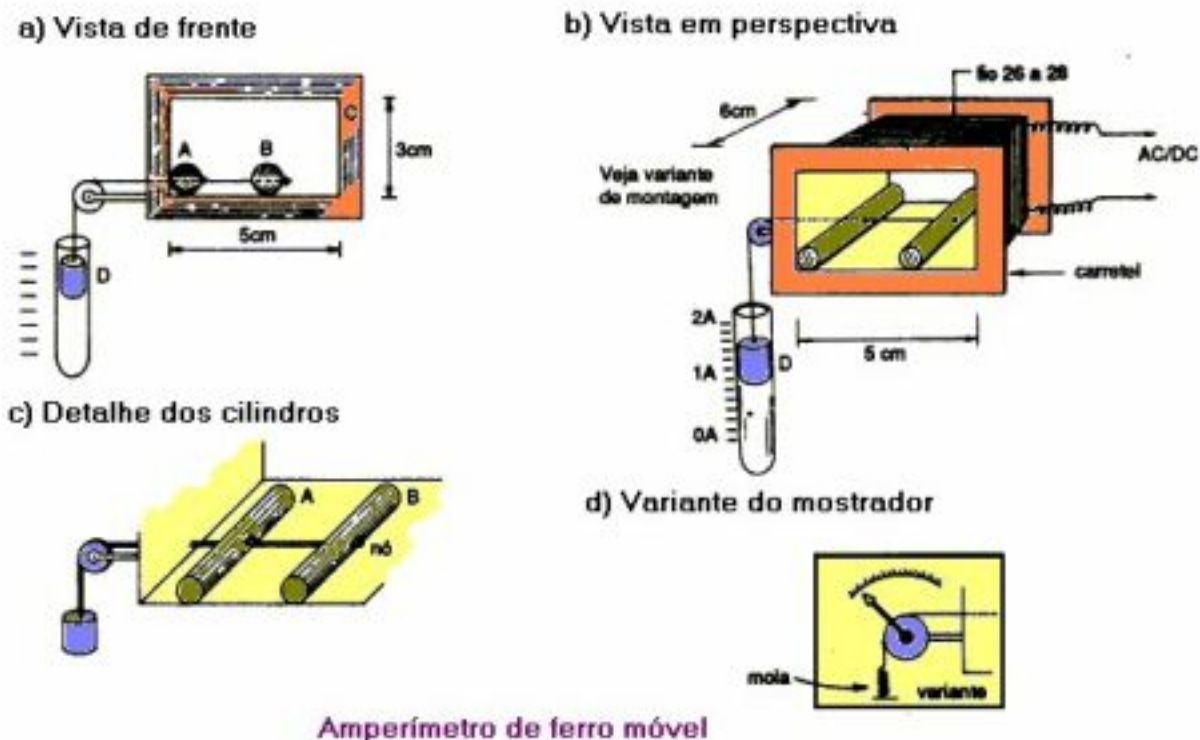


Figure 2.1: Amperímetro de ferro móvel.

Por causa dessa ação, uma das pontas da pedra era chamada **norte** e a outra, **sul**. Notaram também que pólos de mesmo nome se repelem e de nomes contrários se atraem.

Como a força de atração e repulsão variava com a posição dos ímãs, onde existiam linhas em que a força era constante, Faraday imaginou as **linhas de força**. Todo o espaço onde elas existem chamamos de **campo magnético**.

Essas linhas atravessam todo o espaço e qualquer corpo que esteja em seu caminho. *Atenção meu jovem: você está sendo atravessado por linhas de força!* Quando o corpo é magnético elas mudam de direção.

As linhas de força do campo magnético saem do pólo norte e chegam no pólo sul.

### 2.2.3 Um ímã num campo magnético - medidor de ferro móvel

O objetivo desta experiência é demonstrar a força magnética entre dois metais imantados, e destacar o princípio de funcionamento dos medidores de ferro móvel. Vamos ver também que a passagem da corrente pela bobina produz um campo magnético.

Colocam-se dois cilindros de ferro doce A e B colocados no interior da bobina C de secção 3x5x6 cm. O cilindro A tem um orifício na sua região central, por onde passa um cordel cujas extremidades estão amarradas nos cilindros B e D. Observe que, quando B se afasta de A, o contra-peso D sobe dentro do tubo de ensaio (que é fixo numa prancheta com escala). O esquema mecânico poderia ter um contrapeso para compensar o atrito.

Ao passar corrente elétrica pela bobina, os cilindros imantam-se com polaridades iguais em cada extremo, por isso, repelem-se. A força de repulsão é proporcional à intensidade da corrente elétrica. Podemos aferir a posição do contra-peso D para indicar tais valores de correntes. Esse amperímetro de ferro móvel

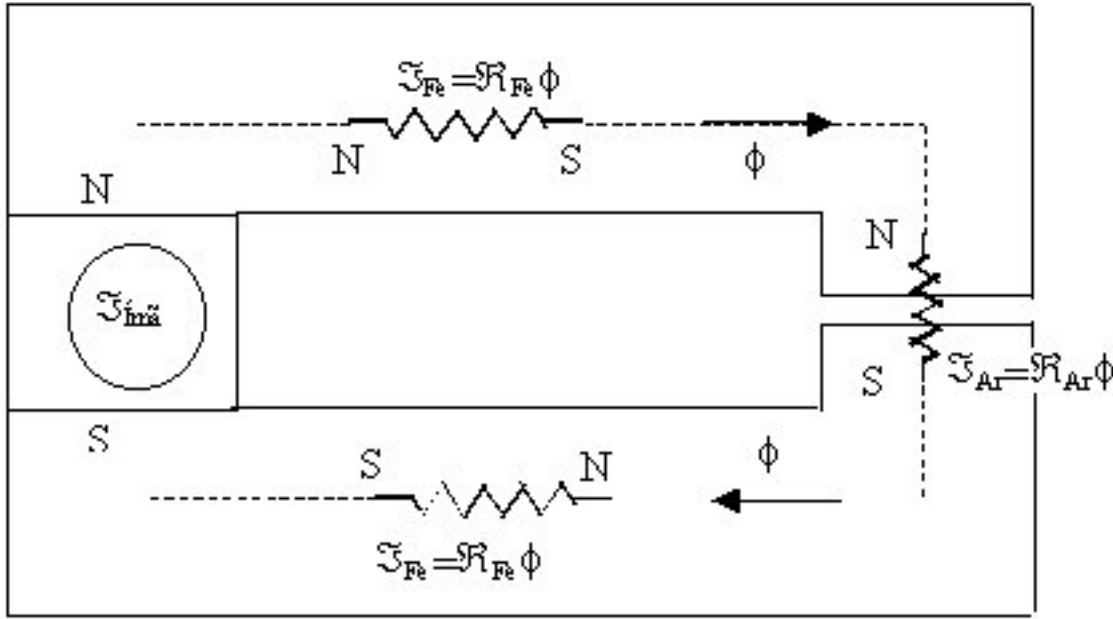


Figure 2.2: Ímã permanente inserido num circuito magnético

funciona tanto com AC como com DC.

#### 2.2.4 Força magneto motriz - Pólos magnéticos

Já vimos que uma carga elétrica com um campo elétrico  $E$  ao seu redor fica sujeita a uma força elétrica. Podemos fazer uma analogia com o magnetismo, afirmando que:

**Quando uma carga magnética estiver sujeita a uma campo magnético  $H$  vai sofrer uma força magnética.**

As cargas magnéticas são denominadas pólos magnéticos.

O comportamento dos materiais magnéticos em um campo magnético externo é determinado pela origem de seus dipolos magnéticos e pela natureza da interação entre eles. Os dipolos magnéticos têm origem no momento angular orbital e no spin dos elétrons nos íons ou átomos que formam a matéria.

Todo pólo magnético imerso num campo magnético sofre a ação de uma força magnética.

#### 2.2.5 Fluxo magnético

Na figura 2.2 observa-se os símbolos de algumas variáveis, que definiremos como:

$l_m$  - comprimento do caminho magnético [m];

$S_m$  - seção do circuito magnético [m<sup>2</sup>];

$\phi$  - fluxo magnético [Wb];

$\Gamma$  - força magneto motriz [A];

$R$  - relutância magnética [A/Wb] ou [1/H]

$$\phi = \frac{\Gamma}{R}$$

### 2.2.6 Indução ou densidade de fluxo magnético

Enquanto  $\vec{H}$  é relacionado com a corrente que cria o campo ou a força magneto motriz,  $\vec{B}$  depende da força magneto motriz e da magnetização ou permeabilidade magnética do meio.

$$B = \frac{\Gamma}{S_m}$$

$B$  - indução magnética ou densidade de fluxo em Weber/m<sup>2</sup> [T] (Tesla).

### 2.2.7 Campo magnético

O campo magnético  $H$ , em [A/m], é:

$$H = \frac{\Gamma}{l_m}$$

Os fenômenos magnéticos podem ser expressos por duas grandezas:

- a) o fluxo magnético  $\phi$  ou o vetor indução magnética  $\vec{B}$ , conhecido como densidade de fluxo; e,
- b) a força magneto motriz ou o vetor intensidade de campo magnético  $\vec{H}$ .

### 2.2.8 Permeabilidade magnética

É uma das mais importantes propriedades dos materiais elétricos. Ela está associada com a indutância elétrica. A indutância  $L$ , e sua unidade Henry [H] será vista ainda neste capítulo..

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

$\mu$  - permeabilidade magnética [H/m];

$\mu_0$  - permeabilidade absoluta, do ar e de materiais não ferromagnéticos (cobre, alumínio, etc);

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

$\mu_r$  - permeabilidade relativa, que está na faixa de 1000 para o Ferro.

### 2.2.9 Relutância magnética

A relutância magnética é inversamente proporcional à permeabilidade, e é dada pela equação:

$$R = \frac{1}{\mu} \frac{l_m}{S_m}$$

A tabela 2.1 apresenta a analogia de circuito elétrico e magnético.

## 2.3 Eletro + magnetismo = interação entre os campos

Vimos, nestes dois primeiros capítulos, estudamos dois circuitos separados:

1. Circuito elétrico - o campo elétrico ou a f.e.m. (criado por cargas elétricas) exerce uma força sobre íons ou elétrons livres, que os coloca em movimento, denominada de corrente elétrica. A resistência a esse fluxo de cargas foi chamada de resistência elétrica.
2. Circuito magnético - o campo magnético gerado por um ímã atua sobre ímãs. A f.m.m., a relutância e a quantidade de fluxo magnético formam o circuito magnético básico.

Agora, vamos ver como se interagem estes dois sistemas.

Table 2.1: Comparação entre circuito elétrico e magnético.

Elétrico			Magnético		
Grandeza	Simb.	Unid.	Grandeza	Simb.	Unid.
Corrente	$I$	A	Fluxo magnético	$\phi$	Wb
f.e.m.	$V$	V	f.m.m.	$\Gamma$	A
resistência	$R$	$\Omega$	relutância	$\mathfrak{R}$	$\text{H}^{-1}$
campo elétrico	$\vec{E}$	V/m	campo magnético	$\vec{H}$	A/m
indução elétrica	$\vec{D}$	C/m <sup>2</sup>	indução magnética	$\vec{B}$	Wb/m <sup>2</sup>
capacitância	$C$	F	indutância	$L$	H

### 2.3.1 Corrente elétrica produz campo magnético

Se você quiser fazer um prego transformar-se num ímã, bastará somente passar ao seu redor um fio, com várias voltas. Ligando esse fio a uma bateria (ou fonte), poderá constatar que o seu prego está imantado, com propriedades de ímã. Aproxime-o de uma porção de alfinetes e verá como eles são atraídos.

O campo magnético é um vetor, isto é, possui módulo, direção e sentido. Vamos ver cada um destes componentes:

1. As linhas de força do campo magnético giram em torno do fio, formando anéis, onde a corrente passa pelo centro do anel.
2. O campo magnético que se forma é dependente diretamente da corrente que passa pelo fio. Quanto maior a corrente ou o número de voltas do fio, maior o campo magnético resultante. A **intensidade do campo** em cada anel é **inversamente proporcional ao raio** do anel.
3. O sentido é dado pela regra da mão direita.

Por ser a fonte do magnetismo também, a corrente é a ligação entre eletricidade e magnetismo. Em 1819 o físico dinamarquês Hans Christian Oersted descobriu que uma agulha de bússola era afetada pela passagem de corrente em um fio. Quase que imediatamente, Andre Ampère na França descobriu a lei da força magnética. Michael Faraday na Inglaterra e Joseph Henry nos Estados Unidos adicionaram a ideia da indução magnética, pelo qual uma variação do campo magnético produz um campo elétrico. Esse foi o início para a formulação da teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell.

Hans Christian Oersted chegou à descoberta de que uma corrente elétrica produz um campo magnético ao seu redor. Contrariando a descrição popular, mostra-se que Oersted estava procurando conscientemente uma relação entre eletricidade e magnetismo, há vários anos, e já havia tentado várias vezes influenciar uma bússola através de uma corrente elétrica, sem obter sucesso, pois colocava o fio em uma posição inadequada. As propriedades de simetria do fenômeno dificultaram a descoberta, e trouxeram depois problemas à sua compreensão.

OERSTED, Hans Christian. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. Cadernos de História e Filosofia da Ciência (10): 115-22, 1986.

### Equação do campo num circuito magnético

Considere o circuito magnético da figura 2.2, onde o ímã seja substituído por uma bobina de  $N$  espiras e uma corrente elétrica  $i$ . A f.m.m. será:

$$\Gamma = N i$$

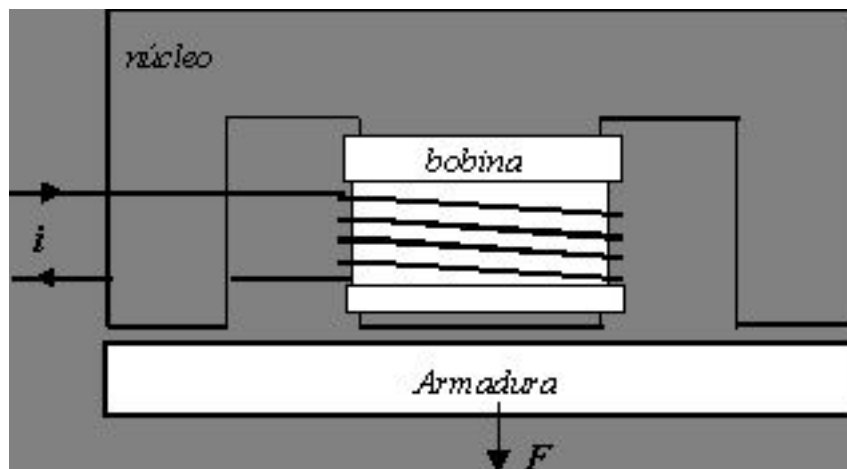


Figure 2.3: Experiência para obtenção da curva força x corrente - núcleo, bobina e armadura.

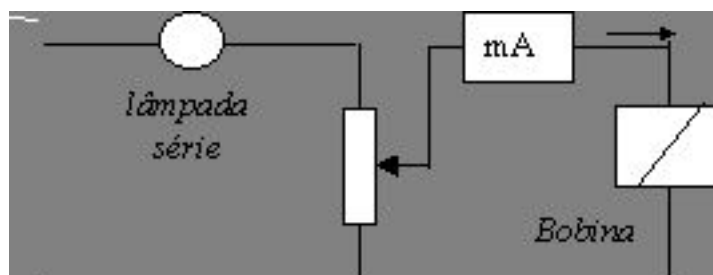


Figure 2.4: Experiência para obtenção da curva força x corrente - ligação da bobina.

O campo magnético produzido pela bobina, num trecho de comprimento  $l$ , será:

$$H = \frac{\Gamma}{l_m} = \frac{N i}{l}$$

### Curva experimental corrente x força

Nesta experiência, iremos obter um gráfico com a curva corrente - força magnética. Para isto, precisamos de uma contatora, onde se retira a bobina e a armadura. Um circuito externo faz a variação da corrente, e uns pesos calibrados fazem a quantificação da força.

Qual a forma da curva corrente x força? Por que?

### 2.3.2 Campo magnético exerce força sobre a corrente elétrica

Neste enunciado encontramos as respostas à experiência anterior.

É o princípio dos motores elétricos.

### 2.3.3 Fluxo magnético variável induz f.e.m. no circuito elétrico

Sabemos que a passagem de uma corrente elétrica cria um campo magnético em torno do condutor através do qual ela flui. Esta descoberta de Oersted em 1819 levou os cientistas a desejar saber se também poderia ser possível, de alguma forma, inverter o processo e excitar o fluxo de corrente num circuito

por meio de um campo magnético. As experiências iniciais para demonstrar tal efeito não foram bem sucedidas porque a princípio não se sabia que os fluxos magnéticos estacionários não induzem qualquer fluxo de energia magnética (f.e.m) ou fluxo de corrente num circuito (f.c.c). somente por volta de 1831 descobriu-se que uma corrente elétrica poderia ser gerada magneticamente, mas que tal efeito é observado apenas quando o fluxo magnético através do circuito varia com o tempo. Este efeito é referido como indução eletromagnética, e as correntes e f.e.m. induzida. A indução eletromagnética foi descoberta de forma independente e praticamente simultânea pelo físico britânico Michael Faraday (1791 - 1867) e por Joseph Henry (1797 - 1878), que foi o primeiro de uma longa série de físicos americanos de renome. Ambos observaram que quando uma corrente que varia no tempo flui num dado circuito, o próprio campo magnético do circuito atua para induzir uma f.e.m. neste mesmo circuito, cujos efeitos são oposto à f.e.m. externa que faz a corrente variar em primeiro lugar. Este efeito é geralmente chamado de auto - indução. Eles estudaram também as f.e.ms. e as f.e.m. menor, que variasse com o tempo, numa bobina próxima e acharam que as f.e.ms. muito grandes, induzidas, poderiam ser excitadas numa bobina que tivesse um grande numero de voltas de fios, por uma f.e.m. menor, que variasse com o tempo, numa bobina que consistisse de relativamente poucas voltas. Deste modo, eles construíram as primeiras bobinas de indução, as contrapartes precisas das usadas nos carros movidos a gasolina para excitar as velas, e inventaram os princípios sobre as quais o transformador opera.

A física básica que constituiu o fundamento de força eletromotrizes e corrente induzidas através da variação de fluxo magnético pode ser entendida considerando-se exemplo onde estão sujeitos a fluxo magnéticos que varia com o tempo.

Os resultados experimentais de Faraday e Henry, no que diz respeito a produção de f.e.m. e correntes induzidas, podem ser resumidos na seguinte observação: sempre que há um fluxo magnético que varia com o tempo através de um circuito, uma f.e.m é induzida no circuito, sendo o modulo desta diretamente proporcional à taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo.

Essa definição é conhecida como **lei de indução de Faraday**.

As origens do campo magnético podem ser:

- a) Pólos magnéticos
- b) Cargas elétricas em movimento, que é uma corrente elétrica.

Uma corrente elétrica cria um campo magnético  $H$ , e um fluxo magnético variável cria um campo elétrico  $E$ .

### Princípio de funcionamento dos alternadores

Todo dispositivo cuja finalidade é produzir energia elétrica à custa de energia mecânica constitui uma máquina geradora de energia elétrica. O funcionamento dessas máquinas se baseia na indução eletromagnética (como no caso do disco de Faraday). Nas aplicações industriais a energia elétrica provém quase exclusivamente de geradores mecânicos cujo princípio é o fenômeno da indução eletromagnética (e dos quais o disco de Faraday é um simples precursor); os geradores mecânicos de corrente alternada são também denominados alternadores; os geradores mecânicos de corrente contínua são também denominados dínamos. Vale, desde já, notar que: “dynamo” de bicicleta não é dynamo e sim ‘alternador’.

Numa máquina elétrica (seja gerador ou motor), distinguem-se essencialmente duas partes, a saber: o estator, conjunto de órgãos ligados rigidamente à carcaça e o rotor, sistema rígido que gira em torno de um eixo apoiado em mancais fixos na carcaça. Sob ponto de vista funcional distinguem-se o indutor, que produz o campo magnético, e o induzido que engendra a corrente induzida. No dynamo o rotor é o induzido e o estator é o indutor; nos alternadores dá-se geralmente o contrário.

A corrente induzida produz campo magnético que, em acordo com a **Lei de Lenz**, exerce forças contrárias à rotação do rotor; por isso em dínamos e alternadores, o rotor precisa ser acionado mecanicamente. O mesmo concluímos do Princípio de Conservação da Energia: a energia elétrica extraída da máquina, acrescida de eventuais perdas, é compensada por suprimento de energia mecânica.

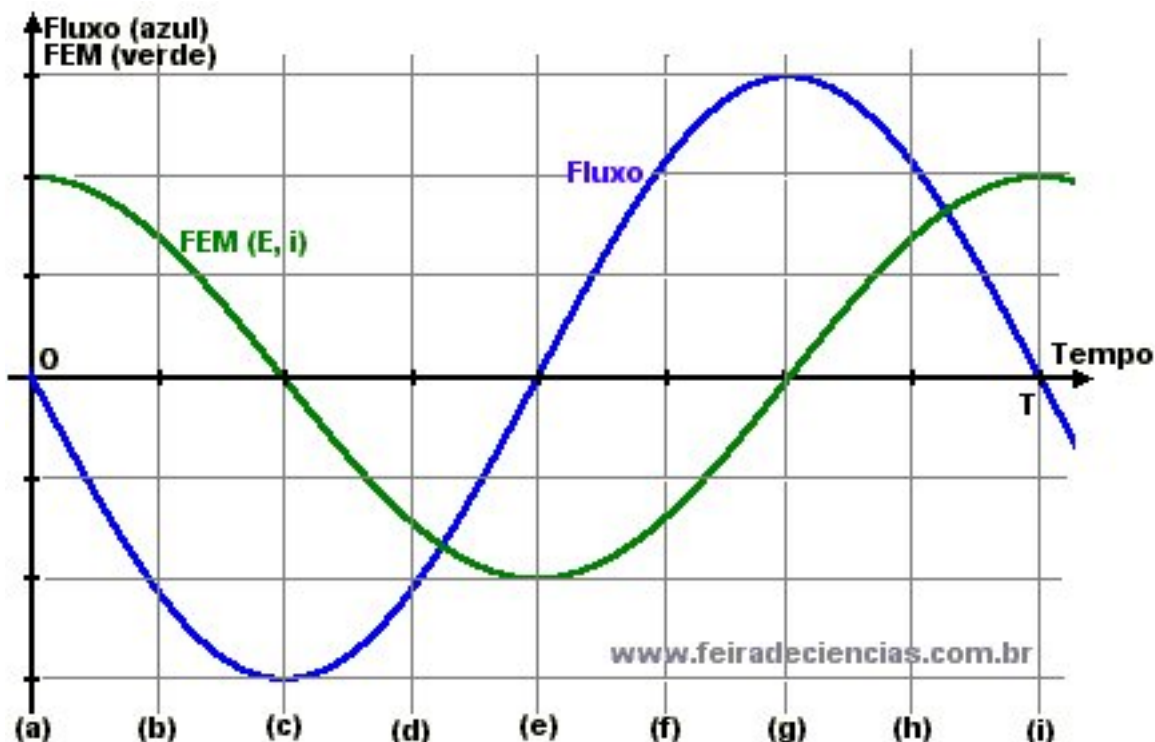


Figure 2.5: Curva de Fluxo e f.e.m. induzida na bobina em um alternador, em um período  $T$ .

É a variação de fluxo que induz uma f.e.m. O fluxo varia enquanto aumenta ou diminui. Quando o fluxo é máximo, ele não varia; a FEM induzida é nula; a corrente é nula e muda de sentido. O campo magnético produzido pela corrente induzida exerce no ímã forças contrárias a sua rotação.

Observe-se que enquanto o fluxo é uma senoide defasada de 180 graus, a f.e.m. induzida é cossenoidal.

### Força eletro motriz induzida $E$

Consideremos uma espira plana de forma qualquer, abrangendo uma área  $A$ ; seja  $\lambda$  uma reta no plano desta espira. Introduzamos a espira em um campo de indução  $B$  uniforme, dispondo a reta  $\lambda$  perpendicularmente ao campo  $B$ . Façamos a espira girar em torno da reta  $\lambda$  como eixo, com velocidade angular  $\omega$  constante. Determinemos a força eletromotriz induzida na espira girante.

Adotemos como origem dos tempos um dos instantes em que a normal  $n$  à espira forma com o campo de indução  $B$  ângulo igual a um reto, passando de agudo para obtuso. Assim, o fluxo de indução na espira em qualquer instante é dado por:

$$\phi = BA \cos(\omega t + \pi/2) = -B A \sin \omega t$$

Sendo

$$E = \omega B A \cos \omega t$$

Se a espira for substituída por uma bobina de  $N$  espiras, a força eletromotriz induzida é:

$$E = N \omega B A \cos \omega t$$

Como vemos, esta força eletromotriz induzida obedece a uma lei harmônica cuja amplitude é:

$$E = N \omega B A$$



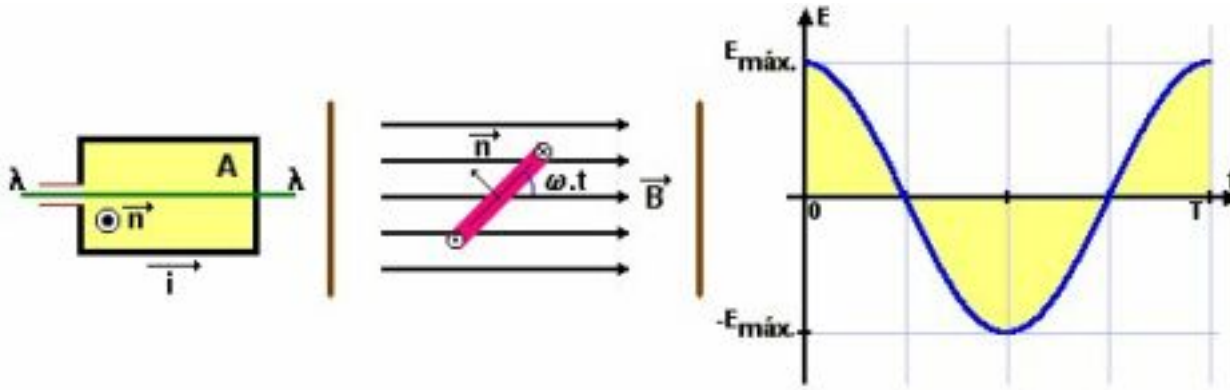


Figure 2.6: F.e.m. induzida em função do tempo

Em função do tempo, a força eletromotriz induzida tem a representação cartesiana dada na ilustração acima (figura da direita). A mudança de sinal da força eletromotriz significa fisicamente que ela muda de polaridade, impulsionando uma corrente elétrica ora em um sentido, ora em sentido oposto.

Uma força eletromotriz que muda de polaridade periodicamente é designada como força eletromotriz alternante; no caso presente, trata-se de uma força eletromotriz alternante harmônica.

A força eletromotriz que impele a corrente em nossas instalações elétricas domiciliares é do tipo alternante harmônica; em São Paulo, a força eletromotriz eficaz é igual a 110 volts (oportunamente daremos detalhes disso).

Um exemplo numérico virá bem a calhar: Uma leve moldura de fibra, retangular, de área  $A = 0,01 \text{ m}^2$  funciona como carretel onde se enrolam  $N = 42$  espiras de fio de cobre esmaltado. Esse quadro é posto a girar com frequência  $f = 60 \text{ Hz}$  (r.p.s.) em um campo de indução uniforme de intensidade  $E = 1,00 \text{ Wb/m}^2$  (ou, o mesmo que, 1,00 tesla). Reporte-se à ilustração acima.

Determinar a lei de variação da força eletromotriz induzida, em função do tempo.

Solução: A velocidade angular do quadro é:

$$\omega = 2\pi f = 377 \text{ rad/s}$$

, aproximadamente. Aplicando a equação  $E = N \omega B A \cos \omega t$  resulta:

$$E = 158 \cos 377 t$$

sendo  $E$  em volts e  $t$  em segundos.

## 2.4 Geradores elétricos

### 2.4.1 Alternadores

Os aparelhos eletrodomésticos são construídos para funcionarem sob tensão alternada de 110 V, 60 Hz, devem ser submetidos a uma tensão que obedece, aproximadamente, a lei supra.

Para intensificar o fenômeno, as espiras do rotor são dispostas sobre um núcleo de ferro, cujo efeito consiste em elevar o fluxo de indução concatenado com o quadro.

Os terminais do quadro são soldados a “anéis coletores”; estes anéis são metálicos, presos rigidamente ao eixo mas eletricamente isolados do mesmo; em cada anel apóia-se uma “escova”, corpo sólido e condutor (geralmente de grafite), comprimido elasticamente contra o anel, de modo a garantir bom contato elétrico do mesmo; as escovas estão presas a um suporte isolante; a elas liga-se a parte externa do circuito.

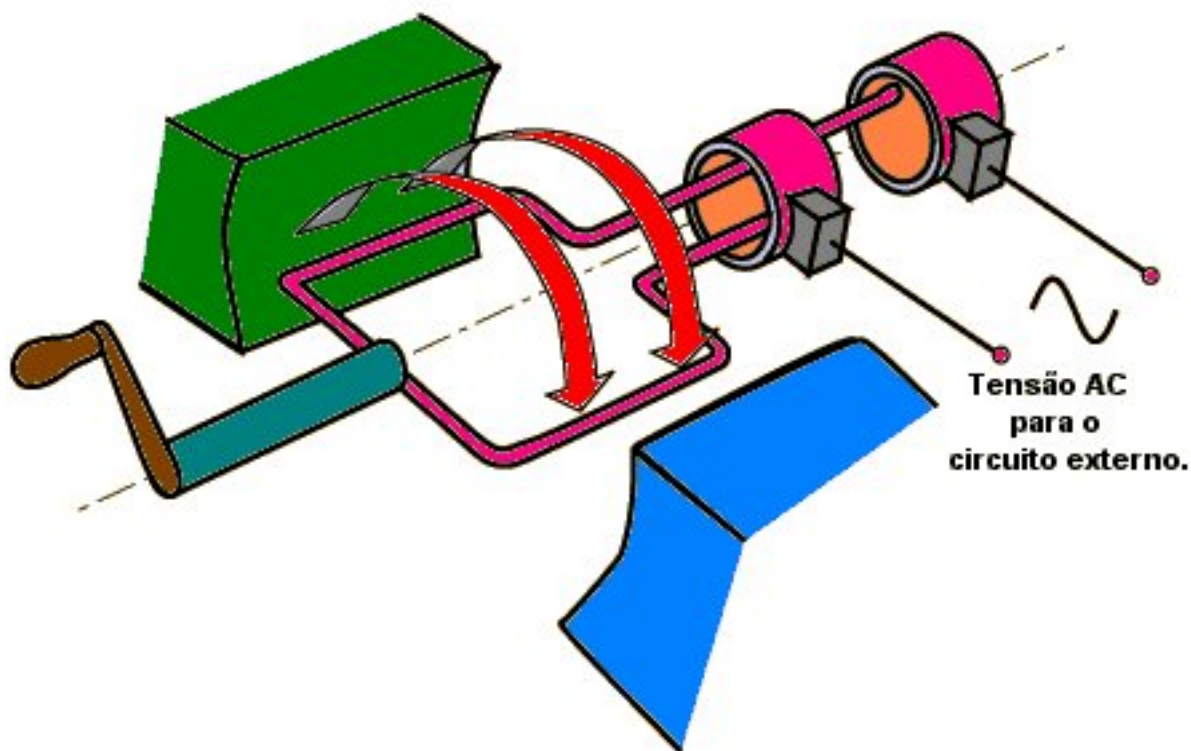


Figure 2.7: Detalhe das escovas e dos anéis de um alternador.

Aqui ilustramos as bases de um alternador de pequeno porte. O estator é constituído por um ímã permanente e opera como indutor. O sistema é conhecido como 'magneto', e é usado para campainha de telefone, ou para ignição em pequenos motores de explosão (motocicletas). O estator poderia ser um eletroímã (foto acima, direita: anel de Gramme) abastecido com corrente contínua de uma fonte adequada.

Nos alternador de grande porte, o estator é induzido (onde se recolhe a corrente alternante) e o rotor é indutor (geralmente são eletroímãs alimentados por corrente contínua, por meio de anéis coletores).

### 2.4.2 Os dínamos - corrente pulsante

Nos geradores tipo alternadores (como os ilustrados acima) um artifício simples permite retificar a corrente, ou seja, fazer com que fluam sempre num mesmo sentido. Substituamos o par de anéis coletores por um comutador (veja ilustração abaixo); é um anel coletor dividido em dois segmentos simétricos e nos quais se apóiam escovas em posições diametralmente opostas. As escovas são pequenos blocos de grafite e estacionários, comprimidos elasticamente contra o comutador; este é solidário com o rotor e pode ser concebido como tubo de cobre seccionado longitudinalmente.

Nos instantes em que o fluxo de indução no rotor é máximo ou mínimo a corrente induzida é nula; nos mesmos instantes invertem-se as conexões das escovas com os segmentos do comutador pois são permutados os segmentos em contato com as escovas; portanto são invariáveis a polaridade das escovas e o sentido da corrente no circuito externo. Tal corrente, cuja intensidade varia periodicamente, mas cujo sentido se conserva, é denominada corrente pulsante.

Dispondo sobre o mesmo núcleo diversos quadros iguais, distribuídos simetricamente em torno do eixo e associados todos em série, e dotando o comutador de outros tantos pares de segmentos, obtém-se no circuito externo uma corrente pulsante praticamente contínua.

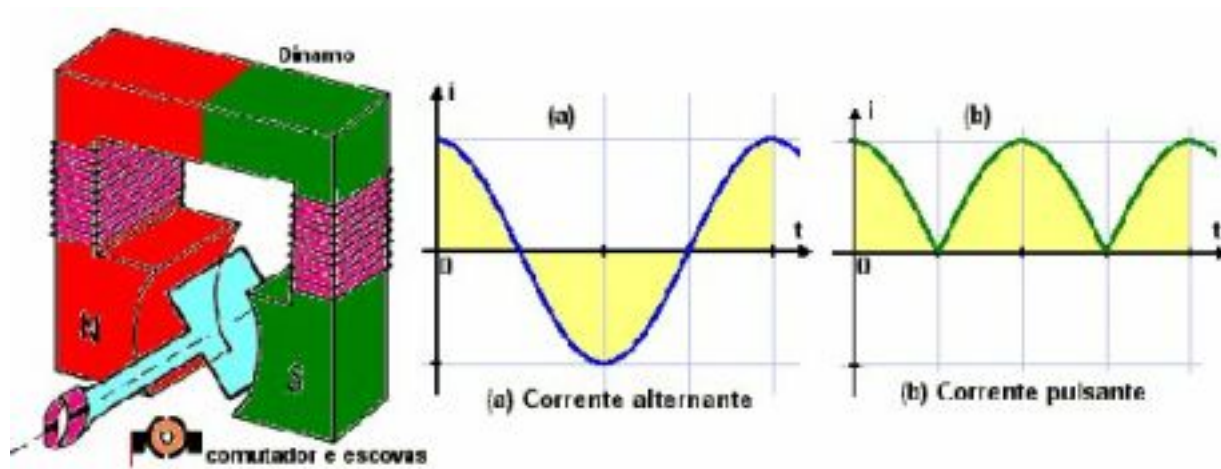


Figure 2.8: Princípio de funcionamento do dínamo - detalhe do coletor.

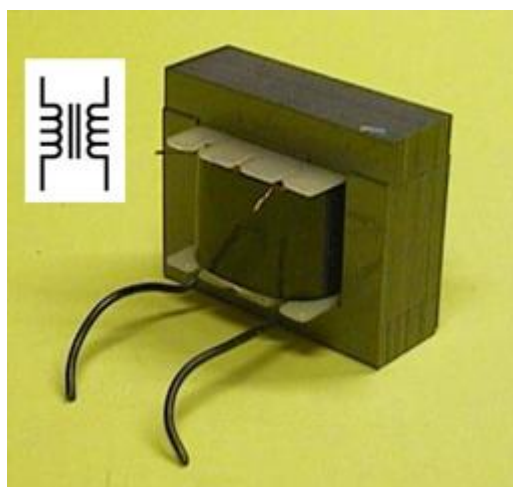


Figure 2.9: Transformador e seu símbolo.

## 2.5 Transformadores

Quando duas bobinas são enroladas sobre o mesmo núcleo, temos um componente derivado, chamado transformador. Cada uma das bobinas é chamada de enrolamento. Quando aplicamos uma tensão no primeiro enrolamento (chamado de primário), podemos retirar uma outra tensão, sendo gerada pelo segundo enrolamento (secundário). Isto pode ser usado para aumentar ou reduzir a tensão. Em uma fonte de alimentação convencional (não chaveada), o primeiro circuito é um transformador, que recebe a tensão da rede elétrica (110 ou 220 volts) e gera no secundário uma outra tensão alternada, porém de menor valor.

A energia elétrica produzida nas usinas hidrelétricas é levada, mediante condutores de eletricidade, aos lugares mais adequados para o seu aproveitamento. Ela iluminará cidades, movimentará máquinas e motores, proporcionando muitas comodidades. Para o transporte da energia até os pontos de utilização, não bastam fios e postes. Toda a rede de distribuição depende estreitamente dos transformadores, que elevam a tensão, ora a rebaixam. Nesse sobe e desce, eles resolvem não só um problema econômico, reduzindo os custos da transmissão a distância de energia, como melhoram a eficiência do processo.

Antes de mais nada, os geradores que produzem energia precisam alimentar a rede de transmissão e

distribuição com um valor de tensão adequado, tendo em vista seu melhor rendimento. Esse valor depende das características do próprio gerador, enquanto a tensão que alimenta os aparelhos consumidores, por razões de construção e, sobretudo de segurança, tem valor baixo, nos limites de algumas centenas de volts (em geral, 110V ou 220V). Isso significa que a corrente, e principalmente a tensão fornecida variam de acordo com as exigências. Nas linhas de transmissão a perda de potência por liberação de calor é proporcional à resistência dos condutores e ao quadrado da intensidade da corrente que os percorre ( $P = R I^2$ ). Para diminuir a resistência dos condutores seria necessário usar fios mais grossos, o que os tornaria mais pesados e o transporte absurdamente caro. A solução é o uso do transformador que aumenta a tensão, nas saídas das linhas da usina, até atingir um valor suficientemente alto para que o valor da corrente desça a níveis razoáveis ( $P = U.i$ ). Assim, a potência transportada não se altera e a perda de energia por aquecimento nos cabos de transmissão estará dentro dos limites aceitáveis. Na transmissão de altas potências, tem sido necessário adotar tensões cada vez mais elevadas, alcançando em alguns casos a cifra de 400.000 volts.

Quando a energia elétrica chega aos locais de consumo, outros transformadores abaixam a tensão até os limites requeridos pelos usuários, de acordo com suas necessidades.

Existe uma outra classe de transformadores, igualmente indispensáveis, de potência baixa. Eles estão presentes na maioria dos aparelhos elétricos e eletrônicos encontrados normalmente em casa, tais como, por exemplo, computador, aparelho de som e televisor. Cabe-lhes abaixar ou aumentar a tensão da rede doméstica, de forma a alimentar convenientemente os vários circuitos elétricos que compõem aqueles aparelhos.

Os transformadores têm muitas outras aplicações. São usados por exemplo como isoladores da linha telefônica em modems. Eles protegem (até certo ponto) o modem de eventuais sobretensões na linha telefônica. Pelo fato de terem uma indutância, eles também atuam como filtros de ruídos.

### 2.5.1 Modelo de transformador

Esse experimento é recomendado para ser trabalhado em aula, por todos os professores de eletricidade e eletromagnetismo. Tem por objetivo evidenciar o princípio de funcionamento dos transformadores.

Construa duas bobinas toroidais, ambas com fio de cobre esmaltado #24; uma com 200 a 300 espiras e a outra com 100 a 150 espiras. A bobina grande leva, em série, um soquete para lâmpada incandescente comum. Ligue o cordão de força na tomada elétrica domiciliar e observe o brilho da lâmpada pequena. Faça essa observação usando no soquete comum lâmpada de 40W, 60W, 100W e 200W. Não demore demasiado nessas observações para evitar aquecimento exagerado na bobina grande.

Coloque a bobina pequena dentro da bobina grande, ajustando bem. Aos terminais A e B da bobina pequena ligue uma lâmpada para 6V (usadas em lanternas de 4 pilhas). Sempre é bom dispor de soquete para tal lâmpada para facilitar as ligações e as trocas. Na falta dele, basta soldar as extremidades dos fios A e B (devidamente lixadas) aos terminais da lâmpada.

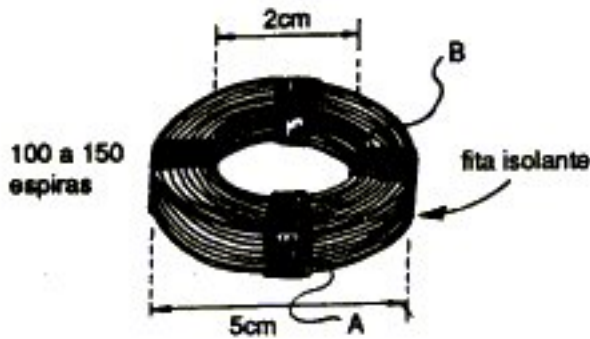
Varie a posição relativa entre as duas bobinas e verifique a tensão no terminais da bobina menor. A relação entre as duas bobinas é chamada de indutância mútua.

Depois, no interior do conjunto passe um feixe de lâminas de ferro-silício. Repita todo o procedimento anterior para essa nova situação ... núcleo de ferro dentro das bobinas. Se as lâminas envolvem as bobinas e, com isso, ocorre maior concentração das linhas de indução, aumentando a corrente induzida no secundário (bobina menor). Repita todo o procedimento anterior novamente, observando o brilho da lampadinha. Troque a lâmpada (40W, 60W, 100W e 200W) em cada observação.

### 2.5.2 Princípio de funcionamento

O princípio básico de funcionamento de um transformador é o fenômeno conhecido como indução eletromagnética: quando um circuito é submetido a um campo magnético variável, aparece nele uma corrente elétrica cuja intensidade é proporcional às variações do fluxo magnético. Os transformadores, na sua

a) bobina de 5cm



b) bobina de 8cm

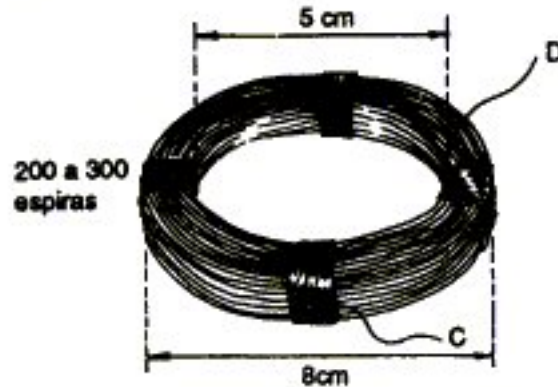


Figure 2.10: Duas bobinas para montagem de um transformador.

forma mais simples, consistem de dois enrolamentos de fio (o primário e o secundário), que geralmente envolvem os braços de um quadro metálico (o núcleo). Uma corrente alternada aplicada ao primário produz um campo magnético proporcional à intensidade dessa corrente e ao número de espiras do enrolamento (número de voltas do fio em torno do braço metálico). Através do metal, o fluxo magnético quase não encontra resistência e, assim, concentra-se no núcleo, em grande parte, e chega ao enrolamento secundário com um mínimo de perdas. Ocorre, então, a indução eletromagnética: no secundário surge uma corrente elétrica, que varia de acordo com a corrente do primário e com a razão entre os números de espiras dos dois enrolamentos.

A relação entre as voltagens no primário e no secundário, bem como entre as correntes nesses enrolamentos, pode ser facilmente obtida: se o primário tem  $N_p$  espiras e o secundário  $N_s$ , a voltagem no primário ( $V_p$ ) está relacionada à voltagem no secundário ( $V_s$ ) por

$$V_p/V_s = N_p/N_s$$

e as correntes por

$$I_p/I_s = N_s/N_p$$

Desse modo um transformador ideal (que não dissipa energia), com cem espiras no primário e cinquenta no secundário, percorrido por uma corrente de um ampère, sob 110 volts, fornece no secundário, uma corrente de dois ampères sob 55 volts.

### 2.5.3 Transformador Ideal

Em muitos aspectos, um transformador ideal é um modelo excelente para um transformador com um núcleo de ferro. Os transformadores de potência, os que são usados na distribuição dos sistemas elétricos de potência, são transformadores com núcleo de ferro. Sendo um modelo, um transformador ideal é uma conveniente aproximação do real. As aproximações feitas são uma resistência zero dos enrolamentos, perdas zero no núcleo e uma permeabilidade infinita do núcleo. Sendo que os enrolamentos têm uma resistência zero, um transformador ideal não tem perdas ôhmicas nos enrolamentos (perdas IR) nem quedas resistivas de tensão. A segunda propriedade, perdas zero no núcleo, significa que não existem perdas de potência no núcleo - sem histerese ou corrente parasitas. E desde que não existam perdas de potência em ambos os enrolamentos, não existe perdas de potência no transformador ideal - a potência de saída é igual à potência de entrada. A terceira e última consideração, permeabilidade infinita do núcleo, significa que nenhuma

corrente é necessária para estabelecer o fluxo magnético que produz as tensões induzidas. Isto também significa que todo o fluxo magnético é confinado ao núcleo, acoplado os enrolamentos. Todos o fluxo é mutuo, e não existe fluxo de dispersão, que é o fluxo que acopla apenas um enrolamento.

#### 2.5.4 Perdas no transformador

Graças às técnicas com que são fabricados, os transformadores modernos apresentam grande eficiência, permitindo transferir ao secundário cerca de 98% da energia aplicada no primário. As perdas - transformação de energia elétrica em calor - são devidas principalmente à histerese, às correntes parasitas e perdas no cobre.

1. Perdas no cobre. Resultam da resistência dos fios de cobre nas espiras primárias e secundárias. As perdas pela resistência do cobre são perdas sob a forma de calor e não podem ser evitadas.

2. Perdas por histerese. Energia é transformada em calor na reversão da polaridade magnética do núcleo transformador.

3. Perdas por correntes parasitas. Quando uma massa de metal condutor se desloca num campo magnético, ou é sujeita a um fluxo magnético móvel, circulam nela correntes induzidas. Essas correntes produzem calor devido às perdas na resistência do ferro.

#### 2.5.5 Autotransformador

Um autotransformador é um transformador com um único enrolamento que tem um terminal intermediário dividindo o enrolamento em duas seções. Para entender o funcionamento do autotransformador, considere as duas seções como sendo os dois enrolamentos de um transformador de potencia.

Considere um transformador de potencia de 50 kVA que tem uma relação de tensão de 10000V/200V. A partir do kVA e da tensão, a corrente de carga do enrolamento da maior tensão é  $50000\text{VA} / 10000\text{V} = 5\text{A}$ , e do enrolamento de menor tensão é  $50000\text{VA} / 200\text{V} = 250\text{A}$ . Tal transformador com carga máxima com seu enrolamento conectado ao terminal sem ponto do outro enrolamento. O circuito secundário de 10000 V pode ser carregado com no máximo  $250 + 5 = 255\text{A}$  sem que um dos enrolamentos tenha uma corrente de sobrecarga. Sendo que a corrente da fonte é 250 A, o transformador pode fornecer  $10200 \times 255 = 2550\text{kVA}$ . Isto pode ser também determinado pelo circuito do secundário:  $10000 \times 255 = 2550\text{kVA}$ . Na verdade, a conexão como autotransformador teve um aumento na potência de 50 para 2550 kVA.

A explicação para esse aumento é que o transformado e original de 50 kVA não tem conexão metálica entre os dois enrolamentos, e então o 50 kVA devem ser transmitidos através do transformador pelo acoplamento magnético. Mas com os enrolamento conectados para fornecer a operação de auto - transformação, existe uma conexão metálica entre os dois enrolamentos que transmite  $2550 - 50 = 2500\text{kVA}$  sem ser transformada magneticamente. Assim, essa conexão metálica é que fornece o aumento de kVA. Embora vantajoso a esse respeito, tal conexão destrói a propriedade de isolamento dos transformadores convencionais, o significa que a auto - transformação não pode ser aplicada em qualquer transformador.

Em geral, quando mais próximo os níveis de tensão, maior o aumento na taxa de KVA. Este é o motivo de os autotransformadores serem usados na conexão entre sistemas usuais de potencia apenas se os sistemas operam com níveis próximos de tensão.



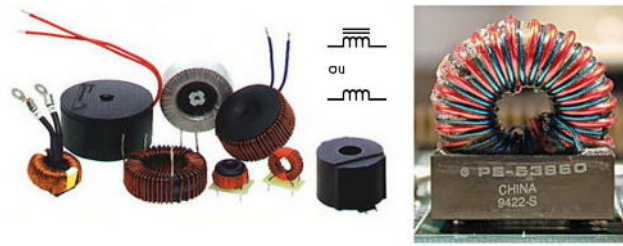


Figure 2.11: Bobinas e seus símbolos.

### 2.5.6 O alicate amperométrico

#### Funcionamento

#### Medição de corrente alternada em instalações

#### Regulação do relé bimetalico de um motor elétrico

## 2.6 Bobina

A bobina é um componente elétrico construído por um fio enrolado em várias voltas. Seu valor é a indutância, e a unidade de medida é o henry (H). Esta unidade é muito elevada para medir as bobinas da vida real, portanto são mais utilizados o milihenry (mH) e o microhenry ( $\mu\text{H}$ ).

A bobina é atravessada facilmente pela corrente contínua. Corrente alternada de baixa frequência também tem facilidade para atravessar uma bobina, mas quanto maior é a frequência, maior é a dificuldade. Esta característica é inversa à do capacitor. Por isso, associações de capacitores e bobinas são usados para formar filtros de vários tipos, como por exemplo, os sintonizadores. Quando giramos o botão sintonizador de estações de um rádio (DIAL), estamos na verdade atuando sobre um capacitor variável, associado a uma bobina, selecionando a frequência desejada.

### 2.6.1 Auto-indução de uma bobina

Nesse experimento queremos salientar o 'tipo' de resistência elétrica que as bobinas (dotadas ou não de núcleos) oferecem à corrente elétrica alternante. A resistência imposta não é puramente ôhmica, imposta pelo material do fio, área de sua seção reta e comprimento do fio; há outra imposição, bem mais 'séria', em geral, imposta pela auto-indução. A montagem, a seguir, destina-se a evidenciar isso.

A introdução dos núcleos de diferentes materiais no interior da bobina, afeta, em cada caso, a indutância da bobina, de maneira diferente. Isso afeta a tensão de auto-indução e conseqüentemente o brilho da lâmpada. Recomenda-se a pesquisa sobre o assunto em textos de eletrotécnica. A pesquisa participa da evolução da educação do aluno.

### 2.6.2 Indutância

A indutância é empregada para expressar a maior propriedade magnética dos materiais (a permeabilidade), por um parâmetro dos circuitos elétricos, como a resistência e a capacitância. Assim ela relaciona a tensão  $v(t)$  e a corrente  $i(t)$  instantâneas.

$$v(t) = L \frac{di}{dt}$$

onde  $di/dt$  é a variação da corrente num pequeno intervalo de tempo.

A indutância é medida e quantificada em Henry ou H.

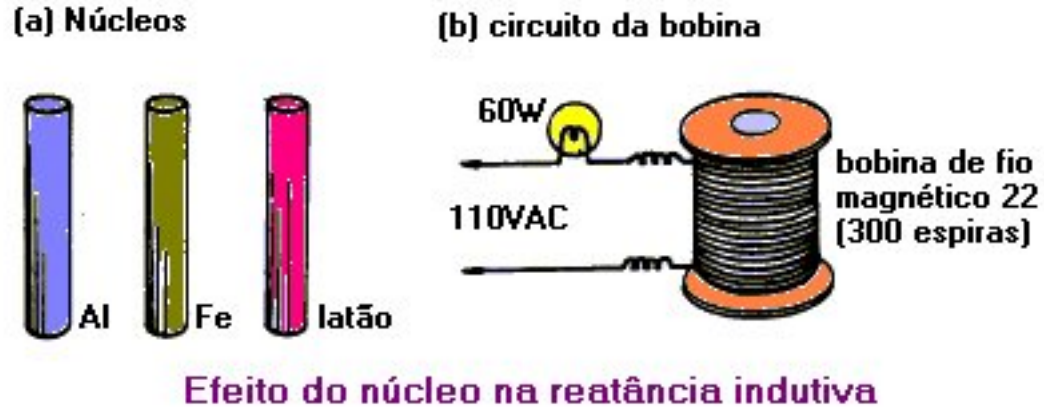


Figure 2.12: Efeito da permeabilidade magnética na reatância indutiva.

As equações da indutância são:

$$L = N^2 \frac{\Phi}{i}$$

$$L = N^2 \frac{1}{\mu} \frac{l_m}{S_m}$$

### 2.6.3 Resistência em corrente alternada

A reatância é a resistência em corrente alternada.

Se você alimenta uma bobina ou um indutor com uma tensão alternada  $V_{ac}$  e uma corrente alternada  $I_{ac}$ , a relação entre elas é a reatância  $X$ , expressa em ohm:

$$X = \frac{V_{ac}}{I_{ac}}$$

### 2.6.4 Experiências

Ligação básica para um transformador monofásico

Identificação de bobinas - polaridade

Identificação da relação de transformação

Uso de transformadores e reatores em circuitos de CA

### 2.6.5 Arco voltaico - solda elétrica

Fechamento e abertura de circuitos indutivos

Produção de arco voltaico e extinção magnética

## 2.7 Resumo

A sugestão de Ampère sobre a causa do magnetismo dos ímãs naturais é interessante, mas precisamos imaginar que "correntes elétricas microscópicas e permanentes" seriam essas. Sabemos que os átomos, embora neutros, possuem cargas positivas e negativas, e portanto as correntes (se existirem) poderiam ter aí sua origem.



Seriam elétrons girando ao redor do núcleo? Podemos imaginar que seja assim, embora hoje sabemos que os elétrons não giram ao redor do núcleo! A resposta para a causa do magnetismo natural é dada pela Mecânica Quântica.

E quanto ao magnetismo da Terra? Haverá correntes elétricas no interior do planeta? Se houver, como foram iniciadas e como se mantêm? Ou existirá talvez um grande ímã permanente enterrado nas profundezas? Será uma enorme pedra de magnetita ou um descomunal bloco de ferro? E como isso foi parar lá?

Parece que a tentativa de responder algumas perguntas faz aparecer muitas outras.



## Chapter 3

# Riscos e segurança em eletricidade

*A saúde é o que interessa,  
o resto não tem pressa.*  
(Chico Anísio)

A eletricidade é vital na vida moderna e é desnecessário ressaltar sua importância, quer propiciando conforto aos nossos lares, quer atuando como insumo nos diversos segmentos da economia. Por outro lado o uso da eletricidade exige do consumidor a aplicação de algumas precauções em virtude do risco que a eletricidade representa. Muitos não sabem, desconhecem ou desconsideram este risco. Os acidentes ocorridos com eletricidade, no lar e no trabalho, são os que ocorrem com maior frequência e comprovadamente os que trazem as mais graves consequências. As normas de segurança estabelecem que pessoas devem ser informadas sobre os riscos a que se expõem, assim como conhecer os seus efeitos e as medidas de segurança aplicáveis.

No dia a dia, seja no lar ou na indústria a maior preocupação sem dúvida é com o choque elétrico, visto que este é o tipo de acidente que ocorre com maior frequência. Incêndios e explosões causados pela eletricidade são sinistros que ocorrem com menor frequência. É importante alertar que os riscos do choque elétrico e os seus efeitos estão diretamente ligados aos valores das tensões (Voltagens) da instalação, e é bom lembrar que apenas altas tensões provocam grandes lesões. Mas por um outro lado existem mais pessoas expostas à baixa tensão do que às altas tensões e que leigos normalmente não se expõem às altas, proporcionalmente podemos considerar que as baixas tensões são as mais perigosas. O maior risco no trabalho com a eletricidade é o contato direto, que pode ser definido como o ocorrido quando uma pessoa tem acesso a alguma parte energizada de uma instalação, provocando uma passagem de corrente através do corpo, uma vez que este é condutor e fecha um curto-circuito entre a massa e a terra. O que torna a eletricidade mais perigosa do que outros riscos físicos como o calor, o frio e o ruído é que ela só é sentida pelo organismo quando o mesmo está sob sua ação. Para quantificar melhor os riscos e a gravidade do problema apresentamos alguns dados estatísticos :

- 43% dos acidentes ocorrem na residência
- 30% nas empresas
- 27% não foram especificados.

### 3.1 Componentes elétricos

Para projetar ou executar instalações e equipamentos elétricos com segurança, é fundamental conhecer os principais componentes elétricos e eletrônicos.



Figure 3.1: Sistema de controle dos eletrificadores de cerca

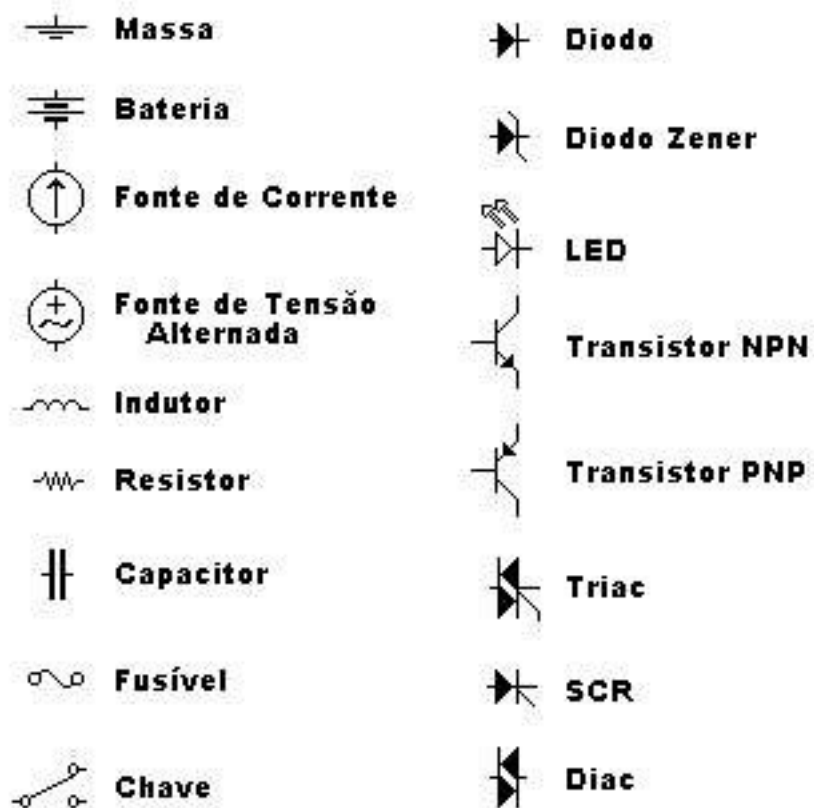


Figure 3.2: Simbologia de alguns componentes eletro-eletrônicos.

### 3.1.1 Isolantes elétricos

São materiais que oferecem elevada resistência à corrente elétrica. Suas características elétricas (resistividade, rigidez dielétrica, resistência superficial, estabilidade perante descargas e constante dielétrica) devem estar de acordo com o emprego e com as normas técnicas vigentes no país.

Segundo sua origem destacam-se isolantes naturais e artificiais. Do grande número destes destacam-se:

#### Isolantes naturais

Destacam-se: ar (quando seco), óleo mineral (livre de água e de ácidos), algodão, cera, papel, mica (sólido de escamas), amianto (pedra fibrosa), quartzo, asfalto, vidro, fibra de vidro e produtos cerâmicos (porcelana, argila refratária, ...)

#### Isolantes artificiais

São constituídos sobretudo de carvão (carbono), água, ar e cálcio por polimerização ou policondensação química. Nestas transformações, determinadas propriedades adquirem características especiais.

#### Plásticos policondensados

São resinas sintéticas que, pela separação da água, resultam sobretudo das ligações de cresóis, fenóis e uréias com formaldeídos. Quando se emprega como base de uma camada de papel ou de tecido em combinação com a resina sintética, resultam denominadas fibras laminadas ou tecidos laminados, que são rígidos.

#### Plásticos polimerizados

São resultantes normalmente de acetilenos e etilenos e se formam pela interligação de moléculas e de cadeias de carbonatos. Os principais plásticos polimerizados são: *cloreto de polivinila* (PVC). Sua forma inicial é rígida. Quando triturado, se transforma em pó branco, o qual é posteriormente misturado com líquidos oleosos, para amolecê-lo. Acrescentam-se ainda corantes. Em seguida, esta mistura sofre a ação do calor (cerca de 80 graus celsius) e de determinada pressão, quando então se obtém um produto com características flexíveis, como a borracha; *Polistirol* é um isolante aplicado sob pressão em moldes e em fitas elásticas; *Polietileno*, como isolante e recobridor de condutores; *Poliéster* em blindagem de chaves; *Policloropren* para condutores à prova de óleo, ozona e intempéries.

No site da Pirelli do Brasil encontra-se um exemplo comparando cabos isolados em PVC com EPR-/XLPE.

A passagem de corrente causa um aquecimento (efeito Joule) que pode danificar o isolante (lenta ou rapidamente), debilitar o cobre ou causar um incêndio diretamente.

### 3.1.2 Vida da isolação

A função fundamental da isolação é suportar stress de tensão. Assim, quanto mais baixa a temperatura, menor o stress e a taxa de deterioração.

Mudanças significativas, irreversíveis, progressivas e cumulativas ocorrem nas propriedades mecânicas e elétricas dos materiais isolantes, como resultado de exposição prolongada a alta temperatura.

A expectativa de vida útil desejada de um determinado equipamento elétrico depende do investimento inicial, características de projeto e construção, qualidade da manutenção, confiabilidade necessária, obsolescência das instalações, condições operacionais, entre outros fatores.

Não há um valor específico de temperatura acima do qual um dado isolamento não deva operar. Por exemplo, um condutor que trabalhe uma hora por dia, com picos de corrente e temperatura muito maiores

que outro que opere com menor corrente e temperatura durante 24 horas do dia, e ainda ter a mesma expectativa de vida, em anos.

A forte influência da temperatura e da sobretemperatura dos condutores na expectativa de vida útil da isolamento é expressa pela regra de Arrhenius, segundo a qual, para cada classe de temperatura, cada 8 °C ou 10 °C corresponde uma expectativa de dobrar ou reduzir pela metade a vida do sistema isolante.

## 3.2 Linhas ou condutos elétricos

Uma linha elétrica é o conjunto constituído por um ou mais condutores, com os elementos de fixação ou suporte e, se for o caso, de proteção mecânica, destinado a transportar energia elétrica ou a transmitir sinais elétricos. O termo corresponde ao inglês *wiring system* e ao francês *canalization*.

### Formas de instalação de condutores elétricos:

Aéreos - recomenda-se os cabos Multiplex.

Em eletrodutos - os mais usados são os eletrodutos rígidos de PVC. Em condições especiais utiliza-se Ferro galvanizado, alumínio, ou outro material. Segundo a NBR5410, denomina-se Linha B1 a eletrodutos embutidos em alvenaria.

Em canaletas ou bandejas plásticas ou metálicas - muito utilizadas na indústria, devido à sua facilidade de manutenção.

Em dutos subterrâneos - normalmente são percorridos por cabos multipolares.

Em espaços de construção - é um espaço existente na estrutura de um prédio, acessível apenas em certos pontos e no qual são instalados os condutores diretamente ou contidos em eletrodutos. Os exemplos mais comuns são forros falsos, pisos técnicos, pisos elevados, paredes duplas e espaço no interior de divisórias.

## 3.3 Condutores

Num condutor elétrico normal, o dado mais importante é a corrente máxima que ele pode suportar de uma maneira contínua.

Para um mesmo tipo de condutor (cobre, alumínio, ...), tudo depende da seção condutora (expressa em milímetros quadrados) que determina a resistência elétrica e o limite para a passagem da corrente.

A **corrente nominal** é a corrente que o condutor pode agüentar indefinidamente, sem alcançar temperaturas perigosas.

Para escolher corretamente, é essencial saber ler as especificações publicadas pelo fabricante.

## 3.4 O choque elétrico

Choque elétrico é o conjunto de perturbações de natureza e efeitos diversos, que se manifestam no organismo humano ou animal, quando este é percorrido por corrente elétrica. As manifestações relativas ao choque elétrico dependendo das condições e intensidade da corrente, podem ser desde uma ligeira contração superficial até uma violenta contração muscular que pode provocar a morte. Até chegar de fato à morte existem estágios e outras conseqüências que veremos adiante. Os tipos mais prováveis de choque elétrico são aqueles que a corrente elétrica circula da palma de uma das mãos à palma da outra mão, ou da palma da mão até a planta do pé. Existem 3 categorias de choque elétrico:

### 3.4.1 Choque produzido por contato com circuito energizado

Aqui o choque surge pelo contato direto da pessoa com a parte energizada da instalação, o choque dura enquanto permanecer o contato e a fonte de energia estiver ligada. As conseqüências podem ser pequenas contrações ou até lesões irreparáveis.

### 3.4.2 Choque produzido por contato com corpo eletrizado

Neste caso analisaremos o choque produzido por eletricidade estática, a duração desse tipo de choque é muito pequena, o suficiente para descarregar a carga da eletricidade contida no elemento energizado. Na maioria das vezes este tipo de choque elétrico não provoca efeitos danosos ao corpo, devido a curtíssima duração.

### 3.4.3 Choque produzido por raio (Descarga Atmosférica)

Aqui o choque surge quando acontece uma descarga atmosférica e esta entra em contato direto ou indireto com uma pessoa, os efeitos desse tipo de choque são terríveis e imediatos, ocorre casos de queimaduras graves e até a morte imediata.

### 3.4.4 Avaliação do choque elétrico

Para avaliação da corrente elétrica que circula num circuito vamos utilizar a Lei de Ohm, que estabelece o seguinte :

$$I = V/R$$

onde:

$I$  = Corrente em Ampéres

$V$  = Tensão ou voltagem, em Volts

$R$  = Resistência, em  $\Omega$ .

A Lei de Ohm estabelece que a intensidade da corrente elétrica que circula numa carga é tão maior quanto maior for a tensão, ou menor quanto menor for a tensão. No caso do choque elétrico o corpo humano participa como sendo uma carga, o corpo humano ou animal é condutor de corrente elétrica, não só pela natureza de seus tecidos como pela grande quantidade de água que contém. O valor da resistência em Ohms do corpo humano varia de indivíduo para indivíduo, e também varia em função do trajeto percorrido pela corrente elétrica. A resistência elétrica média do corpo humano medida da palma de uma das mãos à palma da outra, ou até a planta do pé é da ordem de 1300 a 3000  $\Omega$ , de acordo com a Lei de Ohm, e com base no valor da resistência do corpo humano podemos avaliar a intensidade da corrente elétrica produzida por um choque elétrico, isso serve de análise dos efeitos provocados pela corrente elétrica em função de sua intensidade.

## 3.5 Efeitos da Eletricidade no Corpo Humano

Ao passar pelo corpo humano a corrente elétrica danifica os tecidos e lesa os tecidos nervosos e cerebral, provoca coágulos nos vasos sanguíneos e pode paralisar a respiração e os músculos cardíacos. A corrente elétrica pode matar imediatamente ou pode colocar a pessoa inconsciente, a corrente faz os músculos se contraírem a 60 ciclos por segundo, que é a frequência da corrente alternada usada no Brasil. A sensibilidade do organismo à passagem de corrente elétrica inicia em um ponto conhecido como Limiar de Sensação e que ocorre com uma intensidade de corrente de 1mA para corrente alternada e 5mA para corrente contínua. Pesquisadores definiram 3 tipos de efeitos manifestados pelo corpo humano quando da presença de eletricidade.

#### a) Efeito Limiar de Sensação (Percepção)

O corpo humano começa a perceber a passagem de corrente elétrica a partir de 1 mA.

#### b) Efeito Limiar de Não Largar

Está associado às contrações musculares provocadas pela corrente elétrica no corpo humano, a corrente alternada a partir de determinado valor, excita os nervos provocando contrações musculares permanentes,

com isso cria se o efeito de agarramento que impede a vítima de se soltar do circuito, a intensidade de corrente para esse limiar varia entre 9 e 23 mA para os homens e 6 a 14 mA para as mulheres.

c) Efeito Limiar de Fibrilação Ventricular

O choque elétrico pode variar em função de fatores que interferem na intensidade da corrente e nos efeitos provocados no organismo, os fatores que interferem são :

- Trajeto da corrente elétrica no corpo humano
- Tipo da corrente elétrica
- Tensão nominal
- Intensidade da corrente
- Duração do choque elétrico
- Resistência do circuito
- Frequência da corrente

### 3.5.1 Trajeto da corrente elétrica no corpo humano

O corpo humano é condutor de eletricidade e sua resistência varia de pessoa para pessoa e ainda depende do percurso da corrente. A corrente no corpo humano sofrerá variações conforme for o trajeto percorrido e com isso provocará efeitos diferentes no organismo, quando percorridos por corrente elétrica os órgãos vitais do corpo podem sofrer agravamento e até causar sua parada levando a pessoa a morte.

### 3.5.2 Tipo da corrente elétrica

O corpo humano é mais sensível a corrente alternada do que á corrente continua, os efeitos dests no organismo humano em geral são os mesmos, passando por contrações simples para valores de baixa intensidade e até resultar em queimaduras graves e a morte para valores maiores. Existe apenas uma diferença na sensação provocada por correntes de baixa intensidade; a corrente continua de valores imediatamente superiores a 5 mA que é o Limiar de Sensação, cria no organismo a sensação de aquecimento ao passo que a corrente alternada causa a sensação de formigamento, para valores imediatamente acima de 1 mA.

### 3.5.3 Tensão nominal

A tensão nominal de um circuito é a tensão de linha pela qual o sistema é designado e à qual são referidas certas características operacionais do sistema. De acordo com os padrões atuais norte-americanos, as tensões nominais dos sistemas são classificadas em :

- Baixa tensão: 0 V a 1000 V
- Média tensão: 1.000 V a 72.500 V
- Alta tensão: 72.500 V a 242.000 V
- Extra alta tensão: 242.000 V a 800.000 V

Partindo das premissas que os efeitos danosos ao organismo humano são provocados pela corrente e que esta pela Lei de Ohm é tanto maior quanto maior for a tensão, podemos concluir que os efeitos do choque são mais graves à medida que a tensão aumenta, e pela mesma Lei de Ohm quanto menor a resistência do circuito maior a corrente, portanto concluímos que não existem valores de tensões que não sejam perigosas. Para condições normais de influências externas, considera se perigosa uma tensão superior a 50 Volts, em corrente alternada e 120 Volts em corrente continua, o corpo humano possui em média uma resistência na faixa de 1300 a 3000  $\Omega$ . Assim uma tensão de contato no valor de 50 V, resultará numa corrente de :

$$I = 50 / 1300 = 38,5 \text{ mA}$$

O valor de 38,5 mA em geral não é perigoso ao organismo humano, abaixo apresentamos o valor de duração máxima de uma tensão em contato com o corpo humano, os valores indicados baseiam se em valores limites de corrente de choque e correspondem a condições nas quais a corrente passa pelo corpo



humano de uma mão para outra ou de uma mão para a planta do pé, sendo que a superfície de contato é considerada a pele relativamente úmida.

Table 3.1: Duração máxima da tensão de contato CA

Tensão de Contato ( V )	Duração Máxima ( Seg. )
<50	infinito
50	5
75	0,60
90	0,45
110	0,36
150	0,27
220	0,17
280	0,12

Table 3.2: Duração máxima da tensão de contato CC

Tensão de Contato ( V )	Duração Máxima ( Seg. )
<120	infinito
120	5
140	1
160	0,5
175	0,2
200	0,1
250	0,05
310	0,03

### 3.5.4 Intensidade da corrente de choque elétrico

As perturbações produzidas pelo choque elétrico dependem da intensidade da corrente que atravessa o corpo humano, e não da tensão do circuito responsável por essa corrente. Até o limiar de sensação, a corrente que atravessa o corpo humano é praticamente inócua, qualquer que seja sua duração, a partir desse valor, á medida que a corrente cresce, a contração muscular vai se tornando mais desagradável. Para as frequências industriais (50 - 60 Hz ), desde que a intensidade não exceda o valor de 9 mA, o choque não produz alterações de consequências graves, quando a corrente ultrapassa 9 mA, as contrações musculares tornam se mais violentas e podem chegar ao ponto de impedir que a vítima se liberte do contato com o circuito, se a zona torácica for atingida poderão ocorrer asfixia e morte aparente, caso em que a vítima morre se não for socorrida a tempo. Correntes maiores que 20 mA são muito perigosas, mesmo quando atuam durante curto espaço de tempo, as correntes da ordem de 100 mA, quando atingem a zona do coração, produzem fibrilação ventricular em apenas 2 ou 3 segundos, e a morte é praticamente certa. Correntes de alguns Amperes, além de asfixia pela paralisação do sistema nervoso, produzem queimaduras extremamente graves, com necrose dos tecidos, nesta faixa de corrente não é possível o salvamento, a morte é instantânea.

### Duração do choque elétrico

O tempo de duração do choque é de grande efeito nas consequências geradas, as correntes de curta duração tem sido inócuas, razão pela qual não se considerou a eletricidade estática, por outro lado quanto maior a

Table 3.3: Perturbações prováveis

Intensidade (mA)	Perturbações prováveis	Estado após o choque	Salvamento	Resultado Final
1	Nenhuma	Normal	—	Normal
1 - 9	Sensação cada vez mais desagradável à medida que a intensidade aumenta. Contrações musculares.	Normal	Desnecessário	Normal
9 - 20	Sensação dolorosa, contrações violentas, perturbações circulatorias	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento
20 - 100	Sensação insuportável, contrações violentas, asfixia, perturbações circulatorias graves inclusive fibrilação ventricular	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento ou morte
>100	asfixia imediata, fibrilação ventricular	Morte aparente	Muito difícil	Morte
Vários Ampères	Asfixia imediata, queimaduras graves	Morte aparente ou imediata	Praticamente impossível	Morte

duração mais danosos são os efeitos.

### 3.5.5 Resistência do circuito

Quando o corpo humano é intercalado ao circuito elétrico, ele passa a ser percorrido por uma corrente elétrica cuja intensidade de acordo com a lei de Ohm é em função da tensão e da resistência. Dependendo das partes do corpo intercaladas ao circuito a resistência do conjunto pode variar, e com isso a corrente também será alterada.

### 3.5.6 Frequência da corrente

O Limiar de Sensação da corrente cresce com o aumento da frequência, ou seja correntes com frequências maiores são menos sentidas pelo organismo, estas correntes de altas frequências acima de 100.000 Hz, cujos efeitos se limitam ao aquecimento são amplamente utilizadas na medicina como fonte de febre artificial. Nessas condições pode se fazer circular até 1 A sobre o corpo humano sem causar perigo. O quadro abaixo lista diversos valores de Limiar de Sensação em função do aumento da frequência da corrente elétrica.

Table 3.4: Frequência da Corrente Elétrica

Frequência (Hz)	50-60	500	1.000	5.000	10.000	100.000
Limiar de Sensação (mA)	1	1,5	2	7	14	150

## 3.6 Primeiros socorros à vítima de choque elétrico

As chances de salvamento da vítima de choque elétrico diminuem com o passar de alguns minutos, pesquisas realizadas apresentam as chances de salvamento em função do número de minutos decorridos do choque aparentemente mortal, pela análise da tabela abaixo esperar a chegada da assistência médica para socorrer a vítima é o mesmo que assumir a sua morte, então não se deve esperar o caminho é a aplicação de técnicas de primeiros socorros por pessoa que esteja nas proximidades. O ser humano que esteja com parada respiratório e cardíaca passa a ter morte cerebral dentro de 4 minutos, por isso é necessário que o profissional que trabalha com eletricidade deve estar apto a prestar os primeiros socorros a acidentados, especialmente através de técnicas de reanimação cárdio-respiratória.

A respiração artificial para reanimação de vítimas de choque elétrico é empregada em todos os casos em que a respiração natural é interrompida. O método de “Holger e Nielsen” consiste em um conjunto de manobras mecânicas por meio das quais o ar, em certo e determinado ritmo, é forçado a entrar e sair alternadamente dos pulmões. As instruções gerais referentes à aplicação desse método são as seguintes :

Table 3.5: Chances de reanimação da vítima de choque elétrico em função do tempo para iniciar respiração artificial após o choque.

tempo	chance
1 minuto	95 %
2 minutos	90 %
3 minutos	75 %
4 minutos	50 %
5 minutos	25 %
6 minutos	1 %
8 minutos	0,5 %

- Antes de tocar o corpo da vítima, procure livrá-la da corrente elétrica, com a máxima segurança possível e a máxima rapidez, nunca use as mãos ou qualquer objeto metálico ou molhado para interromper um circuito ou afastar um fio.

- Não mova a vítima mais do que o necessário à sua segurança.

- Antes de aplicar o método, examine a vítima para verificar se respira, em caso negativo, inicie a respiração artificial.

- Quanto mais rapidamente for socorrida a vítima, maior será a probabilidade de êxito no salvamento.

- Chame imediatamente um médico e alguém que possa auxiliá-lo nas demais tarefas, sem prejuízo da respiração artificial, bem como, para possibilitar o revezamento de operadores.

- Procure abrir e examinar a boca da vítima ao ser iniciada a respiração artificial, a fim de retirar possíveis objetos estranhos (dentadura, palito, alimentos, etc.), examine também narinas e garganta. Desenrole a língua caso esteja enrolada, em caso de haver dificuldade em abrir a boca da vítima, não perca tempo, inicie o método imediatamente e deixe essa tarefa a cargo de outra pessoa.

- Desaperte punhos, cinta, colarinho, ou quaisquer peças de roupas que por acaso apertem o pescoço, peito e abdômen da vítima.

- Agasalhe a vítima, a fim de aquecê-la, outra pessoa deve cuidar dessa tarefa de modo a não prejudicar a aplicação da respiração artificial.

- Não faça qualquer interrupção por menor que seja, na aplicação da respiração artificial.

- Não faça qualquer interrupção por menor que seja, na aplicação do método, mesmo no caso de se tornar necessário o transporte da vítima a aplicação deve continuar.

- Não distraia sua atenção com outros auxílios suplementares que a vítima necessita, enquanto estiver aplicando o método, outras pessoas devem ocupar-se deles.

- O tempo de aplicação é indeterminado, podendo atingir 5 horas ou mais, enquanto houver calor no corpo da vítima e esta não apresentar rigidez cadavérica há possibilidade de salvamento.

- O revezamento de pessoas, durante a aplicação deve ser feito de modo a não alterar o ritmo da respiração artificial.

- Ao ter início a respiração natural, sintonize o ritmo da respiração artificial com a natural.

- Depois de recuperada a vítima, mantenha-a em repouso e agasalhada, não permitindo que se levante ou se sente, mesmo que para isso precise usar força, não lhe dê de beber, a fim de evitar que se engasgue, após a recuperação total da vítima, pode dar-lhe então café ou chá quente.

- Não aplique injeção alguma, até que a vítima respire normalmente.

- Este caso aplica-se em qualquer caso de colapso respiratório, como no caso de pessoas intoxicadas por gases venenosos ou que sofram afogamentos.

- Na maioria dos casos de acidente por choque elétrico, a MORTE é apenas APARENTE, por isso socorra a vítima rapidamente sem perda de tempo.

### **Método de salvamento artificial “Hoger e Nielsen”**

- 1-Deite a vítima de bruços com a cabeça voltada para um dos lados e a face apoiada sobre uma das mãos tendo o cuidado de manter a boca da vítima sempre livre.
- 2-Ajoelhe se junto à cabeça da vítima e coloque as palmas das mãos exatamente nas costas abaixo dos ombros com os polegares se tocando ligeiramente.
- 3-Em seguida lentamente transfira o peso do seu corpo para os braços esticados, até que estes fiquem em posição vertical, exercendo pressão firme sobre o tórax.
- 4-Deite o corpo para trás, deixando as mãos escorregarem pelos braços da vítima até um pouco acima dos seus cotovelos; segure os com firmeza e continue jogando o corpo para trás, levante os braços da vítima até que sinta resistência: abaixe os então até a posição inicial, completando o ciclo, repita a operação no ritmo de 10 a 12 vezes por minuto.

### **Método da respiração artificial Boca-a-Boca**

- 1- Deite a vítima de costas com os braços estendidos.
- 2- Restabeleça a respiração : coloque a mão na nuca do acidentados e a outra na testa, incline a cabeça da vítima para trás.
- 3- Com o polegar e o indicador aperte o nariz, para evitar a saída do ar.
- 4- Encha os pulmões de ar.
- 5- Cubra a boca da vítima com a sua boca, não deixando o ar sair.
- 6- Sopre até ver o peito erguer se.
- 7- Solte as narinas e afaste os seus lábios da boca da vítima para sair o ar.
- 8- Repita esta operação, a razão de 13 a 16 vezes por minuto.
- 9- Continue aplicando este método até que a vítima respire por si mesma.

Aplica-se a respiração artificial pelo espaço aproximado de 1 minuto. Sem que a vítima dê sinais de vida, poderá tratar se de um caso de Parada cardíaca.

Para verificar se houve Parada Cardíaca, existem 2 processos :

- 1- Pressione levemente com as pontas dos dedos indicador e médio a carótida, quase localizada no pescoço, junto ao pomo de Adão (Gogó ).
- 2- Levante a pálpebra de um dos olhos da vítima, de a pupila ( menina dos olhos ) se contrair, é sinal que o coração está funcionando, caso contrario, se a pupila permanecer dilatada, isto é, sem reação, é sinal de que houve uma parada cardíaca.

Ocorrendo a Parada Cardíaca :

Deve se aplicar sem perda de tempo, a respiração artificial e a massagem cardíaca, conjugadas.

- 1- Esta massagem deve ser aplicada sobre o coração, que está localizado no centro do Tórax entre o esterno e a coluna vertical.
- 2- Colocar as 2 mãos sobrepostas na metade inferior do esterno.
- 3- Pressionar, com suficiente vigor, para fazer abaixar o centro do Tórax, de 3 a 4 cm. Somente uma parte da mão deve fazer pressão, os dedos devem ficar levantados do Tórax.
- 4- Repetir a operação : 15 massagens cardíacas e 2 respirações artificiais, até a chegada de um médico.

## **3.7 Aterramentos**

Denomina-se aterramento a ligação com a massa condutora da terra, os aterramentos devem assegurar de modo eficaz a fuga de corrente para a terra, propiciando as necessidades de segurança e de funcionamento de uma instalação elétrica. O valor da resistência de aterramento deve satisfazer às condições de proteção e funcionamento da instalação elétrica, de acordo com os esquemas de aterramento.

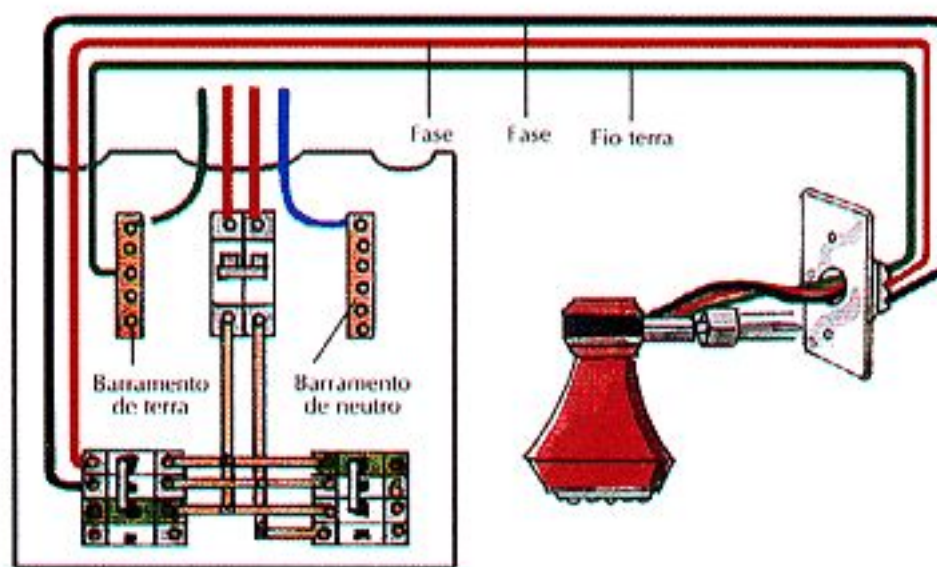


Figure 3.3: Ligação de chuveiro elétrico com fio terra ou condutor de proteção

### 3.7.1 Esquemas de Aterramento

Para classificar os esquemas de aterramento é utilizada a seguinte simbologia :

\* A primeira letra representa a situação da alimentação em relação a terra

T = um ponto diretamente aterrado.

I = isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de uma impedância.

A segunda letra representa a situação das massas da instalação elétrica em relação à terra

T = massas diretamente aterradas, independente do aterramento eventual de um ponto da alimentação.

N = massas ligadas diretamente ao ponto da alimentação aterrado ( em CA o ponto aterrada é normalmente o neutro ) ;

\* outras letras indicam a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção

S = funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos.

C = funções de neutro e de proteção combinadas em um unico condutor.( condutor PEN )

A NB-3 fixa os seguintes esquemas de aterramento:

#### Esquema TN

Este esquema possui um ponto de alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutor de proteção, são considerados 3 tipos de esquemas TN :

TN-S, o condutor neutro e o de proteção são distintos

TN-C-S, o condutor neutro e o de proteção são combinados em um único condutor em uma parte da instalação.

TN-C, o condutor neutro e o de proteção são combinados em um único condutor ao longo de toda a instalação.

#### Esquema TT

Este esquema possui um ponto de alimentação diretamente aterrado, estando as massas da instalação ligadas a eletrodos de aterramento eletricamente distintos do eletrodo de aterramento da alimentação.

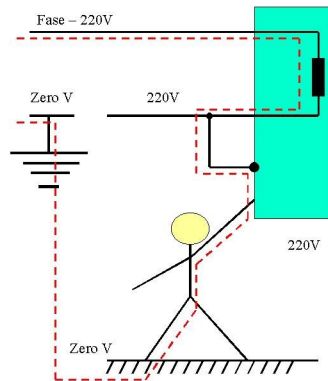
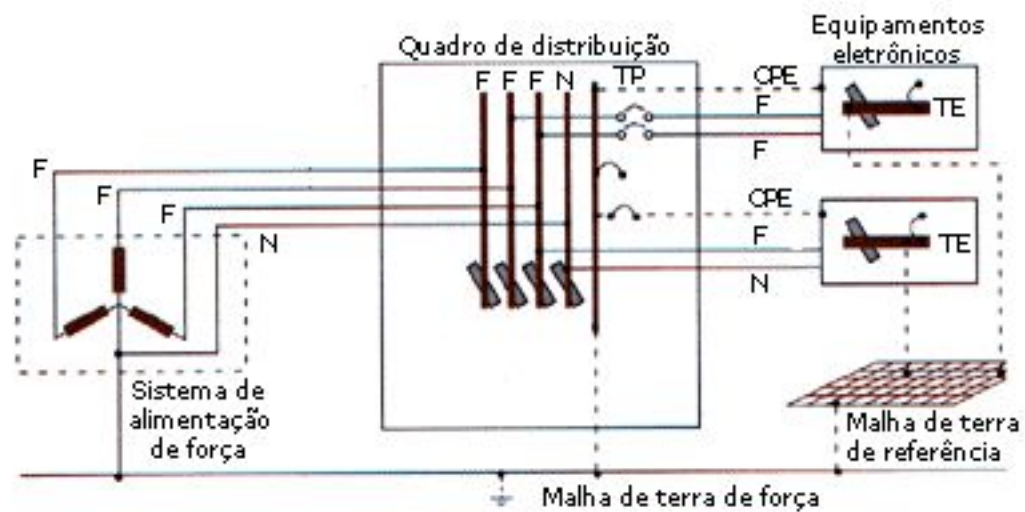


Figure 3.4: Aterramento (**errado**) do neutro e choque elétrico quando ocorre defeito na rede.



- F - Fase
- N - Neutro
- TP - Barra de aterramento que recebe o condutor de proteção. (retorno de defeito fase-terra)
- TE - Barra de terra de referência para equipamentos eletrônicos. (isolada do quadro)
- CPE - Condutor isolado de proteção dos quadros de equipamentos eletrônicos.

Figure 3.5: Ligação do neutro do transformador (centro da estrela) ao aterramento.

**Esquema IT**

Este esquema não possui nenhum ponto de alimentação diretamente aterrado, somente as massas da instalação são aterradas

**3.7.2 Ligações à Terra**

Os aterramentos podem ser ligados em conjunto ou separadamente, para finalidades de proteção ou funcionais de acordo com as exigências da instalação, no Brasil a maioria das instalações são separadas apesar da terra ser sempre terra, as concessionárias de força e de telefonia sempre exigem seus terras independentes, sem falar das companhias de informática que também querem o seu. Aterramentos separados causam diferença de potencial entre eles o que pode causar problemas na instalação, a NB-3 recomenda que seja instalado um condutor principal de equipotencialidade que reúna :

- \* condutor de proteção principal
- \* condutor de aterramento principal
- \* condutor de aterramento dos sistemas

**3.7.3 Eletrodos de Aterramento**

O tipo e a profundidade de instalação dos eletrodos de aterramento devem ser de acordo com as condições da solo, a eficiência de qualquer eletrodo depende das condições do local, o projeto deve considerar o desgaste do eletrodo devido a corrosão, aqui no Brasil os eletrodos mais usados são os do tipo Copperwel. Na instalação dos eletrodos deve tomar o cuidado do tipo de fechamento da malha se em triângulo ou linear, todos sabemos que para efeito de curto - circuito o fechamento linear é mais eficiente, para correntes de descarga atmosféricas o fechamento mais indicado é o triângulo. Mas como atender aos 2 casos se deve haver equiipotencialidade entre os aterramentos? É simples o que interessa a corrente de fuga é como ela vê o aterramento antes de sua chegada a malha, ou seja os cabos de descida dos sistemas de pára-raios devem ser interligados em eletrodos que inicialmente possam propiciar fácil escoamento, ou seja as primeiras hastes devem estar interligadas na forma de triângulo, o restante da malha não interessa.

**3.8 Ligação de circuitos com gerador, amperímetro, voltímetro e carga****3.8.1 Aplicação prática de medidas de segurança****Isolação****Aterramento****Uso de chave teste**

A resistência do corpo humano e a resistência da lâmpada teste estão em série.

**3.8.2 Ligação de tomadas e lâmpadas com segurança**

A instalação elétrica tem duas funções básicas: iluminação e distribuição de energia às tomadas. A distribuição de energia é feita ligando as tomadas em paralelo entre si. Como os cabos se limitam a transportar a corrente, em todas as tomadas existe 127 Vca ou 220 Vca (alternados), desconsiderando-se as quedas de tensão nos condutores.

Podemos ver na figura 3.6 o esquema de uma parte de uma instalação elétrica com uma tomada, uma lâmpada, e um interruptor. Dos dois fios principais saem os cabos para a tomada e para a ligação série da lâmpada e do interruptor.

### 3.9 Prevenção de Acidentes com Eletricidade

Quando se trata de medidas preventivas de choque elétrico torna-se obrigatório consultar 2 normas brasileiras : NBR 5410 e a NR 10.

A NBR 5410, intitulada de "Instalações Elétricas de Baixa Tensão", fixa condições de segurança nas instalações com tensão até 1000 Volts em corrente alternada e de até 1500 Volts em corrente contínua.

Já a a norma regulamentadora NR-10 - Instalações e serviços com eletricidade, recomenda condições mínimas para garantir a segurança das pessoas, e estabelece critérios para proteção contra os riscos de contato, incêndio e explosão, dentre outros.

No ambiente de trabalho a responsabilidade dos serviços é do pessoal da manutenção, que detém grande experiência profissional no assunto, com isso a grande maioria dos trabalhadores se coloca na condição de usuário, cabe aqui uma ressalva; os limites de atuação do usuário e do mantenedor são bem definidos.

Devemos destacar alguns aspectos:

1. O zelo pela conservação dos equipamentos elétricos é fundamental para preservar as condições de segurança.
2. É importante deixar os equipamentos elétricos ligados somente o tempo necessário para o uso. É econômico e reduz o risco de acidentes.
3. Não deixar cair pequenos objetos, dentro dos equipamentos elétricos, líquidos e outros materiais que possam provocar curto-circuito.
4. Não utilizar de improvisações, comunicar ao responsável técnico habilitado qualquer irregularidade verificada nos equipamentos e instalações elétricas.
5. Utilizar materiais, ferramentas e equipamentos dentro das normas técnicas.
6. Para medição dos circuitos utilizar apenas os instrumentos adequados, como Multímetros, Voltímetros e Amperímetros, evitando as improvisações, que costumam ser danosas.
7. Para trabalhar em segurança é necessário primeiro saber a maneira correta de funcionamento do equipamento, qual o tipo de serviço a ser realizado, observar bem o local de trabalho levantando as possíveis interferências que poderão causar algum dano.
8. Trabalhar sempre com o circuito elétrico desligado, utilizar placas de sinalização indicando que o circuito ou o equipamento elétrico está em manutenção, evitando o uso de anéis, aliança, pulseiras, braceletes e correntes.
9. Ao abrir chaves, não permanecer muito próximo para evitar o efeito do arco voltaico, sempre que realizar manobras em chaves seccionadora ou disjuntores pelo punho próprio de acionamento, utilizar luvas de PVC com isolamento de acordo com a classe de tensão do circuito a operar.
10. Na alta tensão, além de fazê-lo com o circuito desligado deve-se providenciar um aterramento múltiplo das 3 fases do circuito.
11. E nunca é demais lembrar : EM SE TRATANDO DE ELETRICIDADE A GRANDE ARMA DA PREVENÇÃO DE ACIDENTES É O PLANEJAMENTO.
12. A eletricidade não admite improvisações, ela não tem cheiro, não tem cor, não é quente nem fria, mas ela é fatal.



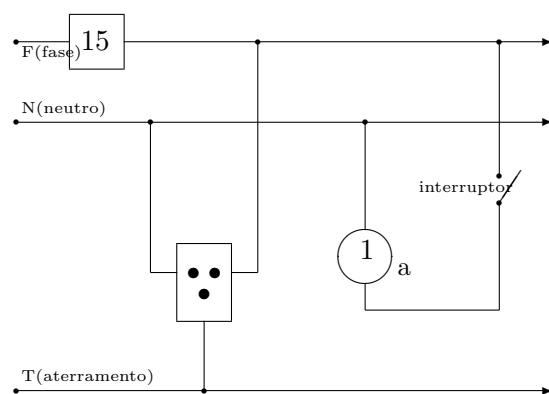


Figure 3.6: Esquema básico para ligação de tomadas e lâmpadas



## Chapter 4

# Bancada de eletrônica

Eletrônica é o campo da ciência que trata dos dispositivos eletrônicos e de sua utilização. É a parte da física que estuda e utiliza as variações de grandezas elétricas para captar, transmitir e processar informações. Trata dos circuitos elétricos e instrumentos constituídos por válvulas termiônicas, dispositivos semicondutores (tais como transistores, termitores e circuitos integrados), tubos de raios catódicos e outros componentes, entre os quais aqueles baseados no efeito fotoelétrico (células fotoelétricas, válvulas fotomultiplicadoras, etc.).

Perceberemos que no decorrer dos anos, a eletrônica assumiu grande importância em nossas vidas. Tudo que está ao nosso redor está envolvido de alguma forma com a eletrônica, que facilitou o nosso dia-a-dia. Os componentes eletrônicos foram realmente um marco nas descobertas e que nos proporcionaram um imenso avanço tecnológico e tornou mais simples nosso modo de viver.

### 4.1 Origem da eletrônica

A origem dos aparelhos eletrônicos remonta às pesquisas de Thomas Alva Edison, que em 1883 descobriu o que chamamos hoje de “Efeito Edison”, ou efeito termiônico. Ele demonstrou a formação de uma corrente elétrica fraca no vácuo parcial entre um filamento aquecido e uma placa metálica. A corrente era unidirecional e cessava se a polaridade do potencial entre o filamento e a chapa fosse invertida. Ficou comprovado que os transmissores da eletricidade estavam eletrizados. Mais tarde, estes transmissores receberam o nome de elétrons.

Em 1887, Heinrich Hertz, durante as suas experiências com arcos voltaicos, observou que a luz emitida durante a descarga de alta voltagem de um arco elétrico influía consideravelmente na descarga produzida por outro arco menor, colocado diante dele. No momento em que o menor deixava de receber a luz da descarga do maior, produzia-se uma faísca muito mais curta do que enquanto iluminado. Iniciou-se assim o estudo da Fotoeletricidade.

Em 1888, William Hallwachs demonstra que um eletroscópio com esfera de zinco perde sua carga negativa se a esfera for exposta à luz ultravioleta. O fenômeno tornou-se conhecido como “Efeito Hallwachs” e determinou serem negativas (elétrons) as cargas emitidas pela esfera de zinco sob a ação do ultravioleta.

Elster e Geitel, ambos físicos alemães, estudam o fenômeno e observam (1889) que os metais alcalinos sódio e potássio emitem elétrons também sob influência da luz comum. Trabalharam juntos pesquisando a ionização da atmosfera e o efeito fotoelétrico. Descobriram em 1899 o fenômeno da descarga de um eletroscópio na proximidade de um radioelemento e enunciaram, em decorrência dessa observação, a Lei do Decrescimento Radioativo.

Construíram a primeira célula fotoelétrica de utilização prática (1905) de elementos alcalinos; criaram o primeiro fotômetro fotoelétrico e um transformador Tesla.

Em 1897, J.A. Fleming, físico inglês, faz a primeira aplicação prática do “Efeito Edison”. É considerado

um dos pioneiros da radiotelegrafia. Usa a propriedade unidirecional da corrente movida a elétrons para criar um detector de sinais telegráficos. A válvula de Fleming é a origem do tubo díodo (1904). Esse aparelho foi a origem de todas as válvulas utilizadas em telecomunicações. Criou também um ondímetro, um amperímetro térmico para correntes de alta frequência e um manipulador de indução variável. Deve-se a ele a regra, hoje clássica, dos “três dedos”, que dá o sentido das forças eletromagnéticas. Essa regra é usada para a determinação do campo magnético, a partir do produto vetorial da carga e do campo elétrico.

Lee de Forest, inventor norte-americano, se lançou à promoção da radiocomunicação, organizando uma companhia telegráfica. Fracassou nessa primeira tentativa. Em 1906 inventa a lâmpada de três eletrólitos ou tríodo. Acrescenta um terceiro eletrólito (grade) à válvula de Fleming. A utilidade dessas válvulas como geradores, amplificadoras e detectoras, foi aos poucos impondo-se. Em 1910, transmitiu a voz do maior tenor de todos os tempos, Caruso. Mas só com a primeira Guerra Mundial sua invenção tornou-se amplamente utilizada e foi produzida em larga escala. Inventou também, o fonofílm, aparelho precursor na indústria do sistema falado.

Jonathan Zenneck, físico alemão, contribuiu para o desenvolvimento na radiotelefonia e das técnicas de alta frequência na Alemanha. Inventou o medidor de ondas elétricas (1899) e um processo para multiplicação das frequências (1900). Em 1905 desenvolve o Tubo de Braun e cria o osciloscópio catódico, origem dos cinescópios dos atuais aparelhos de televisão. Data de 1907 sua teoria da difusão das ondas elétricas. Depois da Segunda Guerra Mundial, construiu a primeira estação ionosférica alemã.

Edwin Howard Armstrong, engenheiro eletrônico norte-americano, tem como invenções no campo da radiotelefonia: o circuito regenerativo (1912), o circuito super-heteródino (1918) e o circuito super-regenerativo (1920). Desenvolveu um sistema radiofônico de frequência modulada, diminuindo as interferências nas transmissões e aumentando o nível de som.

A partir das invenções de Vladimir Zworykin, engenheiro e inventor russo, que se desenvolveu todo o sistema eletrônico da televisão moderna. É o primeiro a conseguir transformar uma imagem em uma corrente elétrica. Teve como importante trabalho a aplicação da eletrônica à medicina.

Inventor do iconoscópio, ponto de partida para o sistema de televisão, colaborou na elaboração de outros equipamentos eletrônicos, como o microscópio eletrônico.

Sir Robert Alexander Watson-Watt, físico escocês, concebeu um sistema de detecção de um objeto e de medida da distância por intermédio de ondas eletromagnéticas (1925). Dessa forma nasceu o RADAR (RADio DETECTION AND RANGING), cujas primeiras estações foram instaladas na Inglaterra.

Nos anos seguintes os aparelhos que produzem e detectam ondas eletromagnéticas - sobretudo curtas e ultra curtas - são desenvolvidos e as teorias de modulação aprofundadas. Em 1927 Carson empreende estudos matemáticos relativos ao transporte de um sinal por uma corrente elétrica portadora (modulação). A modulação de frequência é prevista por Armstrong em 1928. A modulação de uma mesma onda portadora por várias comunicações telefônicas simultâneas permite o surgimento da técnica das comunicações múltiplas com um mesmo suporte material, colocando o telefone à disposição do grande público.

Blumldin e Schönberg desenvolvem em 1930 um sistema comercial para tratar a imagem elétrica produzida pelo tubo de Zworykin para permitir o transporte à distância e a reconstituição local.

Manfred Barthélemy, físico francês, é considerado um dos criadores da televisão na França. Dedicou-se primeiro à criação de aparelhos de medição, e depois à radiofonia. Durante a Primeira Guerra Mundial, construiu instrumentos emissores e participou da instalação do centro de comunicação na Torre Eiffel. Interessou-se em seguida pela televisão, aperfeiçoando o dispositivo do escocês John Baird, e foi encarregado de uma emissão regular de TV em 1935. Por ocasião da Segunda Guerra Mundial, realizou pesquisas sobre radares. Mais tarde, criou o isoscópio, um tubo aperfeiçoado para a TV.

Manfred e René elaboraram a transformação da imagem elétrica em imagem luminosa. Câmaras, amplificadores, geradores de sinais de imagem, sinais de linha, sinais de sincronização, multiplicadores de frequência são desenvolvidos e produzidos.

Apesar do desenvolvimento de computadores digitais estar enraizado no ábaco e em outros instrumentos de cálculo anteriores, foi creditado a Charles Babbage o design do primeiro computador moderno. O

primeiro computador totalmente automático foi o Mark I, ou Automatic Sequence Controlled Calculator, iniciado em 1939 na Universidade de Harvard, por Howard Aiken, enquanto o primeiro computador digital eletrônico, ENIAC - Electronic Numeral Integrator and Calculator - que usava centenas de válvulas eletrônicas, foi completado em 1946, na Universidade da Pensilvânia.

O UNIVAC (UNIversal Automatic Computer) se tornou em 1951 o primeiro computador a lidar com dados numéricos e alfabéticos com igual facilidade. Também foi o primeiro computador disponível comercialmente, usado no censo americano da década de 50.

Os computadores de primeira geração foram suplantados pelos transistorizados, entre o fim da década de 50 e início da década de 60. Esses computadores de segunda geração já eram capazes de fazer um milhão de operações por segundo. Por sua vez, foram suplantados pelos computadores de terceira geração, com circuitos integrados (foto 3), de meados dos anos 60 até a década de 70. A década de 80 foi caracterizada pelo desenvolvimento do microprocessador e pela evolução dos minicomputadores, microcomputadores e computadores pessoais, cada vez menores e mais poderosos.

Um circuito integrado consiste de muitos elementos, como transistores e resistores fabricados em uma mesma peça de silício ou outro material semicondutor. O pequeno microprocessador mostrado acima é o coração de um computador pessoal (PC). Ele contém muitos milhões de transistores, e pode executar até 100 Milhões de Instruções por Segundo. As filas de pinos (pernas) são usadas para conectar o microprocessador à placa de circuitos.

#### 4.1.1 O Radar

Criado em 1935 por Watson-Watt. Designa um dispositivo eletrônico que permite ao homem detectar e localizar objetos à distância, e sob condições de luminosidade muito precárias para o olho humano.

O radar é largamente empregado em atividades tanto civis como militares. Suas aplicações mais comuns encontram-se na navegação aérea e marítima, para facilitar por exemplo o tráfego nos aeroportos e tornar mais simples as manobras dos navios. Os modernos aviões são equipados com radares, para que o piloto possa detectar obstáculos à sua trajetória com uma certa antecedência, realizando assim, as manobras necessárias com segurança.

Principais fins militares com que o radar é empregado:

- Detecção de aeronaves inimigas, antes que estas sobrevoem o território;
- Localização de submarinos;
- Incursões noturnas;
- Uso conjugado com outros dispositivos eletrônicos, para permitir que projéteis persigam alvos móveis;

O radar também é aplicado à radionavegação, permitindo aos aviões orientarem-se mesmo em condições de pouca ou nenhuma visibilidade. Também é usado na astronomia, especialmente no estudo da superfície dos planetas por satélites, e na meteorologia, para a previsão do tempo a curto prazo. A miniaturização dos circuitos permitiu a produção de unidades menores de radares, usadas no trânsito, pela polícia, para a detecção da velocidade dos automóveis, baseado no Efeito Doppler.

#### 4.1.2 Tungstênio, Selênio e Germânio

A descoberta de certas propriedades elétricas em alguns metais (destacadamente o tungstênio, o selênio e o germânio), foi de grande importância no desenvolvimento da indústria eletrônica, na criação de numerosos componentes e na expansão de seus usos a muitos aparelhos novos, destinados a diversas atividades técnicas e científicas. Por suas qualidades de peso e dureza, e principalmente por seu elevado ponto de fusão (3.370 C), o tungstênio é empregado na fabricação de filamentos para lâmpadas comuns e tubos de televisão. O selênio, por sua sensibilidade à luz e outras características, é utilizado nos fotômetros de aparelhos fotográficos, nas células fotoelétricas de portas automáticas, nos equipamentos preventivos de incêndios,

etc. Já o germânio, tem largo emprego em vários dispositivos semicondutores. Dos três metais, o tungstênio é o que tem maior importância comercial.

### 4.1.3 Aplicações

Os aparelhos eletrônicos têm numerosas aplicações em nosso dia-a-dia. Eles integram os sistemas de Telecomunicações, Radiodifusão, Televisão, Radio-astronomia, Telecomando e Telemedidas, Eletromedicina, aparelhagem auxiliar de navegação marítima e aérea e sistemas de aplicações industriais, entre outros.

Os aparelhos eletrônicos são capazes de medir, controlar, comandar e regular diversas operações. Destacamos o microscópio eletrônico, os contadores e detetores de partículas, os aceleradores, radiotelescópios, o eletroencefalógrafo, o eletrodiógrafo, os computadores, etc.

Existem aparelhos eletrônicos para melhorar a audição e regular o batimento cardíaco (marcapassos). O rádio e o radar aumentaram a segurança dos transportes. Computadores eletrônicos, que realizam cálculos e operações das mais complexas e variadas com uma rapidez espantosa, são usados tanto por bancos, indústrias, repartições públicas, universidades ou em mesmo casa, no mundo inteiro. O estudo de harmônicos possibilitou o desenvolvimento de sistemas de comunicação mais modernos e eficientes.

### 4.1.4 Indústria Eletrônica

Mesmo depois da invenção do triodo, os tubos eletrônicos demoraram a ser comercializados. Durante a Primeira Guerra Mundial até encontraram aplicação na radiocomunicação, mas a indústria eletrônica em si só foi surgir em 1922, com o advento das emissões radiofônicas. Entre 1922 e 1960, o total anual de vendas de equipamentos eletrônicos subiu de U\$ 60 milhões para U\$ 10,2 bilhões. Com os extraordinários progressos alcançados pelas atividades espaciais desenvolvidas principalmente na esfera estatal da economia das grandes potências, assim como pela expansão relativamente rápida das técnicas de automatização em todo o mundo, pode-se admitir que o valor dos produtos eletrônicos tem atingido, a partir da década de 70 somas muito elevadas, desempenhando um papel importante na economia mundial.

Nos países mais industrializados da América Latina, como o Brasil, o México e a Argentina, a indústria eletrônica está dando os primeiros passos, restringindo-se à produção da chamada "eletrônica de lazer", que abrange televisores, rádio-receptores e aparelhos de som em geral. Em alguns casos porém, já vemos outros aparelhos e dispositivos de aplicação técnico-científica.

### 4.1.5 Televisão

Em 1817, o químico sueco Jakob Barzelius (1779-1848) descobriu um novo elemento, o selênio, que está na origem da história da origem da televisão. Em 1873, o inglês Willwghby Smith comprovou que o selênio tinha a propriedade de transformar a energia luminosa em energia elétrica: ficava assim estabelecida a premissa teórica segundo a qual era possível transmitir imagens por meio da corrente elétrica.

Mas, somente em 1920 é que se realizaram verdadeiras transmissões de imagens, graças às experiências de dois grandes cientistas: John Logis Baird (1888-1946), no Reino Unido, e Charles F. Jenkins (1867-1934), nos EUA. Ambos utilizaram analisadores mecânicos, porém um não tinha conhecimento do trabalho do outro.

A Segunda Guerra Mundial veio atalhar o progresso da televisão. Mas, já em 1939 cinco países haviam adotado o sistema eletrônico. O pós-guerra assinalou um veloz desenvolvimento da TV

**TV a cores:** Emprega-se na TV a cores, basicamente o princípio da tricomia na arte gráfica. com a decomposição da imagem a ser transmitida em três imagens secundárias, nas cores primárias azul, verde e vermelho. O aperfeiçoamento desse sistema acompanhou o progresso da televisão em preto e branco.



Figure 4.1: Diodos e seu símbolo.

## 4.2 Elementos básicos de uma bancada

Um dos elementos básicos da bancada são as tomadas de tensões e pinagem diferentes (universal, ar condicionado, schuck, etc.) É importante ter tomadas isoladas para ligar aparelhos como geradores de sinais, osciloscópios, ponteiros de corrente, e circuito de trabalho em 110V, 220V ou 380 V.

Para proteger sua bancada e o(s) usuário(s) deve-se colocar fusíveis e disjuntores adequados conforme a seção do fio. Um dispositivo DR é obrigatório. Procure trabalhar sempre em grupo, principalmente quando a atividade é mais perigosa.

É necessário também uma série de cabinhos de diversas cores, sendo o vermelho (positivo) e o preto (negativo) os mais usados em corrente contínua. Estes podem ter terminais como flechas, plugs ou jacarés.

Um aterramento é fundamental. Com ele, podemos ‘aterrar’ o terceiro pino das tomadas monofásicas e deixar um terminal com parafuso para conectar massas de aparelhos.

Para segurana, o piso deve ser seco e ter uma boa isolamento elétrica (estrados, piso plástico ou de madeira). Cuidado com o risco de incêndio. Para isto, é necessário ter um extintor de pó químico nas proximidades.

## 4.3 Componentes eletrônicos básicos

Para realizar os projetos eletrônicos, precisamos conhecer e praticar com alguns componentes básicos, que precisamos ter em estoque na nossa bancada. Para isto podemos comprar ou fazer gavetas com separação e identificação.

Vamos agora apresentar alguns componentes eletrônicos e suas propriedades elétricas. Não serão conhecimentos suficientes para você projetar e consertar circuitos complexos, como monitores e fontes, mas darão uma boa noção sobre o que você irá encontrar pela frente.

### Diodo

O diodo é um componente classificado como semicondutor. Ele é feito dos mesmos materiais que formam os transistores e chips. Este material é baseado no silício. Ao silício são adicionadas substâncias chamadas genericamente de dopagem ou impurezas. Temos assim trechos tipo N e tipo P. A diferença entre os dois tipos está na forma como os elétrons são conduzidos. Sem entrar em detalhes sobre microeletrônica, o importante aqui é saber que quando temos uma junção PN, a corrente elétrica trafega com facilidade do treho P para o trecho N, mas não consegue trafegar no sentido inverso. O diodo possui seus dois terminais ligados às partes de uma junção PN. A parte ligada ao P é chamada de anodo, e a parte ligada ao N é chamada de catodo. A corrente elétrica trafega livremente no sentido do anodo para o catodo, mas não pode trafegar no sentido inverso.



Figure 4.2: LEDs e seu símbolo.

Por causa desta característica, os diodos são usados, entre outras aplicações, como retificadores. Eles atuam no processo de transformação de corrente alternada em corrente contínua.

### LED (Light Emitting Diode) e Display

O LED é um tipo especial de diodo que tem a capacidade de emitir luz quando é atravessado por uma corrente elétrica. Como todo diodo, o LED (Light Emitting Diode) permite a passagem de corrente (quando acende) no sentido direto, do anodo para o catodo. No sentido inverso, a corrente não o atravessa, e a luz não é emitida.

Existem LEDs que emitem luz vermelha, verde, amarela e azul. Existem LEDs que emitem luz infravermelha, usados em sistemas de alarmes. Existem ainda os que emitem luz vermelha ou verde, dependendo do sentido da corrente. São na verdade dois LEDs, um vermelho e um verde, ambos montados sobre a mesma base, e ligados em paralelo, um no sentido direto e outro no inverso. Este tipo de LED é usado, por exemplo, em gravadores de CD-ROM. Quando estão lendo, emitem luz verde ou amarela. Quando estão gravando, emitem luz vermelha.

A luz emitida por um LED parte de um pequeno ponto luminoso, onde está a junção PN. Graças ao um difusor ótico, que é uma semi-esfera, temos a sensação de que a luz sai de todo o LED, e não apenas da junção PN. Podemos ter difusores de vários formatos, inclusive retangulares. O display digital com LEDs é um conjunto com 7 LEDs, cada um deles com um difusor retangular. Muitas vezes existe um oitavo LED que indica o ponto decimal. Cada um dos segmentos do display pode ser aceso ou apagado individualmente, e dependendo da combinação, diferentes números são formados.

Uma das características do display digital formado por LEDs é sua alta luminosidade. Em aplicações em que são usadas pilhas ou baterias, este tipo de display tem um problema: o consumo de corrente é relativamente elevado para a bateria. Mais eficiente é o display de cristal líquido, que não é luminoso, mas seu consumo de corrente é muito menor. As calculadoras e relógios digitais dos anos 70 usavam displays com LEDs. As pilhas das calculadoras ficavam logo gastas. Os relógios ficavam apagados, e era preciso pressionar um botão lateral para acender o display e ver as horas. Já nos anos 80, os displays de cristal líquido passaram a ser mais comuns em calculadoras, relógios e em outros aparelhos alimentados por baterias.

### Transistor

Este é sem dúvida o mais importante componente eletrônico já criado. Ele deu origem aos chips que temos hoje nos computadores. Um processador, por exemplo, tem no seu interior, vários milhões de microscópicos transistores. Inventado nos laboratórios Bell nos anos 40, o transistor é um substituto das velhas válvulas eletrônicas, com grandes vantagens: tamanho minúsculo e pequeno consumo de energia. A figura 4.3



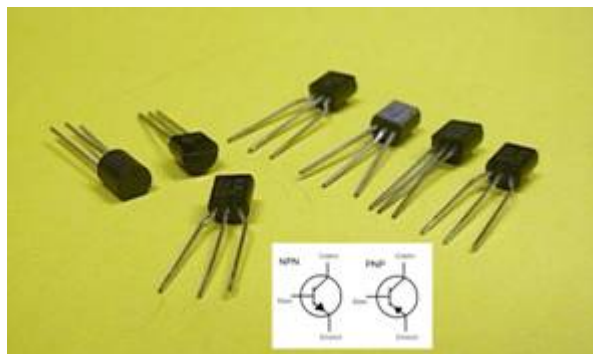


Figure 4.3: Transistores e seus símbolos.

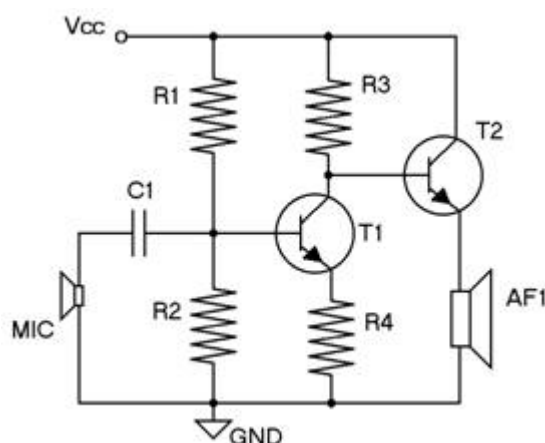


Figure 4.4: Amplificador transistorizado para microfone (MIC = Microfone, AF1 = Alto falante, VCC = Terminal positivo da bateria que alimenta o circuito, GND = Terra, ou terminal negativo da bateria).

mostra alguns transistores e seu símbolo eletrônico. Note que existem vários tipos de transistores. Quanto ao sentido da corrente elétrica, os transistores são classificados como NPN e PNP, ambos mostrados na figura 4.3.

Os transistores realizam inúmeras funções, sendo que as mais importantes são como amplificadores de tensão e amplificadores de corrente. Por exemplo, o sinal elétrico gerado por um microfone é tão fraco que não tem condições de gerar som quando é aplicado a um alto falante. Usamos então um transistor para elevar a tensão do sinal sonoro, de alguns milésimos de volts até alguns volts. Seria tensão suficiente para alimentar um alto falante, mas ainda sem condições de fornecer a potência adequada (a tensão está correta mas a corrente é baixa). Usamos então um segundo transistor atuando como amplificador de corrente. Teremos então a tensão igual à gerada pelo primeiro transistor, mas com maior capacidade de fornecer corrente.

Os aumentos de tensão e de corrente são no fundo, aumentos de energia. Esta energia não é gerada a partir do nada. O transistor retira a energia necessária a partir de uma bateria ou fonte de alimentação. A figura 4.4 mostra o diagrama do circuito simples, com dois transistores, para amplificar o sinal gerado por um microfone para que seja aplicado em um alto falante. Note que os transistores não trabalham sozinhos. Eles precisam ser acompanhados de resistores, capacitores, e dependendo do circuito, outros componentes, para realizar suas funções.

Existem transistores de baixa, média e alta potência. Quanto maior é a potência, maior é o seu tamanho.

Os transistores de alta potência em geral precisam ser montados sobre dissipadores de calor (coolers). Existem transistores especializados em operar com frequências de áudio e outros especializados em altas frequências, usados em circuitos de rádio e TV. Existem transistores especializados em chaveamento, indicados para operar em circuitos digitais. Existem fototransistores, que amplificam o sinal gerado pelo seu sensor ótico. Enfim, existem milhares de tipos de transistores, para as mais variadas aplicações.

### Regulador de tensão ou voltagem

Todos os circuitos eletrônicos necessitam, para que funcionem corretamente, do fornecimento de corrente vinda de uma bateria ou fonte de alimentação com valor constante. Por exemplo, se um circuito foi projetado para funcionar com 5 volts, talvez possa funcionar com tensões um pouco maiores ou um pouco menores, como 5,5 V ou 4,5 V, mas provavelmente não funcionará corretamente com valores muito mais altos ou muito mais baixos, como 6 V ou 4 V. Uma fonte de alimentação precisa portanto gerar uma tensão constante, independente de flutuações na rede elétrica e independente da quantidade de corrente que os circuitos exigem. Por isso todas as fontes de boa qualidade utilizam circuitos reguladores de voltagem.

É possível criar um regulador de voltagem utilizando alguns transistores, resistores e um componente especial chamado diodo Zener, capaz de gerar uma tensão fixa de referência a ser "imitada" pela fonte. Os fabricantes construíram esses circuitos de forma integrada, semelhante a um chip, usando uma única base de silício. Os reguladores mais simples têm um encapsulamento parecido com o de um transistor de potência, com três terminais. Um dos terminais é o terra, que deve ser ligado ao terminal negativo da fonte. O outro terminal é a entrada, onde deve ser aplicada a tensão bruta, não regulada. O terceiro terminal é a saída, por onde é fornecida a tensão regulada. A tensão de entrada deve ser superior à tensão que vai ser gerada. O regulador "corta" uma parte desta tensão de modo a manter na saída uma tensão fixa. Por exemplo, para alimentar um regulador de +5 Volts, podemos aplicar na entrada uma tensão não regulada de +8 Volts, podendo variar entre +6 e +10. A saída fornecerá +5 V, e o restante será desprezado.

Muitos reguladores produzem tensões fixas, mas existem modelos que podem ser ligados a uma tensão de referência que pode ser programada. Nas placas de CPU existe um circuito responsável por gerar as tensões exigidas pelo processador. A maioria dos processadores modernos requer uma fonte de +3,3 V para operações externas, e uma fonte de valor menor para as operações internas. Dependendo do processador, esta tensão pode ser de +1,3 V, +1,6V, +1,7V, +2,1V ou praticamente qualquer valor entre 1 V e 3,5 V. Nos processadores mais novos, esses valores tendem a ser menores, em geral inferiores a 2 V. O circuito gerador de voltagem da placa de CPU toma como base a tensão de +3,3 V fornecida pela fonte de alimentação do computador, e em função do valor indicado pelo processador, gera a tensão necessária. Trata-se de um regulador de tensão variável e programável.

### Soquetes, conectores e jumpers

A maioria dos componentes eletrônicos são soldados nas suas placas. Outros componentes precisam ser removidos periodicamente para substituição ou manutenção. Por exemplo, uma lâmpada não é aparafusada ou soldada diretamente aos fios da rede elétrica. Ela é presa através de um bocal, e este sim é aparafusado aos fios. O bocal é na verdade um soquete para a lâmpada, tanto que em inglês, é usado o termo socket para designar o bocal de uma lâmpada.

Da mesma forma, certos componentes eletrônicos podem precisar ser removidos, trocados ou instalados. É o caso dos processadores, memórias e alguns chips. Para isso esses chips são encaixados sobre soquetes. Os soquetes sim, são soldados nas placas de circuito, e sobre eles encaixamos os chips.

O tipo mais simples é o chamado de soquete DIP (dual in-line package). Ele é apropriado para chips que também usam o encapsulamento DIP. Existem soquetes DIP de vários tamanhos, com diferentes números de terminais (ou pinos). Podemos encontrar soquetes DIP com 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 28 pinos, e assim por diante. Em geral soquetes com mais de 32 pinos são mais largos que os com menos pinos.

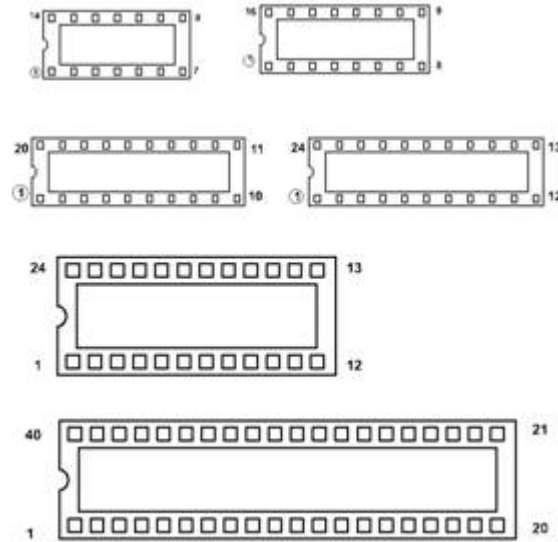


Figure 4.5: Numeração de alguns soquetes DIP.

Todos os pinos dos soquetes são numerados, porém esta numeração não está indicada, mas fica implícita. Para saber o número de qualquer pino, basta localizar a posição do pino 1. Tanto os soquetes quanto os chips de encapsulamento DIP possuem uma extremidade diferente da outra, com um chanfro ou algum tipo de marcação. Muitas vezes esta marcação está desenhada na placa (os desenhos na placa são chamados de serigrafia). Quando olhamos um soquete de tal forma que o chanfro ou marcação fique orientada para a esquerda, o pino 1 é o primeiro na parte inferior (veja a figura 4.5). Os demais pinos seguem a seqüência, até a outra extremidade. No outro lado da mesma extremidade a seqüência continua, até o último pino do soquete, que fica na mesma extremidade que o pino 1.

Quando vamos encaixar um chip em um soquete, temos que prestar atenção na orientação correta. O pino 1 do chip deve corresponder ao pino 1 do soquete. Se o encaixe for feito de forma invertida ou deslocada, o chip provavelmente queimará, e o mesmo pode ocorrer com a placa. Os chips também possuem um chanfro ou um ponto circular em baixo relevo para indicar a posição do pino 1, e a seqüência é a mesma do soquete.

Os soquetes mais sofisticados são os dos processadores. Possuem mais de 300 pinos, alguns ultrapassando os 400. O número de pinos é tão grande que o encaixe se torna difícil. Cada pino requer uma pequena força para entrar sob pressão no furo correspondente do soquete, mas quando multiplicamos esta pequena força por 400, temos uma grande força. Como seria difícil encaixar e retirar o chip do soquete, foram adotados para esses casos os soquetes de força de inserção zero (Zero Insertion Force, ou ZIF). Eles possuem uma pequena alavanca lateral que ao ser aberta aumenta os furos onde os terminais ("perninhas") do chip vão ser encaixados. O chip é posicionado com facilidade e então a alavanca é travada fazendo com que cada furo diminua e segure o terminal correspondente com boa pressão.

Em todos os processadores modernos, existem mecanismos que impedem que o encaixe seja feito de forma invertida. Existem por exemplo, furos a menos em um ou dois cantos do soquete, bem como pinos a menos em um ou dois cantos do processador, fazendo com que o encaixe só possa ocorrer na posição certa.

Devemos entretanto tomar cuidado com certos processadores antigos. Os processadores 486 e 586 não possuem diferenças entre as posições de encaixe, portanto um usuário distraído conseguirá fazer o encaixe de 4 formas diferentes, sendo uma correta e 3 erradas. As formas erradas causarão a queima do processador. Devemos portanto prestar atenção no chanfro existente no processador. Um dos seus cantos é diferente

dos outros, e este deve corresponder ao pino 1 do soquete. O pino 1 do soquete, por sua vez, é aquele mais próximo da "dobradiça" da alavanca.

De um modo geral, vários chips possuem pinos simétricos e por isso podem ser indevidamente encaixados de forma errada, causando sua queima. Ao fazer o encaixe temos sempre que procurar uma indicação de pino 1 no soquete ou na serigrafia, e a indicação de pino 1 no chip. Esta indicação é sempre apresentada na forma de um canto diferente ou marcado com um ponto. Preste atenção também na posição do chanfro existente no chip.

O slot é um tipo especial de soquete. A diferença é que normalmente são usados para o encaixe de placas, apesar de serem usados também para certos processadores.

Um slot é um conector plástico com uma, duas ou três fendas alinhadas, nas quais existem internamente, duas seqüências de contatos elétricos. A placa a ser conectada possui contatos em ambas as faces, que correspondem a contatos nessas duas fileiras do slot.

Entre 1997 e 2000, os principais processadores foram produzidos em versões para encaixe em slots. Eram os processadores Pentium II, bem como as primeiras versões dos processadores Celeron, Pentium III e Athlon. As placas de CPU correspondentes tinham slots próprios para o encaixe desses processadores. Este método de encaixe caiu em desuso, mas dependendo das características de futuros processadores, nada impede que venham a ser novamente adotados. O próprio processador Intel Itanium e seus sucessores serão produzidos inicialmente em versões de cartucho.

Normalmente os slots possuem dispositivos que impedem que seja feito o encaixe de forma invertida, ou que seja encaixada uma placa não compatível com o slot. Por exemplo, não conseguiremos instalar uma placa de vídeo AGP em um slot PCI pois a chapa traseira do gabinete do computador impedirá o posicionamento da placa. Processadores Pentium II, Pentium III e Celeron não podem ser encaixados em um slot para processador Athlon, e vice-versa, mas um usuário distraído pode conseguir posicionar o processador de trás para frente, queimando tanto o processador como a placa. Instalar processadores não é tarefa para leigos. É preciso saber reconhecer os processadores e também saber os modelos suportados por cada placa de CPU.

Um conector é uma peça contendo um grupo de contatos elétricos relacionados uns com os outros. Por exemplo, na extremidade do cabo que parte do monitor, existe um conector de 15 pinos que é ligado em outro conector correspondente da placa de vídeo. Os sinais existentes nesses 15 pinos são diferentes, mas estão relacionados entre si. Existem por exemplo 2 pinos para a transmissão do vermelho, 2 para o verde e 2 para o azul. Existem pinos para transmissão do sincronismo horizontal e sincronismo vertical.

Muitos conectores são internos, outros são externos. Os internos são usados para conexões dentro do computador. Os externos são usados para ligar dispositivos externos. Conectores trabalham aos pares, e normalmente um é chamado "macho" e o outro "fêmea". Obviamente o tipo macho é aquele com pinos metálicos, que se encaixam sobre os orifícios metalizados do conector fêmea correspondente. Realmente tem uma certa conotação sexual. Entre os conectores externos, citamos os da impressora, do teclado, do mouse, do joystick, da rede elétrica, do modem, das caixas de som e microfones e diversos outros. Todos serão apresentados em partes oportunas deste livro. Os conectores internos também são diversos: da fonte de alimentação, do disco rígido, do drive de disquetes, do drive de CD-ROM, e assim por diante. Um conector muito importante é o do cabo que liga o disco rígido à sua interface. Trata-se de um conector macho de 40 pinos, encontrado na placa de CPU. Observe que em qualquer caso existe a indicação da posição do pino 1 deste conector.

No conector da interface do disco rígido, encaixamos um cabo que leva os sinais até o disco rígido propriamente dito. Em uma das extremidades deste cabo existe um conector fêmea correspondente. Este conector é ligado a aquele existente na placa de CPU, e temos que prestar atenção na posição do pino 1. Basta observar que um dos fios do cabo é pintado de vermelho. A posição do fio vermelho corresponde ao pino 1 do conector do cabo, que deve estar alinhado com o pino 1 do conector existente na placa.

Alguns dispositivos são ligados diretamente aos outros, usando apenas conectores. O processador, as memórias e os chips são encaixados diretamente em seus soquetes. As placas de expansão são conectadas

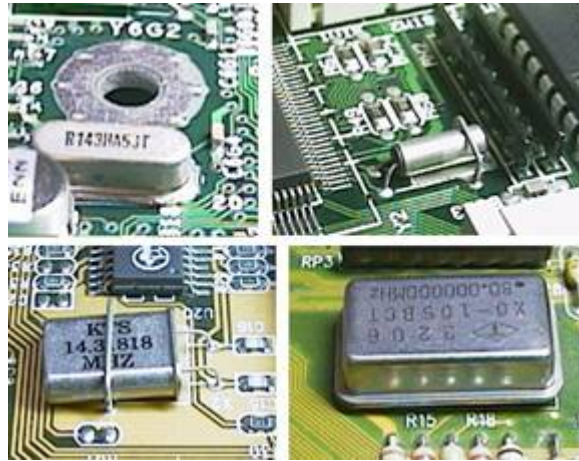


Figure 4.6: Cristais (osciladores).

diretamente nos seus slots. Existem entretanto vários casos de conexões elétricas que precisam ser feitas através de cabos. Por exemplo, o disco rígido não pode ser ligado diretamente na placa de CPU. Um cabo apropriado é então usado para esta conexão. O mesmo ocorre com o drive de CD-ROM, drive de disquetes e vários outros dispositivos. Quando o número de sinais elétricos do conector é muito grande, a forma mais eficiente de realizar a conexão é utilizando o chamado cabo flat. Existem cabos flat com diversos números de condutores. O cabo usado para o drive de disquetes usa 34 vias. Os cabos usados em discos rígidos IDE usam 40 ou 80 vias. Os cabos usados por discos e dispositivos SCSI podem usar 50, 68 ou 80 vias. Enfim, são vários padrões para diversas aplicações. Os cabos flat possuem no mínimo dois conectores, que ligam um dispositivo à sua interface. Certas interfaces permitem ligar dois ou mais dispositivos, portanto os cabos flat correspondentes possuem dois ou mais conectores.

Todos os cabos flat possuem um dos seus fios pintado de vermelho (em alguns casos de outra cor). Este é o fio número 1, que corresponde ao pino 1 de cada conector, que por sua vez têm que corresponder aos pinos 1 dos conectores onde são encaixados.

A microchave ou dip switch é um dispositivo que desempenha a mesma função que o jumper. A diferença é que seu formato é similar ao de um chip. Além disso, as microchaves são apresentadas em grupos, em geral de 4 ou 8 chaves. Cada chave pode ser posicionada nas posições ON e OFF, o que equivale a configurações com jumper e sem jumper, respectivamente.

Os jumpers e microchaves possuem várias aplicações. Nas placas de CPU, servem para habilitar e desabilitar o funcionamento da bateria, selecionar o tipo e a velocidade das memórias, a velocidade e a tensão do processador, entre varias outras funções.

### Cristal e oscilador gerador de clock

Todos os circuitos digitais dependem de uma base de tempo para poderem funcionar. Por exemplo, um relógio digital precisa de um circuito capaz de gerar pulsos digitais a cada centésimo de segundo. Nesse caso, 100 desses pulsos correspondem a 1 segundo, e a partir daí são feitas contagens de minutos, horas, etc. Outros circuitos digitais também necessitam de geradores de base de tempo similares. O cristal é o componente responsável pela geração da base de tempo. Cristais são produzidos para entrar em ressonância em uma determinada frequência. Eles são muito precisos nesta tarefa. São capazes de gerar frequências fixas, com precisão da ordem de 0,001%.

Os cristais são muito sensíveis, por isso são protegidos por um encapsulamento metálico. A figura 4.6 mostra alguns cristais encontrados nas placas de um computador.

Um cristal não trabalha sozinho na geração de frequências que mantém a cadência de funcionamento dos circuitos digitais. São usados circuitos chamados osciladores, e o cristal serve apenas como a referência para esses circuitos. Existem chips que são capazes de gerar diversos valores de frequência, a partir de um cristal de referência. Um circuito oscilador gera uma única frequência. Já um circuito gerador de clock é capaz de gerar vários valores de frequências, e cada uma delas pode ser programada, ou seja, seu valor pode ser escolhido entre várias opções. Por exemplo, certas placas de CPU podem utilizar processadores com clocks externos de 66, 100 ou 133 MHz. O valor escolhido é determinado através da programação do gerador de clock.

### Componentes SMD

Antigamente a montagem de uma placa de circuito era um processo extremamente demorado e precisava ser feito manualmente. Os componentes eram encaixados em furos existentes nas placas, e a seguir eram soldados. Eram necessárias várias horas para realizar este trabalho, e o custo final era muito elevado, já que o trabalho consumia muita mão de obra. Hoje em dia é utilizado um processo muito mais rápido, graças à tecnologia SMD (Surface Mounted Devices, ou dispositivos montados na superfície). Os componentes não têm mais terminais para serem encaixados em furos das placas de circuito. Ao invés disso, eles são colocados sobre a superfície da placa. Uma camada de pasta de solda (resina com minúsculas partículas de solda em estado sólido) é previamente aplicada sobre a placa, ainda sem componentes. A seguir uma grande máquina coloca os componentes SMD nos seus lugares. A placa é encaminhada para um forno que derrete a pasta de solda, fixando definitivamente os componentes.

Os pequenos componentes do tipo SMD não têm “perninhas” (ou terminais) como os componentes convencionais. São indicados para produção de peças em alta escala, enquanto os componentes convencionais são indicados para montagem em pequena escala.

## 4.4 Fontes de energia

### 4.4.1 Fonte de tensão contínua fixa

Vimos num capítulo anterior o uso de lâmpada série. Este será o primeiro elemento da bancada. Os seguintes serão as fontes de tensão contínua.

#### O retificador

#### O capacitor de filtragem

### 4.4.2 Fonte de alimentação CC ajustável

Essa é uma fonte de alimentação bastante especial, própria para: laboratórios científicos (física, química, biologia, experimentações em salas de aula e para exposições em Feiras de Ciências, etc). Ela fornece tensões alternadas fixas (6VAC e 12 VAC) e contínuas na faixa de 0 a 12VCC, sob corrente de intensidade até 2A. Além disso, apresenta proteção contra eventuais curtos-circuitos quando manuseada por pessoas inexperientes (ou curiosas). Essa fonte apresenta:

a) Bloco ou etapa do transformador, que reduz a tensão da rede (110/220VAC) para  $(6 + 6)$  VAC, com secundários para 2A. O transformador apresenta “center-tape” no secundário; desses três terminais recolhemos diretamente as tensões alternadas de 6 e 12 volts. Usaremos dessas tensões para a alimentação de lâmpadas de colimadores da óptica, amperímetros térmicos, pequenos motores de indução, experiências com correntes induzidas e muitos outros experimentos onde a alternância, de frequência 60Hz, for necessária.

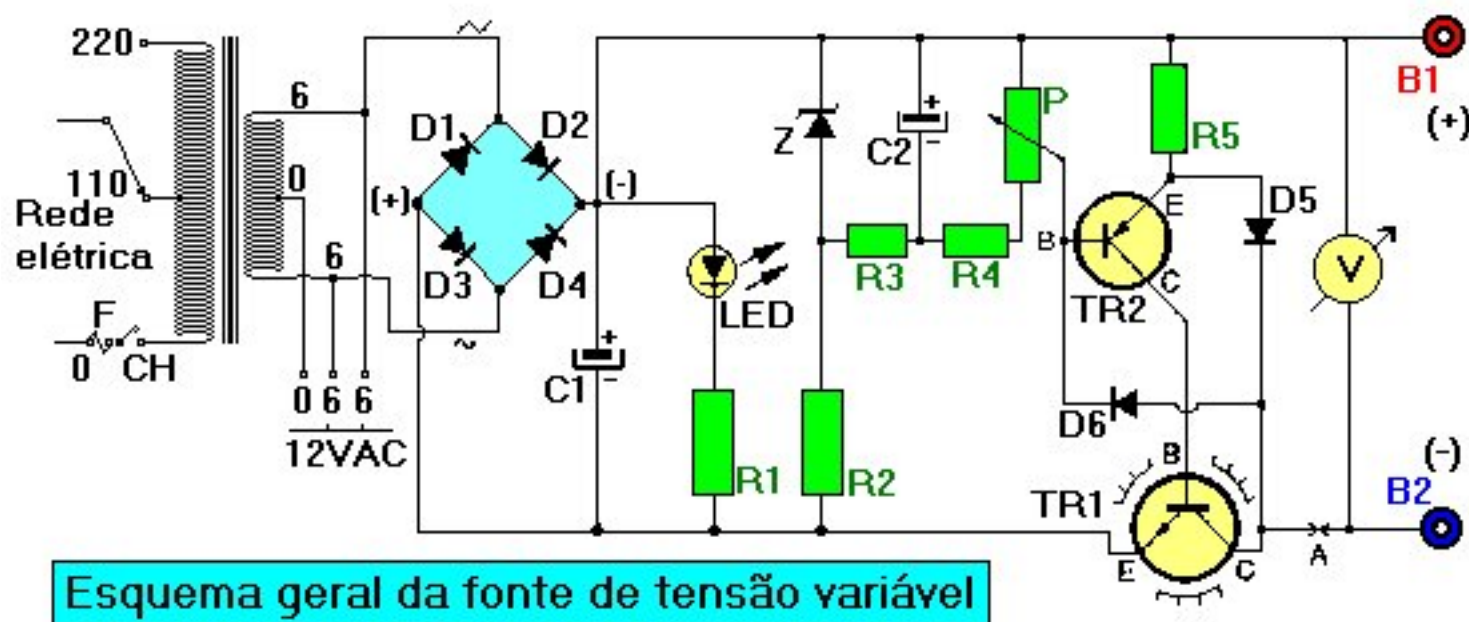


Figure 4.7: Fonte de tensão ajustável.

b) O segundo bloco efetua a retificação da corrente. Usamos, para tal finalidade, uma ponte retificadora com 4 diodos de silício, tais como 1N4004, 1N4007, BY127 etc. Essas pontes podem ser adquiridas nas casas do ramo, como um componente único, dotado de 4 terminais.

c) O bloco da filtragem, incumbe-se de minimizar as flutuações na tensão contínua obtida, constando de um capacitor eletrolítico de grande capacitância (adotamos um de  $2000 \mu\text{F} \times 25 \text{ V}$ ).

d) O bloco seguinte ocupa-se da regulação eletrônica da tensão de saída, mantendo-a no nível desejado. Constitui-se de um transistor de potência (2N3055), um diodo zener para referência de tensão ( $12 \text{ V} \times 400 \text{ mW}$ ) e um potenciômetro de carvão ( $1\text{k}$  ou  $2\text{k}\Omega$ ), no qual se efetua o ajuste da tensão de saída. Um voltímetro de ferro móvel (mais barato) ou um de bobina móvel é ligado aos terminais de saída da fonte, para a leitura do valor atual da tensão.

e) O bloco de proteção contra curtos-circuitos emprega um transistor PNP de uso geral (BC558) e dois diodos (BAX17 ou BAX18). Quando a ddp na saída cai a zero (devido a um indesejável curto-circuito), essa etapa é acionada reduzindo drasticamente a corrente que circula pelo transistor de potência, evitando assim danos à ponte retificadora, no transformador e demais componentes sujeitos a sobrecargas.

Esquema geral: na figura 4.7 temos o circuito esquemático da fonte em questão.

Lista de componentes

CH - Chave interruptora acoplada ao potenciômetro;

F - porta-fusível e fusível para 1A;

T - transformador com primário para 110V e 220V; secundário para  $(6 + 6)\text{V}$ , 2A;

D1, D2, D3, D4 - diodos de silício, 1N4007 ou equivalentes;

LED - LED vermelho;

R1 - resistor;  $470 \Omega \times 1/8 \text{ W}$ ;

R2 - resistor;  $1200 \Omega \times 1/8 \text{ W}$ ;

R3 - resistor;  $1500 \Omega \times 1/8 \text{ W}$ ;

R4, R5 - resistores;  $100 \Omega \times 1/8 \text{ W}$ ;

C1 - capacitor eletrolítico;  $2000 \mu\text{F} \times 25 \text{ V}$ ;

C2 - capacitor eletrolítico; 4,7  $\mu$ F x 16 V;

Z - zener para 12 V x 400 mW;

P - potenciômetro com chave; 1k $\Omega$  ou 2k2 $\Omega$ ;

TR1 - transistor de potência; 2N3055, com dissipador;

TR2 - transistor PNP; BC558 ou equivalente;

D5, D6 - diodos; BAX17 ou BAX18;

V - voltímetro para 12 ou 15 VCC;

A - amperímetro para 2A;

B1, B2 - bornes; vermelho (+) e preto (-);

Diversos - cabo de alimentação, placa de alumínio para dissipador, conectores "sindall", ponte de terminais, caixa para alojar a fonte, parafusos, solda etc.

Montagem: Na parte frontal da caixa utilizada para alojar a fonte (ilustração ao lado) instalam-se : o voltímetro, os bornes de saída (AC/DC), o potenciômetro (que incorpora a chave interruptora CH) e o LED indicador de "em funcionamento".

A etapa reguladora contém o transistor de potência 2N3055 montado e aparafusado sobre uma placa de alumínio de (10 x 5) cm e espessura 1,5 ou 2mm. Cantoneiras de alumínio permitem fixar essa placa (que age como dissipador de calor) na caixa. Uma estratégica ponte de terminais com dois pontos isolados e um terra, fixada no mesmo parafuso que fixa o transistor na placa, permite colocar o transistor e os dois diodos da etapa de proteção a curtos.

Transformador, diodos retificadores, capacitor eletrolítico etc., podem ser montados utilizando-se de conectores 'sindall' ou ponte de terminais. Cuidados

1) Observe bem a polaridade dos diodos de retificação, dos diodos de proteção, do diodo zener e dos capacitores eletrolíticos.

2) Tome cuidado na ligação do potenciômetro; se houver inversão, a fonte fornecerá tensão total logo que é ligada, o que não é correto. Inverta os fios dos extremos. 3) Use bornes de cores diferentes para a saída retificada e controlada; vermelho (+) e preto (-) são as cores tradicionais. Nota final

Se você dispõe de amperímetro de fundo de escala 2A, instale-o também na parte frontal da caixa (painel). Com isso terá total controle para ajustar tensões e correntes. Sua instalação elétrica é fácil, basta intercalá-lo entre o coletor do 2N3055 e o borne negativo de saída.

Uma fonte de alimentação encontra uso em uma enormidade de situações. Durante nossas sugestões nos referiremos a ela como fonte de tensão ajustável.



#### 4.4.3 Fonte de tensão chaveada

### 4.5 Geradores de sinais - formas de onda e frequência

### 4.6 Amplificadores de tensão e potência

### 4.7 Osciloscópio

#### 4.7.1 Aplicações em medidas elétricas e eletrônicas

#### 4.7.2 Partes principais de um osciloscópio

#### 4.7.3 Uso do osciloscópio para medição de sinais

#### 4.7.4 Comparador de tensão

#### 4.7.5 Amplificador de tensão

#### 4.7.6 Ligação de transistores bipolares

### 4.8 Montagens eletrônicas básicas

Nesta seção, montaremos circuitos com fontes de tensão e corrente contínua, geradores de sinais, amplificadores, e um osciloscópio.

Encontramos na internet uma série de sites, com circuitos eletrônicos básicos. É importante fazer alguns deles, para adquirirmos a técnica de montagem. Eis alguns:

<http://geocities.yahoo.com.br/transistor548/>

<http://geocities.yahoo.com.br/wmilw/links.htm>

<http://www.dee.ufcg.edu.br/gutemb/>

<http://victorian.fortunecity.com/hornton/652/projetos.htm>

Caro leitor, envie sua sugestão de site, que ela será bem vinda. Se você tem algum circuito, uma página, etc, entre em contato conosco. Obrigado.



## Chapter 5

# A eletricidade e a informática

*“Retirai o número de todas as coisas,  
e todas as coisas perecerão.  
Retirai o cálculo do mundo,  
e tudo ficará envolto na ignorância,  
e aquele que não souber contar  
não poderá distinguir-se do resto dos animais.”*  
(St. Isidoro de Sevilha)

Acreditamos que utilizar um computador ou trabalhar com o seu hardware, montando ou fazendo expansões, sem ter noções de eletrônica e programação é como dirigir um automóvel sem ter noções básicas sobre mecânica. O ideal é ter o conhecimento básico completo, mas o estudo de eletrônica básica pode ser muito demorado. Para cobrir todos os seus assuntos seria preciso uma série de livros tão extensos quanto este manual. Já que se torna impraticável para quem não dispõe de tempo, apresentamos neste capítulo um resumo de eletrônica aplicada à informação e ao cálculo. Concentraremos nossa atenção em apresentar os componentes eletrônicos usados nas placas do computador e dar noções básicas sobre soldagem e o uso do multímetro, aparelho que pode ajudar bastante um técnico. Mostramos o funcionamento dos chips, circuitos digitais e alguns outros circuitos importantes encontrados nos PCs.

O microcontrolador, o microcomputador ou a informática, hoje em dia, é um elemento indispensável para o eletricista, eletrônico ou ainda profissionais de outras áreas da ciência ou da tecnologia, em função de sua versatilidade e da enorme aplicação.

### 5.1 Um ‘pouco’ de história

Há quem goste de remontar a história dos computadores e do processamento de dados à pré-história, ligando-a a marcas em ossos ou pedras. Há quem o faça à Antiguidade, com os ábacos sumérios, chineses ou romanos. É fato que aprendemos a contar nos dedos, e que os primeiros ábacos têm cerca de 5.000 anos: os mais primitivos, simples placas de argila, madeira ou pedra, com sulcos onde pequenos seixos são deslizados, e os mais conhecidos, os de contas em armações de varetas. O termo vem do grego “ábakos”, com o significado de tábua, prancha; as demais expressões vêm do latim: dígito de “digitus” (dedo), cálculo de “calculus” (pedrinha, seixo), de onde por sua vez derivam calcular e calculadora; computar, de “computare”, justaposição de “cum” (com) e “putare” (contar); contar, por fim, é a ação de utilizar “contas”. Essa pequena incursão à origem das nossas atuais palavras, demonstra cabalmente serem esses os instrumentos mais antigos que a nossa cultura conheceu para essa função. O importante é fixar que, desde os primórdios aos nossos dias, a história do processamento de dados, e a do próprio cálculo, ligam-se cada vez mais intimamente à evolução da vida econômica e do pensamento lógico do Homem. A complexidade da civilização agrícola e urbana exigiu o aperfeiçoamento do cálculo em geral, e cada cultura encontrou soluções

próprias: os orientais até hoje recorrem ao ábaco, que permite operações velozes e confiáveis; os sumérios e egípcios: desenvolveram sistemas de contagem calendários, e os rudimentos da geometria (além da escrita para registrá-los); os gregos; afamaram-se na geometria, os romanos na engenharia; os hindus inventaram o zero trazido por árabes para o ocidente cristão medieval. Na América pré-Colombiana desenvolveram-se matemáticas complexas ligadas às observações celestes, das quais mesmo hoje, pouco conhecemos.

### 5.1.1 Da teoria à prática

Na Europa pré-Renascentista, as necessidades da burguesia e do capitalismo mercantil desenvolvem uma economia monetária e os rudimentos da Contabilidade. O aumento das receitas (e das despesas) exige novos e aperfeiçoados meios de cálculo e de controle, multiplicando as Universidades, impulsionando pesquisa e a ciência. O sucesso dessa fórmula é atestado pela passagem do capitalismo mercantil para o pré-industrial que redobra as exigências do cálculo, e prepara a fundamentação teórica que leva às máquinas de calcular. Aqui começam normalmente as cronologias das apostilas; John Napier (1550-1617), matemático escocês, inventa os Logaritmos (1614), recurso lógico que reduz a divisão à subtração e a multiplicação à adição, e os chamados “Ossos de Napier” - tabelas de multiplicação gravadas em cilindros rotativos de madeira. Devido à complexidade de cálculo dos logaritmos, o seu colega inglês William Oughtred (1574-1660) representa-os, para esse fim, em uma escala de madeira: a primeira régua de cálculo de que se tem notícia, e que alguns consideram como o primeiro computador analógico da História.

A primeira máquina de calcular de que se tem notícia é a do astrônomo alemão Wilhelm Schickard (1592-1635). Pouco se sabe desse aparelho, além de que fazia as quatro operações, e se perdeu durante a Guerra dos Trinta Anos (1618-1648). O próprio inventor, morto de peste, não pode defender a sua primazia pelo invento. Por isso, atribui-se ao matemático e filósofo francês Blaise Pascal (1623-1662) a invenção da primeira máquina (“Pascaline”, 1642), um mecanismo com capacidade para oito dígitos, efetuando apenas a adição e a subtração, construída para auxiliar o pai, um coletor de impostos. Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), alemão, aperfeiçoa esse invento, introduzindo o chamado “Cilindro de Leibniz”. Projeta ainda (1671), uma máquina que efetua as quatro operações, e que, segundo uns teria sido apresentada à Royal Society inglesa (1673), segundo outros, teria sido concluída (1694) mas apresentando problemas técnicos. Todas estas máquinas operavam em bases decimais. Calculadoras mecânicas surgem posteriormente, embora aparelhos práticos e confiáveis só estejam disponíveis na segunda metade do século XIX: William S. Burroughs inicia a produção de máquinas de somar (1866), fundando a companhia com o seu nome; comuns no início do nosso século, permanecem difundidas até serem suplantadas pelas calculadoras eletrônicas no começo da década de 70.

A Revolução Industrial traz as bases da economia de escala, e o séc. XVIII convive com vários dispositivos e máquinas para calcular, analógicos para grandezas (régua de cálculo, relógios, contadores e medidores em geral), e digitais para valores, representados por algarismos, letras ou qualquer outro símbolo (ábacos, calculadores). O princípio dos maquinismos é idêntico: o usuário alimenta os números girando uma série de botões ou rodas, acionando manualmente uma alavanca ou outra roda para efetuar a operação desejada. Esses aparelhos constituíam-se em curiosidades mecânicas, sem aplicação prática, pois o recurso a um calculista hábil era sempre mais prático e veloz. Entretanto mesmo o operador mais hábil e destro comete erros no processamento de operações longas e/ou monótonas e repetitivas. E isso se aplicava aos operários nas linhas de produção das maiores fábricas da época: a indústria de tecidos. Em 1799, numa França que sob Napoleão pretende suplantar o poderio da indústria inglesa, o inventor Joseph-Marie Jacquard (1752-1834) constrói um tear mecânico que reproduz infinitamente padrões coloridos nos tecidos, segundo instruções fornecidas por fileiras de cartões perfurados “lidos” por um sistema de pinos. Os cartões de Jacquard são o exemplo clássico de um algoritmo - especificação da sequência ordenada de passos, que deve ser seguida para a realização de uma tarefa, garantindo a sua repetibilidade. O sistema é tão prático e perfeito que milhares de tecelões desempregados se revoltam, sabotam as máquinas (do francês “sabot” - tamanco - calçado de madeira utilizado pelos operários para paralisar as engrenagens), e alguns chegam

mesmo a tentar matar Jacquard, pioneiro involuntário do desemprego industrial em massa.

Napoleão é derrotado em 1815, mas a idéia de Jacquard não, e será aproveitada justamente por um inglês - Charles Babbage (1792-1871), membro da Royal Society, professor de matemática em Cambridge, onde ocupa a mesma cadeira que pertencera a Isaac Newton.

As tabelas numéricas do Séc. XIX estão cheias de erros, e mesmo que houvessem sido calculadas corretamente, as sucessivas reimpressões perpetuamnos e acrescentam outros, novos. Inventor prolífico, de personalidade ao mesmo tempo excêntrica e genial, Babbage tem a idéia (1811) de construir uma máquina que não apenas calcule, mas também automaticamente imprima as entradas desse tipo de tabelas. Chamou-a de “Difference Engine” por calcular o que em matemática são chamadas Equações Diferenciais, apresenta em 1822 à Royal Society um protótipo que usa 8 posições decimais, e obtém um crédito do governo inglês (1823) para construí-la. Dificuldades levam-no a abandoná-la, entre outros motivos, porque os cartões perfurados de Jacquard sugerem a Babbage uma idéia muito melhor: um aparelho capaz de efetuar quaisquer cálculos de acordo com as instruções de cartões perfurados. A partir de 1834, passará as quatro últimas décadas de sua vida no projeto do que chama “Analytical Engine”, composto de quatro partes ou módulos, interligadas:

- a) Computação: adição, subtração, multiplicação, divisão e uma operação decisória elementar;
- b) Memória: um banco de mil “registradores” cada um com capacidade para 50 dígitos;
- c) Alimentação: controle/entrada de dados/instruções por cartões perfurados;
- d) Saída: relatório impresso automaticamente.

Se essa máquina houvesse sido completada, o Séc. XIX teria conhecido o primeiro computador moderno: um dispositivo com memória, controlado por um programa, utilizado para processar dados. É o programa, conjunto ordenado de instruções que determina ao dispositivo o que, como, onde e quando fazer que o torna diferente de uma calculadora. O governo inglês, sem retorno prático na primeira máquina de Babbage, não se dispôs a repetir o erro com a segunda, que jamais teve um protótipo, de qualquer maneira de construção impossível com a tecnologia e os materiais da época. Apesar disso, um programa de demonstração é escrito (1835) para sua operação, por Lady Lovelace (Ada Augusta Byron, Condessa de Lovelace, única filha legítima do poeta Lorde Byron). Ada, que além da educação formal em idiomas e música, era excelente matemática, com este programa calcularia séries matemáticas de números. É a ela - a primeira programadora - que devemos o estabelecimento de importantes funções em programação:

- \* Sub-rotinas - seqüências de instruções que podem ser utilizadas várias vezes em diversos contextos;
- \* Loops - instruções que retomam a leitura/execução de uma instrução específica, de modo que ela possa ser repetida;
- \* Salto Condicional - instrução cuja satisfação de uma condição permite ou não o “salto” para outra instrução;

O processamento de dados propriamente dito, inicia nos E.U.A. em 1886, quando o estatístico Hermann Hollerith, (1860-1929) funcionário do National Census Office, observa que o processamento manual dos dados do censo de 1880, demora cerca de 7 anos e meio para ser concluído. Raciocinando que o censo seguinte, de 1890, não estaria totalmente apurado antes do ano de 1900 devido ao aumento da população, dedica-se à construção de uma máquina para tabular esses dados. No censo de 1890, 300 de suas máquinas, baseadas nos princípios de Babbage e empregando cartões perfurados, diminuem a demora do processamento de cerca de 55 milhões de habitantes para cerca de 2 anos. O sucesso da máquina leva Hollerith a fundar a própria companhia (1896) para fabricá-la e comercializá-la: a Tabulating Machine Company. Através de uma política comercial agressiva, incorporando três outras empresas, suas máquinas serão vendidas para os Departamentos de Censo de governos de todo o mundo, e mais tarde para companhias particulares de porte. Em 1924 o nome da Companhia é alterado para IBM - Industrial Business Machines, pioneira no emprego da eletricidade para a perfuração/leitura de cartões. A tecnologia de cartões perfurados só será superada nos anos 60 deste século.

### 5.1.2 Os primeiros computadores modernos

Desde 1847 o matemático inglês George Boole (1815-1864) desenvolve os raciocínios lógico-matemáticos condicionais que levam o seu nome (Álgebra Booleana). As primeiras décadas do nosso século, em particular os anos que se seguem à 1 Guerra Mundial, encontram o mundo amadurecido, técnica e teoricamente, para a construção dos modernos computadores: o dinamarquês Valdemar Poulsen (1869-1942) efetua os primeiros registros magnéticos de dados em um fio de arame (1900), abrindo caminho para a memória magnética; o norte-americano Lee De Forest inventa a válvula (1906), artefato que consiste basicamente num interruptor eletrônico; Claude Shannon demonstra (1938) que conjuntos de interruptores eletrônicos (válvulas) podem realizar operações lógicas, abrindo caminho para os Circuitos Eletrônicos. Mas só com o advento da 2 Guerra Mundial é que as nações em conflito mobilizam os enormes recursos necessários para construir aparelhos de computação.

Na Alemanha, em Berlim, Conrad Zuze (1910-?), engenheiro aeronáutico, dedica-se a partir de 1936, a um projeto que chama de Z-1. Construído à noite, com a ajuda de amigos na casa onde mora com os pais, o Z1 efetua as quatro operações aritméticas, calcula raízes quadradas e converte números decimais em notação binária e viceversa. Desconhecendo os fundamentos de Babbage, Zuze chega a muitas conclusões semelhantes, redescobrimo os princípios da álgebra booleana também. Fixa-se na idéia de Leibniz, de representar os dados e as instruções em forma binária. Uma máquina puramente mecânica não lhe é satisfatória e Zuze considera a hipótese de uma máquina completamente eletrônica, embora a guerra não lhe permita obter os componentes necessários, e em 1941 termina um computador eletromecânico, o Z2.

O governo alemão, engajado no esforço de guerra, não demonstra interesse inicial pelo invento, mas posteriormente fornece recursos para desenvolver o Z3, um computador elétrico, com relés em lugar das juntas mecânicas utilizadas nos modelos anteriores, e um desenho mais compacto e elegante. Apesar dos bombardeios aliados, que o obrigam a mudar o local da oficina diversas vezes, e do exército alemão que o convoca para o front por dois períodos, o protótipo do Z3 é concluído. O racionamento de materiais durante a guerra impõe a improvisação de componentes a partir de peças usadas de telefones, e as instruções são alimentadas por velhas películas cinematográficas de 35mm, perfuradas com um código de oito furos por quadro. O Z3 armazena 64 palavras de 22 bits cada. A informação é introduzida por um teclado, e os resultados exibidos num painel de lâmpadas.

Todos os protótipos de Zuze são destruídos quando do bombardeio de Berlim na ofensiva final aliada em 1945, mas sabe-se que um dos seus modelos, adaptado, auxiliou os cálculos do projeto da bomba voadora alemã HS-293. O Z4, ultimo computador de Zuze no período de guerra, aumenta o tamanho das palavras para 32 bits. Levada para Gottingen quando os aliados marcham sobre Berlim, a máquina acaba em Basileia, na Suíça, onde opera até 1954. Sem conseguir fabricar computadores na Alemanha ocupada, Zuze concentra-se na teoria, desenvolvendo a linguagem “Plankalkul”. Ao conseguir novamente fabricá-los, monta a Zuze Company, a maior fabricante de computadores alemã até 1969, quando é incorporada pela Siemens.

Para os E.U.A. as informações são mais abundantes e contraditórias: ao que tudo indica, os dois projetos iniciais são militares.

O projeto do exército nasce em 1943 quando um coronel propõe a construção de uma máquina para cálculos balísticos. Esse “Computador Balístico” é construído por George Stibitz (que em 1938 apresentara trabalho sobre máquinas acionadas por relés): o programa é gravado em fita e ela efetua as quatro operações.

Ao mesmo tempo, a Marinha desenvolve um projeto próprio, secreto, de computação: de 1937 a 1943, na Universidade de Harvard, constrói um computador que permanece como segredo militar até ser dado a conhecer ao público em 1944, quando é doado à Universidade: o Harvard Mark I. Entra em funcionamento em 1943, mas apesar de ser um sucesso, estava obsoleto assim que ficou pronto, levando à construção de um modelo mais aperfeiçoado. Esse modelo seria o de uma idéia de Howard Hathaway Aiken (1900-?) em 1937, para construir uma máquina de Babbage usando equipamento de tabulação adaptado. Convencendo a IBM a entrar na construção (1939), o êxito de um primeiro protótipo, embora mecânico, anima a IBM

a investir num modelo aperfeiçoado, com relês eletromecânicos: o Harvard Mark II, de 1945. É com ele que surge o termo “bug”, que utilizamos até hoje para designar qualquer erro de programa. Quem usa a expressão pela primeira vez é Grace Murray Hopper, matemática colaboradora de Aiken, referindo-se a uma traça que acidentalmente pousando numa válvula, queimou-a, paralisando a operação do equipamento.

Até 1944, as instruções dirigidas ao computador eram armazenadas externamente à máquina (fitas perfuradas, cartões perfurados, ou pluges e fios). Em 1945, John von Neumann (1903-1957), apresenta o conceito de programação interna, armazenamento codificado de instruções na memória do computador. A idéia é posta em prática no EDVAC - “Electronic Discrete Variable Computer”, construído pela Universidade da Pensilvânia (1946) com os engenheiros John W. Mauchly e John Prosper Eckert. Este é o primeiro computador a trabalhar com números em base binária, e também com palavras, chegando a colocar uma lista de nomes em ordem alfabética.

A mesma Universidade da Pensilvânia apresenta em 1946, uma máquina onde os relês eletromecânicos são substituídos por válvulas eletrônicas. É o ENIAC - “Electronic Numerical Integrator and Computer”, primeiro computador eletrônico programável. Nele trabalham, além de Mauchly e Eckert, nomes como Alan Turing e John von Neumann. As estatísticas do projeto também estão em qualquer apostila. A máquina funcionou até 1952, quando é aposentada devido aos altos custos de manutenção e complexidade de operação.

Na Inglaterra, Alan Turing (1912-1954) retoma as idéias de Babbage e na tentativa de demonstrar se seria possível uma máquina que resolvesse quaisquer problemas matemáticos, num trabalho chamado “On Computable Numbers” (1936) aprofunda os fundamentos teóricos lógicos para os computadores, entre os quais o princípio da programação: a máquina deveria receber uma série de instruções numa fita contínua, dividida em unidades, lendo a instrução de uma unidade, processando-a e passando à unidade seguinte. Suas teorias são postas em prática na Escola de Códigos e Cifras, incumbida de decifrar os códigos “Enigma” alemães: em 1943, sob sua orientação, é construído o “Colossus”, um computador eletro-mecânico para esse fim. Vencida a Guerra, no período de 1949 a 1951 é desenvolvido o ACE - “Automatic Computing Engine”, no National Physical Laboratory, projetado pelo mesmo Turing para uso genérico, que colaborará ainda no projeto do Ferranti Mark I da Universidade de Manchester.

No período do pós-guerra, enquanto nos E.U.A. a universidade da Pensilvânia desenvolve o EDVAC, a de Cambridge trabalha no EDSAC e na Inglaterra prossegue o projeto do ACE, uma técnica liga todos: o recurso a tubos de mercúrio para armazenamento de memória. Na Inglaterra, a Universidade de Manchester, opta por utilizar tubos de raios catódicos para esse fim, com êxito em fins de 1948, o que conduz ao projeto do Manchester Mark I. Uma empresa local, a Ferranti, oferece apoio, e produz uma versão comercial (Ferranti Mark I), que chega ao mercado em fevereiro de 1951, cinco meses antes do UNIVAC norte-americano.

Em 1950, Mauchly e Eckert estão trabalhando numa máquina chamada BINAC, e montam o próprio negócio para fabricar uma versão comercial do ENIAC: a Eckert & Mauchly Computer Corporation. Convidada a fazer parte da equipe, Grace Hooper desenvolve programas de uso comercial para a máquina. É ela quem cria a primeira linguagem de programação, junto com o compilador necessário para traduzi-lo em linguagem de máquina, o AO. O projeto da empresa é chamado UNIVAC - “Universal Accounting Machine” segundo umas fontes, ou “Universal Automatic Computer”, segundo outras. As válvulas eletrônicas, que o compõem, permitem que tarefas que até então consumiam um ano, demorem apenas um dia, e é o primeiro a utilizar fitas magnéticas para alimentação e armazenamento de dados. A companhia de ambos é adquirida no ano seguinte pela Remington Rand, que no mesmo ano, tem a primeira unidade comprada pelo US Census Bureau. Em 1954 é vendida a primeira unidade a um cliente particular: a General Electric.

É partir da década de 50, que empresas como a Burroughs, NCR e outras iniciam a produção de computadores e sistemas, entrando nesse mercado em bases competitivas. A IBM já havia se apoderado do mercado com o seu IBM 650, e em 1953 chegam ao mercado os primeiros computadores para cálculos científicos, a linha IBM 701. Apesar de inventado em 1947 nos laboratórios da Bell Telephone norte-americana (William Shockley, Walter Brattain e John Bardeen ganham o Prêmio Nobel de Física de

1956 pela descoberta), o transistor apenas está disponível comercialmente a partir de 1954. Em 1959 é introduzido o IBM 1401.

### 5.1.3 A era do “chip” e o advento do microcomputador

Em 1958 Jack Kilby (Texas Instruments) descobre como reunir todos os componentes de um circuito eletrônico numa única pastilha de silício. Nasce o circuito Integrado: um “chip” de cinco peças fundidas numa única barra de 1,5 cm<sup>2</sup>. Com poucos meses de diferença, Robert Noyce (Fairchild Semiconductors) tem a mesma idéia, e na década de 60 ambos repartem as honras da invenção. O local onde funciona a Fairchild -Silicon Valley, uma região agrícola ao sul da Baía de São Francisco na Califórnia, é invadido por gigantes da microeletrônica. De lá sairão os primeiros computadores de pequeno porte, como o PDP 1, da Digital Equipment Corp., em Palo Alto.

A partir de 1962 os ingleses tentam recuperar a liderança no setor, perdida desde a década de 50 para os norte-americanos. Com a tecnologia do transistor, o ATLAS, da Universidade de Manchester, utiliza um formato de palavra de 48 bits com endereço único, memória principal de 16 Kb e ROM de 8Kb. Discos magnéticos são utilizados pela primeira vez, e o ATLAS mantém por anos a reputação de o mais avançado da época.

A corrida tecnológica dos laboratórios atinge as fábricas: a partir de 1963 inicia-se a produção comercial dos Circuitos Integrados, e já em 1964 a IBM apresenta o System 360, primeira família neles baseada. Em 1965 a DEC apresenta um minicomputador, o PDP-8, abrindo caminho para as mini-plataformas. Em 1969 a IBM “abre” a arquitetura de seus hardware e software, permitindo uma revolução de software e mais tarde de hardware.

A década de 70 traz a tecnologia LSI - “Large Scale Integration”, que concentra milhares de transistores em uma única pastilha de silício. Rapidamente passam a ser dezenas, e logo centenas de milhares (tecnologia VLSI - “Very Large Scale Integration”), o que se refletirá, inclusive, na arquitetura das máquinas. Produzidos em escala industrial, com qualidade e baixo custo, são incorporados a outros equipamentos, ampliando os benefícios do controle computadorizado: máquinas de lavar, fornos de microondas, televisores, som, vídeo e automóveis, numa revolução micro-eletrônica.

A partir desse momento, a CPU (Unidade Central de Processamento) - parte mais importante de um computador- passa a estar contida num único “chip”, o microprocessador. O primeiro é o INTEL 4004, lançado comercialmente em 1971. A Intel (Integrated Electronics) Corporation, fundada em 1968 por Gordon Moore e Robert Noyce, com o projeto de um tipo de “chip” de memória regravável, 100 vezes mais caro do que a utilizada à época, no primeiro ano de vida, dá um lucro de apenas US\$ 2,672. O INTEL 4004 com capacidade para 4 bits, manipulados em blocos de 4 dígitos binários, só pode usar pequenas quantidades de memória, o suficiente para pequenos programas de controle, e destina-se a calculadoras, caixas registradores e similares. Em 1972, é apresentado o microprocessador INTEL 8008, de 8 bits, com maior capacidade, e alguns hobbistas de eletrônica começam a pensar em construir os próprios computadores baseando-se no novo “chip”. Uma versão melhorada é apresentada em 1974, o INTEL 8080, que mudará o mundo... Com blocos de dados de 8 bits, manipula até 64 Kb de memória para programas maiores. A esta altura, outros fabricantes começam a concorrer com a INTEL: o “chip” 6800 da MOTOROLA era semelhante ao 8080 em termos de hardware, mas utiliza instruções diferentes para operar, iniciando-se os problemas de compatibilidade de software entre máquinas.

Em 1974 a IBM lança a tecnologia RISO - “Reduced Instruction Set Computer”, como alternativa à CISO - “Compact instruction Set Computer” até então vigente. A tecnologia RISO constitui-se de um conjunto de instruções reduzidas, o que torna o acesso à memória e às operações mais rápidos. Os “chips” RISO são utilizados em estações de trabalho (“workstations”), acelerando trabalhos gráficos e operações científicas que exigem grandes cálculos.

A edição de julho de 1974 da revista norte-americana Radio Electronics, publica um artigo acerca de um computador caseiro baseado no microprocessador INTEL 8008. Mais de dez mil leitores adquiriram os



esquemas de construção detalhados, embora devido à complexidade do projeto e à dificuldade de obtenção dos componentes necessários, não se possa quantificar os que chegaram efetivamente a montá-los.

A edição de janeiro de 1975 da revista Popular Electronics apresenta o ALTAIR 8800, um microcomputador também baseado no Intel 8008, assim batizado devido a um episódio da série televisiva "Star Trek". Um kit completo para a montagem do ALTAIR é oferecido por US\$ 397 (trinta a mais que o custo do microprocessador), mais despesas de correio, por uma empresa de Albuquerque, no Novo México, a MITS - "Micro Instrumentation Technology Systems". Seu dono, Edward Roberts, engenheiro aposentado da USAF, tenta com isso salvar a empresa, ameaçada de falência após o fracasso do lançamento de uma calculadora eletrônica. Pega um empréstimo bancário de US\$ 65,000, comprometendo-se a vender 500 kits em um ano, mas a resposta dos leitores é avassaladora, inundando a MITS com ligações telefônicas, e em apenas um mês essa quantidade é alcançada. No ano de 1975 a empresa vende um milhão de dólares, três milhões no ano seguinte, atingindo em 1977 o faturamento recorde de US\$ 20 milhões.

O sucesso da MITS incentiva dezenas de outras companhias a produzir os próprios modelos. A MicroSoft Corporation nasce quando dois estudantes de Harvard, William Henry Gates III (Bill Gates) e Paul Allen, constituem uma sociedade para desenvolver software. O primeiro produto é um interpretador BASIC (desenvolvido num DEC PDP-10), vendido para a MITS, fabricante do Altair, e que passa a fazer parte do "kit" do micro.

Entretanto, o grande impulso para a popularização dos micros vem da fundação da APPLE, em 1976. Dois jovens engenheiros - Steven Jobs e Steve Wozniak - com 21 e 26 anos respectivamente, vendem todo o patrimônio pessoal (uma calculadora eletrônica e uma kombi), e com o capital assim obtido, e uma garagem emprestada por parentes, desenvolvem o APPLE I - o microcomputador mais simples até então construído, com memória, UCP, entrada e saída montados numa única placa de circuitos. O microprocessador é o Mostec 6502 de 8 bits. Esse primeiro projeto (ironicamente rejeitado pela Hewlett Packard) vende, de imediato, 50 unidades. Animada, a dupla apresenta a placa no Homebrew Computer Club, um grupo de hobbistas em São Francisco/Califórnia, que recebe a idéia calorosamente, incentivando a dupla a fundar a APPLE Computer Company (mais tarde APPLE Inc.).

No mesmo ano, na Inglaterra, Clive Sinclair lança o ZX 80, baseado no "chip" Zilog Z80, de 8 bits, o computador pessoal mais barato do mercado (menos de US\$ 150), graças à racionalização do projeto, com a metade dos componentes utilizados nos concorrentes. Além do baixo preço, o sucesso da máquina deve-se ainda ao poderoso BASIC nela instalado. O modelo vende 50.000 unidades em poucos meses, estimulando o lançamento do ZX81, ainda menor e mais avançado (apenas 4 chips). Este, vende mais de um milhão de unidades em apenas dois anos, devolvendo a Inglaterra ao páreo da corrida tecnológica. O Sinclair Spectrum (1982) será o responsável pela introdução da cor nos micros da família Z80.

No ano seguinte ao lançamento, a placa em que se constituía o APPLE I recebe um microprocessador Rockwell 6507 (também de 8 bits, da família do Mostec 6502), uma caixa com teclado e um monitor: está lançado o "desktop" APPLE II, o primeiro a ser aceito por usuários comerciais. Isso se deve, além do BASIC incluído, a um programa simples, uma planilha de cálculo chamada VisiCalc. É o primeiro micro a ter unidade de disco flexível, uma prática adaptação para 5 1/4" do disco flexível de 8".

Também em 1977, a canadense Commodore Business Machines lança o PET 2001 ("Personal Electronic Transactor"), baseado no mesmo Mostec 6502. Seguir-se-ão os lançamentos do VIC-20 (1981), com um milhão de unidades vendidas, do famoso C-64 de 8 bits, também baseado no 6502 e com capacidade para processar som, e do C-128, que jamais obteve a mesma repercussão.

O estrondoso sucesso de vendas do APPLE leva a Tandy Corporation a entrar no ramo, lançando através de sua rede de lojas - a Radio Shack - o TRS-80 Model I ("Tandy Radio Shack"), o Model II e finalmente o TRS-80 Model III, todos com base no "chip" Z80 de 8 bits.

Aproveitando essa tecnologia, entra ao mesmo tempo no universo dos videogames com o TandyVision.

Em 1978 a INTEL anuncia o chip 8088, de 16 bits como o 8086, mas com um projeto mais simples, e capacidade de processamento semelhante ao "mainframe" IBM 360/50. O micro doméstico, neste momento já é uma realidade: o mercado está ávido pelo produto a um custo razoável, e as empresas esforçam-se

para atender a demanda. De apenas CPUs com microprocessadores de 8 bits, memória de até 240 Kb, ligados a aparelhos domésticos de televisão, os dados armazenados em fitas K7, a sua capacidade aumenta e o emprego de disquetes de 5 1/4" difunde-se. Paralelamente à indústria de hardware, desenvolve-se a de periféricos, e, rapidamente, a de software, para atender a demanda crescente de utilitários e de jogos. A partir de 1980 os microcomputadores tomam-se acessíveis ao grande público, a preços cada vez menores, e é significativo que em 1982 a revista norte-americana TIME eleja o micro como "Homem do Ano".

Com atraso em relação aos concorrentes, a IBM entra no mercado de computadores pessoais lançando em 12/08/81 o seu IBM-PC ("Personal Computer"), baseado num processador INTEL 8088, de 16 bits. O sistema operacional que escolhe como padrão é o da MicroSoft, o DOS 1.0. A entrada da "Big Blue" nesse segmento consolida definitivamente a importância do microcomputador. Apoiada nos seus poderoso marketing, tradição, e na sua capacidade industrial e de vendas, o PC transformou-se na máquina profissional por excelência, abrindo as portas de um mercado milionário... Por ironia, aparentemente, a própria IBM, acorrentada aos velhos tempos, em que o tamanho do computador era documento, não se deu conta de que o PC representava uma revolução. A concorrência sim, e rapidamente entra em campo para fabricar os chamados PC-compatíveis (a IBM abriu sua arquitetura desde 1969), que em poucos anos abocanham

84 Para fazer frente ao sucesso do IBM-PC, a APPLE lança o MACINTOSH (1983), o primeiro computador pessoal com interface gráfica, outra revolução: um micro ainda mais fácil de ser utilizado por um leigo. Além de possibilitar o uso de cor, gráficos e fórmulas, traz uma novidade para permitir a utilização do interface gráfico: um periférico chamado "mouse", que simplifica a utilização de ícones e menus suspensos na tela. Estas inovações haviam sido lançadas um pouco antes pela própria APPLE, num modelo voltado para aplicações profissionais, o LISA. A arquitetura é baseada nas exigências do software, com um microprocessador Motorola 68000 de 32 bits.

É com base nesse mesmo Motorola, o mais avançado à época, que Jay Minner, ambicionando criar o videogames definitivo dos anos 80, projeta o LORRAINE. Funda a AMIGA, que não demora a atravessar dificuldades: segundo a "lenda", seus sócios preocupavam-se mais com videogames do que com a parte comercial. A ATARI surgiu como opção para adquirir a companhia, pretendendo incorporar o projeto ao do seu ATARI ST, mas o acordo falha e é fechado com a Commodore. O AMIGA 1000 é lançado em 1985, mas vítima de um marketing que o apresenta ao mesmo tempo como uma estação gráfica, "multitasking", profissional, pessoal e doméstico, não vende o esperado, sendo desmembrado em duas versões: o Amiga 500, destinado a aplicações domésticas, e o Amiga 2000, destinado a aplicações profissionais: nascia a família Commodore/Amiga, que hoje, junto com o Apple/Macintosh e o IBM/PC são as linhas pessoais mais populares do planeta.

Em 1987, visando reconquistar o público e liquidar a concorrência, a IBM lança uma segunda geração de computadores pessoais - a linha PS, destinada a substituir a linha PC. O PS/2, de 32 bits, uma nova família operando com o sistema operacional OS/2, é apresentado como uma grande evolução no mercado. Na verdade, desenvolvido originalmente para ser o "Windows" dos computadores de grande porte, por exigências estratégicas foi estendido aos microcomputadores. A idéia principal reside no fato de que o PC, por se constituir num sistema aberto, pode ser copiado livremente. Mas quem deseje produzir clones do PS/2 deve pagar royalties à iniciadora da tecnologia, e a IBM esperava com isso, aplicar um cheque-mate aos concorrentes, pois líder de mercado, acreditou que os consumidores abraçariam imediatamente o novo produto, forçando a que os concorrentes, sem clientes, fossem obrigados a produzir cópias do PS/2, pagando-lhe royalties. Os consumidores, entretanto, continuam a preferir os micros PC, ao mesmo tempo em que os preços continuam em queda livre, dando prejuízo à IBM, e reduzindo ainda mais sua participação no mercado.

Em maio/93 a Intel lança o microprocessador Pentium, sucessor do 80486 e com o dobro do seu desempenho, destinado a "mainframes". Para os micros, é preparado o Intel Pentium Over Drive, de 32 bits, que pode ser instalado pelo próprio usuário na placa-mãe, num soquete azul destinado a esse fim. O mercado, hoje em 1995, dispõe, rompidas as limitações iniciais do Pentium, de versões de 60,

66, 90 e 100 MHz, capacidade mais do que suficiente para rodar as aplicações comuns de um PC DOS. E novamente o Apple/Macintosh sai na frente com o PowerMac, baseado no Power PC 601 RISC de 60 MHz, enquanto a mídia da IBM promete o seu Power PC, baseado no Power PC 615, que também poderá ser colocado nos "slots" overdrive preparados para receber os Pentium. Enquanto isso, o lançamento do Commodore Amiga CD-32 revoluciona o mercado de aparelhos domésticos de lazer, prometendo substituir os CD, os V-K7; os Videogames e o próprio computador pessoal com disquetes, ao mesmo tempo em que a notícia de que a Commodore Amiga será vendida, despertam as declarações dos fabricantes de soft e de hardware de que continuarão produzindo enquanto houver demanda por parte dos usuários, demanda essa que permanecerá forte, por pelo menos mais cinco anos enquanto o preço das máquinas estiver caindo, num fenómeno semelhante ao que acontecera com o C-64, que mesmo completamente obsoleto em 1992, ainda era produzida e exportado para os países do Leste Europeu, e com o próprio IBM-PC, do qual ainda existem exemplares de XT e AT 286 rodando comercialmente, embora a preços cada vez menores.

Do terreno do "hardware", a disputa invade o mercado milionário do "software", onde sistemas operacionais, de redes, plataformas, programas de suporte, aplicativos, e jogos, disputam a atenção e a preferência do usuário. O terreno de batalha é a mídia, num conflito onde as armas são as promoções, a compatibilidade de sistemas, o suporte ao usuário e expressões como SOHO, "user friendly" e "WYSIWYG" ("what you see is what you get") são os gritos de guerra. Em tempos de sistema operacional OS/2 WARP (olha "Star Trek" de volta - deu certo para o Altair...), de "chips" Pentium com defeito de fábrica sendo substituídos pela Intel, e de máquinas Power, quem consegue prever o futuro?

## 5.2 Montagem de circuitos digitais

Nesta seccão, iremos montar circuitos digitais simples, tais como operadores lógicos (AND, OR, NAND, NOR), em TTL e CMOS. Faremos também ligação de displays, memórias e contadores.

### 5.2.1 Tacômetro

Instrumento essencial em nossa bancada. Serve para medição da rotação de motores e geradores.

### 5.2.2 Entrada e saída de dados para o computador

Neste espaço, iremos estudar o uso do computador para medição e controle de sinais do mundo real.

## 5.3 Microcontroladores

São pequenos circuitos integrados programáveis, chamados PIC.

## 5.4 Uso do computador para simulação de sistemas

### 5.4.1 Diagrama de blocos

### 5.4.2 Linguagens de programação

### 5.4.3 Funções matemáticas

Neste espaço, iremos estudar os conceitos de derivada e integral de uma função, usando o computador. Você irá gostar cada vez mais da matemática!

### Conceito de derivada de uma função

O conceito de função que hoje pode parecer simples, é o resultado de uma lenta e longa evolução histórica iniciada na Antiguidade quando, por exemplo, os matemáticos Babilónios utilizaram tabelas de quadrados e de raízes quadradas e cúbicas ou quando os Pitagóricos tentaram relacionar a altura do som emitido por cordas submetidas à mesma tensão com o seu comprimento. Nesta época o conceito de função não estava claramente definido: as relações entre as variáveis surgiam de forma implícita e eram descritas verbalmente ou por um gráfico.

Só no séc. XVII, quando Descartes e Pierre Fermat introduziram as coordenadas cartesianas, se tornou possível transformar problemas geométricos em problemas algébricos e estudar analiticamente funções. A Matemática recebe assim um grande impulso, nomeadamente na sua aplicabilidade a outras ciências - os cientistas passam, a partir de observações ou experiências realizadas, a procurar determinar a fórmula ou função que relaciona as variáveis em estudo. A partir daqui todo o estudo se desenvolve em torno das propriedades de tais funções. Por outro lado, a introdução de coordenadas, além de facilitar o estudo de curvas já conhecidas permitiu a "criação" de novas curvas, imagens geométricas de funções definidas por relações entre variáveis.

Foi enquanto se dedicava ao estudo de algumas destas funções que Fermat deu conta das limitações do conceito clássico de reta tangente a uma curva como sendo aquela que encontrava a curva num único ponto. Tornou-se assim importante reformular tal conceito e encontrar um processo de traçar uma tangente a um gráfico num dado ponto - esta dificuldade ficou conhecida na História da Matemática como o "Problema da Tangente". Fermat resolveu esta dificuldade de uma maneira muito simples: para determinar uma tangente a uma curva num ponto P considerou outro ponto Q sobre a curva; considerou a reta PQ secante à curva. Seguidamente fez deslizar Q ao longo da curva em direcção a P, obtendo deste modo retas PQ que se aproximavam duma reta  $t$  a que Fermat chamou a reta tangente à curva no ponto P.

Fermat notou que para certas funções, nos pontos onde a curva assumia valores extremos, a tangente ao gráfico devia ser uma reta horizontal, já que ao comparar o valor assumido pela função num desses pontos  $P(x, f(x))$  com o valor assumido no outro ponto  $Q(x+E, f(x+E))$  próximo de P, a diferença entre  $f(x+E)$  e  $f(x)$  era muito pequena, quase nula, quando comparada com o valor de E, diferença das abcissas de Q e P. Assim, o problema de determinar extremos e de determinar tangentes a curvas passam a estar intimamente relacionados.

Estas idéias constituíram o embrião do conceito de DERIVADA e levou Laplace a considerar Fermat "o verdadeiro inventor do Cálculo Diferencial". Contudo, Fermat não dispunha de notação apropriada e o conceito de limite não estava ainda claramente definido.

No séc.XVII, Leibniz algebriza o Cálculo Infinitesimal, introduzindo os conceitos de variável, constante e parâmetro, bem como a notação  $dx$  e  $dy$  para designar "a menor possível das diferenças em  $x$  e em  $y$ . Desta notação surge o nome do ramo da Matemática conhecido hoje como "Cálculo Diferencial".

Assim, embora só no século XIX Cauchy introduzia formalmente o conceito de limite e o conceito de derivada, a partir do séc. XVII, com Leibniz e Newton, o Cálculo Diferencial torna-se um instrumento cada vez mais indispensável pela sua aplicabilidade aos mais diversos campos da Ciência.

### Sobre a história do Cálculo

"O Cálculo" é uma expressão simplificada, adotada pelos matemáticos quando estes se referem à ferramenta matemática usada para analisar, qualitativamente ou quantitativamente, variações que ocorrem em fenómenos que abrigam uma ou mais componentes de natureza essencialmente física. Quando do seu surgimento, no século XVII, o cálculo tinha por objetivo resolver quatro classes principais de problemas científicos e matemáticos daquela época:

- 1.Determinação da reta tangente a uma curva, em um dado ponto desta.
- 2.Determinação do comprimento de uma curva, da área de uma região e do volume de um sólido.

3. Determinação dos valores máximo e mínimo de uma quantidade – por exemplo, as distâncias máxima e mínima de um corpo celeste a outro, ou qual ângulo de lançamento proporciona alcance máximo a um projétil.

4. Conhecendo uma fórmula que descreva a distância percorrida por um corpo, em um intervalo qualquer de tempo, determinar a velocidade e a aceleração dele, em cada instante ao longo de tal intervalo. Reciprocamente, a partir de uma fórmula para a velocidade ou para a aceleração de um corpo, em qualquer instante, ao longo de um dado intervalo de tempo, determinar a distância percorrida pelo corpo em tal intervalo.

Destes problemas ocuparam-se grandes cientistas do século XVII, porém o clímax destes esforços – a invenção (ou descoberta?) do Cálculo – coube a Isaac Newton e Gottfried Wilhelm Leibniz.

### **Isaac Newton (1642-1727)**

Newton nasceu em Woolsthorpe, na Inglaterra. Em 1661 ele foi admitido no Trinity College, em Cambridge, com certa deficiência em geometria. Foi graças à orientação de Isaac Barrow, um premiado matemático e professor, que Newton enveredou pelos caminhos da matemática e das ciências em geral. Fugindo da peste negra que se alastrava por Londres, Newton refugiou-se na sua terra natal, durante os anos 1665 e 1666. Naquele período, ele delineou o que viria a ser o arcabouço da ciência moderna – ele descobriu o Cálculo, reconheceu os princípios subjacentes ao movimento dos corpos do sistema planetário, conjecturou a existência da força gravitacional e determinou que a luz solar branca é composta de todas as outras cores, indo do vermelho ao violeta.

Voltando a Cambridge, em 1667, obteve o grau de mestre, tornando-se então professor no Trinity College. Dois anos depois, ele ocupou a cadeira que era do professor Barrow, e, a partir de então, um turbilhão de criatividade tomou conta do seu espírito investigativo. Para se ter uma idéia, foi nesse período que ele obteve uma formulação para a lei da gravidade, usando-a para explicar os movimentos da lua, dos planetas e das marés. Foi ainda por essa época que ele formulou as leis básicas da ótica, da termodinâmica e da hidrodinâmica, projetou e construiu o primeiro telescópio da era moderna.

### **Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716)**

Leibniz nasceu em Leipzig, na Alemanha. Um dos traços mais marcantes de sua vida foi a maestria com que ele abraçou várias áreas do conhecimento, indo do Direito à Matemática, passando pela Filosofia, pela História e pela Literatura. Seus estudos superiores sistemáticos tiveram início quando, aos 15 anos de idade, ingressou na Universidade de Leipzig para cursar Direito. Aos 20, doutorou-se nesta matéria, pela Universidade de Altdorf.

Como diplomata, Leibniz teve oportunidade de travar contato com eminentes matemáticos e cientistas de vários países, de quem recebeu decisivo estímulo para prosseguir no seu autodidatismo em matemática. Dentre tais incentivadores, vale destacar o importante papel ocupado pelo físico Christian Huygens.

Talvez uma das realizações mais marcantes, comungadas pelas vidas de Leibniz e Newton, tenha sido o fato de ambos terem inventado o Cálculo de modo independente, quer seja por motivações diferentes ou pela adoção de metodologias e terminologias também distintas. É quase consenso hoje que Leibniz o inventou cerca de 10 anos depois de Newton, mas os resultados por ele obtidos foram tornados públicos 20 anos antes dos de Newton.

Na atualidade, as noções centrais do cálculo acham-se entre as mais requisitadas nas tarefas interdisciplinares de modelagem de fenômenos inerentes às ciências exatas e da natureza, biomédicas ou sociais aplicadas, tendo ainda presença quase indispensável no âmbito das áreas que se ocupam predominantemente da geração de tecnologias.

## 5.5 Resumo e questionamentos

O chip que compõe o microcomputador, sem dúvida revolucionou o mundo, técnica, e economicamente. O próprio micro fez revoluções na Administração, na cultura e na sociedade. Se as máquinas de grande porte, os "mainframes" da década de 50/70 refletiram uma filosofia centralizadora de uma geração que se mobilizou para uma guerra mundial e viveu a "Guerra Fria" à espera do conflito que devastaria o planeta, o fruto dessa expectativa é a INTERNET, cuja filosofia é totalmente descentralizada. Em sua acelerada evolução, os computadores pessoais ganharam tal poder de processamento que passaram a assumir tarefas antes exclusivas dos mainframes. A mudança, que representa uma tendência de mercado, ganhou o nome de "downsizing", e por esse processo, numerosas empresas que por décadas se apoiaram nos "mainframes" transferem a totalidade ou parcelas de seu processamento para microcomputadores ligados em rede, a custos significativamente menores, e muitas vezes com resultados melhores, uma vez que os micros são mais versáteis. O fenômeno da descentralização, como Alvin Toffler já previra no final da década de 70 é mais profundo, é a chamada "Terceirização", que em alguns pontos já atingiu mesmo uma "Quarteirização", e no mundo da informática, com o auxílio da micro-informática, revela-se em termos de arquiteturas abertas, tanto para sistemas, quanto para programas.

Mas nem tudo são flores. Se o computador pessoal prometia reduzir drasticamente o consumo de papel nos escritórios, guardando arquivos eletronicamente, ao permitir a impressão de todos os tipos de rascunho com destino final o lixo, antes de se obter a forma definitiva do documento, fez o contrário. Junte-se a esse desperdício involuntário de papel, as centenas de manuais necessários para dominar o assunto (com cada vez maior número de páginas e menor tempo de vida útil), às dezenas de subprodutos tóxicos e não degradáveis envolvidos no processamento de informações (plásticos, cartuchos, fitas, cilindros, tintas, pilhas e baterias), sem falar dos CFCs envolvidos na limpeza industrial de placas e componentes, e temos uma indústria altamente poluente. O primeiro passo para solucionar o problema ambiental é a campanha dos produtos com o selo "Energy Star", lançada nos E.U.A. pela E.P.A. - Environment Protection Agency em meados de 1993, visando motivar os grandes fabricantes - IBM, Apple, Epson, Hewlett-Packard, Compac - a seguir normas de conservação de energia.

Existem outros pontos a questionar: o impressionante volume de recursos desperdiçados na compra de equipamentos desnecessários e/ou mal dimensionados às reais necessidades dos usuários; o fenômeno do "home-work", que para algumas mentes ingênuas tratase de uma evolução que permite maior conforto ao trabalhador, sem questionar que o principal afetado é o lazer do trabalhador, que de 40h/semanais passa a trabalhar na prática até 52 horas por semana sem controle; o fenômeno do treinamento de usuários, dilui as fronteiras entre os mundos acadêmico e profissional.

O aumento na capacidade de processamento das máquinas torna reais coisas que até ontem pertenciam à Ficção Científica. Hoje (século XXI) a multimídia é uma realidade quer com os Macintosh, os Amiga ou os PC. O grande desafio é a compatibilidade, mas da mesma forma que o CDs substituíram o vinil, e as fitas de VK7 os filme Super-8 e o próprio cinema em parte, desde já o microcomputadores domésticos estão substituindo o CDs, os vídeos, as enciclopédias, e quem sabe o que mais. Os avanços em direção à lógica "fuzzy" são visíveis tomando os programas "inteligentes": um processador de texto comum, atualmente reconhece e corrige os erros mais comuns de seu usuário. O processamento de texto já é uma conquista, e o de palavras/vozes de maneira prática não está distante.

## Chapter 6

# Sistemas de corrente alternada

São apresentados neste capítulo os conceitos fundamentais da corrente alternada, cuja compreensão é necessária para a seleção e/ou instalação de um motor, ou ainda para implementar uma usina elétrica.

Inicialmente, vamos uma avaliação dos sistemas de corrente contínua, para depois ver as vantagens do sistema de corrente alternada.

### 6.1 Evolução das redes em corrente contínua

A “potência elétrica”, em circuitos de corrente contínua, pode ser obtida através da relação da tensão  $V$ , corrente  $I$  e resistência  $R$  envolvidas no circuito, ou seja:

$$P = V I$$

ou,

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

ou,

$$P = R I^2$$

Onde:  $V$  =tensão em volt

$I$  =corrente em ampère

$R$  =resistência em ohm

$P$  =potência média em watt

Podemos fazer um pequeno cálculo e ver que a queda de tensão de um circuito de 220 V exigiria cabos tão espessos que inviabilizaria as cidades que se desenvolveram no século XX.

### 6.2 Histórico da corrente alternada

A história da eletricidade teve início começando por Benjamin Franklin até os dias de hoje. Os Sistemas de Potência em corrente alternada, como hoje são conhecidos, têm pouco mais de 100 anos. Por volta de 1876 não se sabia como transmitir a energia elétrica gerada.

De maneira resumida, os fatos marcantes da evolução dos sistemas de potência se concentram na época da realização da concorrência para a construção do complexo de Niagara Falls, o maior do mundo de então, que se iniciou em 1876. A evolução dos conceitos sobre os sistemas de potência foi marcante dentro de um período de 15 anos, praticamente definindo as características dos sistemas como hoje se apresentam.

Em 1880, Thomas Alva Edison apresenta sua lâmpada incandescente (em corrente contínua), a mais eficiente de então. Nessa época, na Europa, havia avanços na utilização de corrente alternada. Em 1882,

Edson coloca em funcionamento um sistema de corrente contínua em Nova York e funda a empresa Edison Electric Company. Em 1885, George Westinghouse Jr. compra os direitos da patente de Goulard-Gibbs para construir transformadores de corrente alternada e encarrega William Stanley dessa tarefa. Em 1886, já há cerca de 60 centrais de corrente contínua (Edison) com cerca de 150.000 lâmpadas. Na mesma época, Stanley coloca em operação a primeira central em corrente alternada (Westinghouse) em Great Barrington, Massachusetts. Os sistemas de corrente alternada se multiplicaram rapidamente e, já em 1887, existiam cerca de 121 sistemas desse tipo em funcionamento, com cerca de 325.000 lâmpadas. Entre as novas empresas, se destacam a empresa do próprio Westinghouse que cresce contabilizando 125.000 lâmpadas em corrente alternada.

A medição da energia elétrica consumida começa a ser um problema importante para os sistemas de corrente alternada. Para os sistemas de corrente contínua, existia medidores do tipo eletroquímico. Assim, os sistemas em corrente alternada cobravam por “número de lâmpadas”. A solução do problema se deu com Shallenberger, então engenheiro chefe da Westinghouse, que coloca em funcionamento um medidor de energia em corrente alternada que dava uma leitura direta de quanta energia havia sido consumida e, portanto, superior ao medidor eletroquímico de Edison.

Um desenvolvimento fundamental se deu quando da publicação, por Nikola Tesla, de um artigo em que mostrava que seria possível construir um motor em corrente alternada. Westinghouse compra a patente de Tesla e contrata seus serviços para desenvolver o motor, que só ficará pronto em 1892, e neste mesmo ano entra em funcionamento o primeiro motor de indução de Tesla. A comissão responsável pela concorrência pública para a licitação das obras de Niagara Falls decide que o sistema será em corrente alternada. Enquanto isso, na Alemanha, é colocado em funcionamento um sistema de 100 HP (74,6 kW) com transmissão de 160 km, em corrente alternada, na tensão de 30.000 V. A empresa de Edison, a Edison General Electric Company, junta-se com a Thomson-Houston, formando a General Electric que passa a produzir em larga escala transformadores e alternadores.

Em 1896, a Westinghouse ganha a concorrência para fornecer os alternadores e transformadores de Niagara Falls que entra em funcionamento em 1896.

A utilização da energia cinética e potencial das águas pela humanidade remonta a tempos imemoriais, já que desde sempre se instalaram variados dispositivos nas margens e nos leitos dos rios.

Foi, porém, no século XIX que o aproveitamento dessa forma de energia se tornou mais atraente do ponto de vista econômico pois, com a invenção dos grupos turbinas-geradores de energia elétrica e a possibilidade do transporte de eletricidade a grandes distâncias, se conseguiu obter um elevado rendimento econômico desse aproveitamento.

Ao final do século XIX, quando a atividade econômica do Brasil era significativamente agrária, a participação da eletricidade como fonte de energia era inexpressiva. Com o início da industrialização, fatores como a concentração em centros urbanos e o surgimento de uma classe média impulsionaram seu uso.

A partir de 1920 o Brasil foi tendo o seu número de usinas hidrelétricas instaladas aumentado, num crescimento constante. Estas usinas estavam geralmente associadas a regiões de atividade industrial ou atendiam às localidades definidas por concessão municipal. Com o crescimento da atividade e a necessidade de executar projetos de maior tamanho, iniciou-se um processo de fusões e incorporações entre as empresas do setor.

Desde esta época, já se verificava a primazia da hidroeletricidade, que representava 80% da potência total instalada, de aproximadamente 779 MW. Esta característica própria diferenciou a evolução da economia da energia no Brasil dos outros países de vanguarda industrial, onde predominava a termoeletricidade, com base no carvão mineral.

Seguindo uma tendência mundial, durante as décadas de 1940 e 1950 as usinas passaram a ser cada vez maiores para que se reduzissem os custos de instalação e de geração. A concentração do setor nas mãos de poucas empresas privadas dava-lhes poder para cobrar caro e influir nas diretrizes de crescimento econômico do país.



A Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás) foi criada pela Lei n 3.890-A, de 25 de abril de 1961, e instalada em 11 de junho de 1962, com o objetivo de promover estudos e projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações, destinadas ao suprimento de energia elétrica do país.

Quando foi criada, a empresa agregou como subsidiárias a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf), Furnas Centrais Elétricas, a Companhia Hidrelétrica do Vale do Paraíba (Chevap) e a Termelétrica de Charqueadas. Na época, a capacidade geradora instalada do país era de 5.800 MW.

A Eletrobrás assumiu desde o início as características de holding - núcleo de um conjunto de concessionárias com grande autonomia administrativa - e a gestão dos recursos do Fundo Federal de Eletrificação transformou-a rapidamente na principal agência financeira setorial.

Em 1964, foram ultimadas as negociações para a compra pelo governo brasileiro das concessionárias atuantes no Brasil do grupo Amforp. O negócio foi realizado em 14 de outubro e essas empresas passaram à condição de subsidiárias da Eletrobrás.

Em 1968, foi criada outra subsidiária de âmbito regional, a Centrais Elétricas do Sul do Brasil (Eletrosul) e em 1973, a última subsidiária regional da Eletrobrás foi instituída: a Centrais Elétricas do Norte do Brasil (Eletronorte). Neste último ano, a Eletrobrás estabeleceu, juntamente com a Administración Nacional de Electricidad, empresa estatal paraguaia, a Itaipu Binacional, visando à construção da hidrelétrica de Itaipu, no rio Paraná, na fronteira dos dois países.

Em seguida, a Lei n 5.899, de 5 de julho de 1973, atribuiu à Eletrobrás a competência para promover, através de suas empresas de âmbito regional, a construção e a operação de sistemas de transmissão em alta e extra-alta tensões, visando à integração interestadual dos sistemas e ao transporte de energia elétrica de Itaipu. Para tanto foram instituídos os Grupos Coordenadores para a Operação Interligada (GCOI).

Ao final da década de 1970, todas as concessionárias do setor de energia elétrica tinham capital nacional, com a compra pelo governo brasileiro das ações da Light à multinacional Brascan Limited, em janeiro de 1979.

Na década seguinte, o desempenho da Eletrobrás passou a se ressentir das dificuldades que vinham sendo enfrentadas pela economia brasileira. A recessão e a crise da dívida externa criaram um quadro de grave estrangulamento financeiro no setor. Essa situação agravou-se em 1988, com a extinção do Imposto Único sobre Energia Elétrica e a transferência para os estados da arrecadação tributária equivalente.

No início da década de 1990, o programa de obras de geração foi praticamente paralisado e foi iniciada uma reorganização institucional do setor, com a finalidade de reduzir a presença do Estado na economia. Em março de 1993, diminuiu-se o controle da União sobre os preços dos serviços de energia elétrica. Em 1995, foi sancionada pelo Executivo uma nova legislação de serviços públicos, na qual:

- regras específicas para as concessões dos serviços de eletricidade foram fixadas;
- a figura do produtor independente de energia foi reconhecida, liberando os grandes consumidores do monopólio comercial das concessionárias; e
- o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição foi assegurado.

Em maio de 1995, a Eletrobrás e suas quatro empresas de âmbito regional - Chesf, Furnas, Eletrosul e Eletronorte - foram incluídas no Programa Nacional de Desestatização. À época, o sistema Eletrobrás respondia por 48% da capacidade geradora instalada no país, totalizando 55.512 milhões de kW.

## 6.3 Sistema Interligado

As grandes usinas geradoras ficam localizadas em lugares distantes dos centros consumidores, como cidades e indústrias. Portanto, é necessária a interligação entre as usinas e os consumidores para que a energia elétrica possa ser usada. A esta interligação chamamos Sistema de Transmissão.

O que é ?

É um Sistema Interligado que permite:

- a) aos centros de consumo serem atendidos por diferentes usinas
- b) a energia elétrica seja desviada e conduzida ao destino desejado.

Como funciona?

No Brasil, o sistema de transmissão foi construído de tal forma que além desta ligação existem também diversas usinas ligadas a outras, e vários centros consumidores ligados a diferentes usinas.

Este tipo de sistema oferece diversas vantagens, principalmente quando a geração de energia elétrica é efetuada por usinas hidrelétricas:

Caso a linha de atendimento ao centro de consumo seja interrompida, este será atendido por uma outra sem que haja interrupção no fornecimento;

Sendo o Brasil um país de dimensões continentais, onde a geração de energia elétrica depende da água (chuva), o sistema interligado permite que a energia elétrica seja produzida em usinas que tenham seus reservatórios com bom acumulo d'água, enquanto as que estão em período de seca poupem água e aumentem o nível de seus reservatórios. Assim, nenhum consumidor é prejudicado pela falta de chuvas em sua região;

Normalmente, usinas geradoras devem possuir estoque para eventuais excessos de demanda e de consumo de energia. Com o sistema interligado esta sobrecapacidade pode ser menor, reduzindo os investimentos em instalações sem comprometer a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica.

A operação coordenada da geração e distribuição de energia elétrica proporciona uma disponibilidade de energia de 20 à 30 % superior àquela que seria conseguida se as usinas operassem independentemente.

## 6.4 Distribuição de energia elétrica

No Brasil, o sistema de alimentação pode ser monofásico, bifásico ou trifásico. O sistema monofásico é utilizado em serviços domésticos, comerciais e rurais, enquanto o sistema trifásico, em aplicações industriais, ambos em 60Hz.

As tensões trifásicas mais usadas nas redes industriais são:

- Baixa tensão: 220V, 380V e 440V
- Média tensão: 2.300 V, 4.160 V e 6.600 V

O sistema trifásico estrela de baixa tensão, consiste de três condutores de fase (L1, L2, L3) e o condutor neutro (N), sendo este, conectado ao ponto estrela do gerador ou secundário dos transformadores.

### 6.4.1 Monofásico

As tensões monofásicas padronizadas no Brasil são as de 127V (conhecida como 110V) e 220V.

As cargas monofásicas podem ser ligadas a duas fases (tensão de linha  $V$ ) ou à uma fase e o neutro (tensão de fase  $V_f$ ). Assim, a tensão nominal da carga monofásica deverá ser igual (ou superior em alguns casos) à tensão  $V$  ou  $V_f$  do sistema (ou da tomada em que está ligada).

Quando várias cargas monofásicas são conectadas ao sistema trifásico (formado por três sistemas monofásicos), deve-se tomar o cuidado para distribuí-las de maneira uniforme, evitando-se assim, desequilíbrio entre as fases.

#### Monofásico com retorno por terra - MRT

O sistema monofásico com retorno por terra ou MRT, é um sistema elétrico em que a terra funciona como condutor de retorno da corrente de carga. Afigura-se como solução para o emprego no monofásico a partir de alimentadores que não têm o condutor neutro. Dependendo da natureza do sistema elétrico existente e características do solo onde será implantado (geralmente na eletrificação rural), tem-se:

- a) Sistema monofilar

É a versão mais prática e econômica do MRT, porém, sua utilização só é possível onde a saída da subestação de origem é estrela-triângulo.

- b) Sistema monofilar com transformador de isolamento

Este sistema possui algumas desvantagens, além do custo do transformador.

*Características da rede de alimentação:*

- 1) Limitação da potência do ramal à potência nominal do transformador de isolamento;
- 2) Necessidade de reforçar o aterramento do transformador de isolamento, pois, na sua falta, cessa o fornecimento de energia para todo o ramal.
- c) Sistema MRT na versão neutro parcial

É empregado como solução para a utilização do MRT em regiões de solos de alta resistividade, quando se torna difícil obter valores de resistência de terra dos transformadores dentro dos limites máximos estabelecidos no projeto.

## 6.5 Parâmetros característicos dos sistemas de corrente alternada

A corrente alternada se caracteriza pelo fato de que a tensão, em vez de permanecer fixa, como entre os pólos de uma bateria, varia com o tempo, mudando de sentido alternadamente, donde o seu nome.

No sistema monofásico uma tensão alternada  $V$  (volt) é gerada e aplicada entre dois fios, aos quais se liga a carga, que absorve uma corrente  $I$  (ampére) - ver figura 1.

Se representarmos num gráfico os valores de  $V$  e  $I$ , a cada instante, vamos obter curvas em seno e cosseno. As ondas de tensão e de corrente nem sempre estão “em fase”, isto é, não passam pelo valor zero ao mesmo tempo, embora tenham a mesma frequência; isto acontece para muitos tipos de carga, por exemplo, enrolamentos de motores (cargas reativas).

### 6.5.1 Período, frequência, e velocidade angular

Se uma dada corrente é representada pela equação.

$$i = F(t)$$

e a função  $F(t)$  tem a propriedade tal que

$$F(t) = F(t + T)$$

onde  $T$  é uma constante, então a corrente é dita periódica, e  $T$  é o seu período. O inverso do período é a frequência  $f$ :

$$f = \frac{1}{T}$$

Pode-se definir também a frequência angular  $\omega$  em rad/s, como

$$\omega = 2\pi f$$

### 6.5.2 Amplitude e ângulo de fase

Uma corrente com função senoidal é uma corrente alternada que tem o seu valor instantâneo igual ao produto de uma constante (amplitude) e um cosseno de um ângulo variável linearmente com o tempo. Assim:

$$i = I_m \cos(\omega t + \theta_i)$$

A amplitude de uma corrente alternada é o seu valor instantâneo máximo. Por isto, denomina-se, neste trabalho, por letras maiúsculas com o subscrito  $m$ .

O sinal do ângulo de fase  $\theta_i$  corresponde ao sinal da corrente no instante  $t = 0$  segundos.

### Valor eficaz

O valor eficaz (ou r.m.s.) de qualquer sinal periódico seria aquele que desenvolveria, em um determinado condutor, a mesma quantidade de calor que uma corrente contínua.

Todos os instrumentos de medição para corrente alternada indicam o valor eficaz! Os instrumentos com bobina móvel e ímã permanente (BMIP) medem a corrente média, e indicam o valor da corrente eficaz, multiplicando a escala pelo fator de forma, igual a 1,1.

A equação do valor eficaz é a raiz quadrada da média quadrática dos valores instantâneos da corrente sobre um período completo.

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

Substituindo a equação da corrente, e resolvendo-se a integral, encontra-se a conhecida relação entre a amplitude e o valor eficaz:

$$I_m = I\sqrt{2}$$

### 6.5.3 Potência instantânea

Seja  $v$  o valor instantâneo da tensão de um circuito elétrico, e  $i$  a corrente instantânea. Então, a potência instantânea  $p$  é simplesmente o produto da tensão pela corrente:

$$p = v i$$

### Potência ativa ou média

Denomina-se potência ativa à média de  $p$  num período completo:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v i dt$$

Quando a tensão  $V$  é expressa em Volts, e a corrente  $I$  em ampéres, a potência  $P$  é expressa em Watts. Somente num caso especial a potência média é igual ao produto da corrente eficaz  $I$  pela tensão eficaz  $V$ : quando o fator de potência for igual a ‘um’. Entretanto, este produto nunca pode ser menor do que  $P$ . Seja a tensão e a corrente dadas pelas equações

$$v = V\sqrt{2}\cos(\omega t + \theta_v)$$

$$i = I\sqrt{2}\cos(\omega t + \theta_i)$$

então, a potência instantânea é

$$p = VI[\cos(\theta_v - \theta_i) + \cos(2\omega t)\cos(\theta_v + \theta_i) - \sin(2\omega t)\sin(\theta_v + \theta_i)]$$

Fazendo-se a média de  $p$  para um período, simplificam-se os termos em  $t$  da equação anterior, e encontra-se:

$$p = VI\cos(\theta_v - \theta_i)$$

### Exemplo

Considere-se que a tensão e a corrente instantâneas sejam respectivamente:

$$v = V_m\cos(\omega t + \theta_v)$$

$$i = I_m\cos(\omega t + \theta_i)$$

Com os sinais de tensão e corrente, obtidos experimentalmente com o auxílio de um osciloscópio, podemos determinar os valores para as amplitudes, frequência, e ângulos de fase.

Pode-se observar que:

- a) A amplitude da tensão é  $V_m$  V.
- b) A amplitude da corrente é  $I_m$  A.
- c) O ângulo de fase da tensão é  $\theta_v$  e poder ser expresso em graus ou radianos elétricos.
- d) O ângulo de fase da corrente é  $\theta_i$ .
- e) A tensão está adiantada da corrente do ângulo  $\theta = \theta_v - \theta_i$ .
- f) A velocidade angular elétrica é  $\omega$ , o período dos sinais é  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  segundos e a frequência é  $f = \frac{1}{T}$  Hz.
- g) O valor eficaz da tensão é  $V = V_m/\sqrt{2}$ , que corresponde ao valor médio lido num instrumento de BMIP (Bobina móvel e Ímã Permanente) com retificador.
- h) O valor eficaz da corrente é  $I = I_m/\sqrt{2}$ .
- i) O fator de potência da carga é

$$FP = \cos\theta$$

- j) A potência ativa média total é  $P = VI\cos\theta$  watts.

#### 6.5.4 Frequência $f$

É o número de vezes por segundo que a tensão muda de sentido e volta à condição inicial. É expressa em “ciclos por segundo” ou “hertz”, simbolizada por Hz.

#### 6.5.5 Tensão de pico ou máxima $V_{max}$

É o valor de “pico” da tensão, ou seja, o maior valor instantâneo atingido pela tensão durante um ciclo (este valor é atingido duas vezes por ciclo, uma vez positivo e uma vez negativo).

#### 6.5.6 Corrente máxima $I_{max}$

É o valor “de pico” da corrente.

#### 6.5.7 Valor eficaz de tensão e corrente $V$ e $I$

É o valor da tensão e corrente contínuas que desenvolvem potência correspondente àquela desenvolvida pela corrente alternada. Pode-se demonstrar que o valor eficaz da tensão e da corrente valem respectivamente:

$$V = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

e

$$I = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Por exemplo: Se ligarmos uma “resistência” a um circuito de corrente alternada ( $\cos\theta = 1$ ) com  $V_{max} = 311$  volts e  $I_{max} = 14$  ampéres, a potência desenvolvida será:

$$\begin{aligned} P &= V I \cos\theta \\ P &= \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} 1 \\ P &= 2.200W \end{aligned}$$

Na linguagem normal, quando se fala em tensão e corrente, por exemplo, 220 volts ou 10 ampéres, sem especificar mais nada, estamos nos referindo à valores eficazes da tensão ou da corrente, que são empregados na prática.

### 6.5.8 Defasagem $\theta$

É o “atraso” da onda de corrente em relação à onda da tensão (ver figura 1. 4b). Em vez de ser medido em tempo (segundos), este atraso é geralmente medido em ângulo (graus) correspondente à fração de um ciclo completo, considerando 1 ciclo = 360 graus.

Mas comumente a defasagem é expressa pelo cosseno do ângulo (chamado “Fator de potência”).

### 6.5.9 Potências aparente, ativa e reativa

#### Potência aparente $S$

É o resultado da multiplicação da tensão pela corrente

$$S = V I$$

para sistemas monofásicos.

Corresponde à potência que existiria se não houvesse defasagem da corrente, ou seja, se a carga fosse formada por resistências. Então,

$$P = S \cos \theta$$

Evidentemente, para as cargas resistivas,  $\cos \theta = 1$  e a potência ativa se confunde com a potência aparente.

A unidade de medida para potência aparente é o volt-ampère (VA) ou seu múltiplo, o quilo-volt-ampère (kVA).

#### Potência ativa $P$

É a parcela da potência aparente que realiza trabalho, ou seja, que é transformada em energia.

#### Potência reativa $Q$

É a parcela da potência aparente que “não” realiza trabalho. Apenas é transferida e armazenada nos elementos passivos (capacitores e indutores) do circuito.

$$Q = V I \sin \theta = S \sin \theta$$

A unidade de medida para potência reativa é o volt-ampère-reactivo (VAr) ou seu múltiplo, o quilo-volt-ampère-reactivo (kVAr).

### Triângulo de potências

#### 6.5.10 Fator de potência

O fator de potência, indicado por  $\cos \theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo de defasagem da tensão em relação à corrente, é a relação entre a potência real (ativa)  $P$  e a potência aparente  $S$ .

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

Assim,

- Carga Resistiva:  $\cos \theta = 1$
- Carga Indutiva:  $\cos \theta =$  atrasado
- Carga Capacitiva:  $\cos \theta =$  adiantado

Os termos, atrasado e adiantado, referem-se à fase da corrente em relação à fase da tensão.

Um motor não consome apenas potência ativa que é depois convertida em trabalho mecânico, mas também potência reativa, necessária para magnetização, mas que não produz trabalho. No diagrama da figura X, o fasor  $P$  representa a potência ativa e o  $Q$  a potência reativa, que somadas resultam na potência aparente  $S$ . A relação entre potência ativa, medida em kW e a potência aparente medida em kVA, chama-se fator de potência. Figura 1. 3 -O fator de potência é determinado medindo-se a potência de entrada, a tensão e a corrente de carga nominal

#### Importância do fator de potência

Visando otimizar o aproveitamento do sistema elétrico brasileiro, reduzindo o trânsito de energia reativa nas linhas de transmissão, subtransmissão e distribuição, a portaria do DNAEE número 85, de 25 de março de 1992, determina que o fator de potência das cargas seja superior 0,92. O fator de potência mais próximo de 1 dá maior disponibilidade de potência ativa no sistema, já que a energia reativa limita a capacidade de transporte de energia útil.

O motor elétrico é uma peça fundamental, pois dentro das indústrias, representa mais de 60% do consumo de energia. Logo, é imprescindível a utilização de motores com potência e características bem adequadas à sua função. O fator de potência varia com a carga do motor. Os catálogos indicam os valores típicos desta variação.

#### Correção do fator de potência

O aumento do fator de potência é realizado, com a ligação de uma carga capacitiva, em geral, um capacitor ou motor síncrono super excitado, em paralelo com a carga.

**Exercício:** Um motor elétrico, trifásico de 100cv (75kW), operando com 100% da potência nominal, com fator de potência original de 0,90. O fator de potência desejado é de 0,95. (Solução: 11,625 kVar)

## 6.6 Sistema trifásico

### 6.6.1 Rede monofásica

#### a) Cargas resistivas

No caso de “resistências”, quanto maior a tensão da rede, maior será a corrente e mais depressa a resistência irá se aquecer. Isto quer dizer que a potência elétrica será maior. A potência elétrica absorvida da rede, no caso da resistência, é calculada multiplicando-se a tensão da rede pela corrente, se a resistência (carga), for monofásica.

$$P = V_f I_f$$

Esta expressão vale para a carga formada por resistências, onde não há defasagem entre a corrente e a tensão.

#### b) Cargas reativas

Para as “cargas reativas”, ou seja, onde existe defasagem, como é o caso dos motores de indução monofásicos, esta defasagem tem que ser levada em conta, e a expressão fica:

$$P = V_f I_f \cos \theta$$

Onde  $V_f$  e  $I_f$  são, respectivamente, tensão e corrente de fase e  $\theta$  é o ângulo entre a tensão e a corrente de fase.

## 6.7 Rede trifásica

#### a) Cargas resistivas

No sistema trifásico, a potência em cada fase da carga será

$$P_f = V_f \times I_f$$

, como se fosse um sistema monofásico independente. A potência total será a soma das potências das três fases, ou seja:

$$P = 3 \times P_f = 3 \times V_f \times I_f$$

Esta expressão vale para a carga formada por resistências, onde não há defasagem entre a corrente e a tensão.

Assim, para sistemas trifásicos:

$$S = 3 \times V_f \times I_f$$

b) Cargas reativas

Para as “cargas reativas”, ou seja, onde existe defasagem, como é o caso dos motores de indução trifásicos, a expressão fica:

$$P = 3 V_f I_f \cos \theta$$

Onde  $V_f$  e  $I_f$  são, respectivamente, tensão e corrente de fase e  $\theta$  é o ângulo entre a tensão e a corrente de fase.

## 6.8 Ligações básicas

O sistema trifásico é formado pela associação de três sistemas monofásicos de bobinas, tais que a defasagem entre elas seja de 120 graus, ou seja, os “atrasos” de  $V_2$  em relação a  $V_1$ , de  $V_3$  em relação a  $V_2$  e de  $V_1$  em relação a  $V_3$  sejam iguais a 120 graus,

O sistema é dito equilibrado quando as três tensões e correntes têm o mesmo valor.

Ligando entre si os três sistemas monofásicos e eliminando os fios desnecessários, teremos um sistema trifásico: três tensões  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$  equilibradas, defasadas entre si de 120 graus e aplicadas entre os três fios do sistema. A ligação pode ser feita de duas maneiras, representadas nos esquemas seguintes. Nestes esquemas, costuma-se representar as tensões com setas inclinadas ou vetores girantes, mantendo entre si o ângulo correspondente à defasagem (120 graus).

### Ligação estrela

Ligando um dos fios de cada sistema monofásico a um ponto comum aos três, os três fios restantes formam um sistema trifásico em estrela.

Às vezes, o sistema trifásico em estrela é “a quatro fios” ou “com neutro”. O quarto fio é ligado ao ponto comum às três fases. A tensão de linha ou tensão nominal do sistema trifásico e a corrente de linha, são definidas do mesmo modo que na ligação triângulo.

Exemplo:

Temos uma carga trifásica composta de três cargas iguais; cada carga é feita para ser ligada a uma tensão de 220 volts, absorvendo 5,77 ampéres. Qual a tensão nominal do sistema trifásico que alimenta esta carga em suas condições normais (220 volts e 5,77 ampéres)? Qual a corrente de linha?

Temos  $V_f = 220 \text{ volts}$  (normal de cada carga).

$$V = 1732 \times 220 = 380 \text{ volts}$$

$$I = I_f = 5,77 \text{ A}$$

### Ligação triângulo

Se ligarmos os três sistemas monofásicos entre si, podemos eliminar três fios, deixando apenas um em cada ponto de ligação, e o sistema trifásico ficará reduzido a três fios  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ .

**Tensão de linha (V)**



É a tensão nominal do sistema trifásico aplicada entre dois quaisquer dos três fios L1 , L2 e L3.

**Corrente de linha (I)**

É a corrente em qualquer um dos três fios L1 , L2 e L3.

**Tensão e corrente de fase (Vf e If)**

É a tensão e corrente de cada um dos três sistemas monofásicos considerados.

Exemplo:

Temos um sistema equilibrado de tensão nominal 220 volts. A corrente de linha medida é 10 ampéres.

Ligando a este sistema uma carga trifásica composta de três cargas iguais ligadas em triângulo, qual a tensão e a corrente em cada uma das cargas?

Temos  $V_f = V_1 = 220$  volts em cada uma das cargas.

Se  $I = 1,732 I_f$ , temos  $I_f = 0,577 I = 0,577 \times 10 = 5,77$  ampéres em cada uma das cargas.

**Ligação de motor monofásico com capacitores**

**6.8.1 Ligação de motores com chave manual**

Esta experiência consiste em ligar motores monofásicos em estrela e triângulo, inverter a rotação.



# Part II

## Projetos



## Chapter 7

# Produção de energia elétrica

*“A solução dos problemas humanos terá que contar sempre com a literatura, a música, a pintura, enfim as artes.*

*O homem necessita de beleza como necessita de pão e de liberdade ...”*

(Jorge Amado)

O Sol, estrela que nos ilumina e viabiliza todos os processos de vida em nosso planeta, constitui a fonte primária dos principais sistemas de geração de energia. Assim, a energia, tradicionalmente convertida através das quedas d’água nos rios (usinas hidrelétricas) e da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão) em usinas termelétricas, tem sua origem na radiação solar incidente sobre a Terra, provocando evaporação, origem do ciclo das águas e favorecendo reações químicas sobre a matéria orgânica.

Depois da própria força humana, a primeira fonte de energia que o homem utilizou foi o fogo. A técnica de utilização do fogo deve ter sido inventada por volta de 50 000 a.C., com o uso de pedra e madeira. Entre 10 000 e 5 000 a.C. ocorreu a chamada Revolução Neolítica: o homem domesticou certos animais, que passaram a servir como fonte de energia; domesticou também certos vegetais, surgindo a agricultura e a possibilidade de uso da biomassa como fonte de energia (embora só com a Revolução Industrial tenha sido possível aproveitar com maior eficiência a energia dos vegetais).

A utilização da força do vento, principalmente para a navegação, deve ter começado em torno do ano 2 000 a.C. O aproveitamento da água, da força hidráulica para mover moinhos, iniciou-se em torno do século II a.C. A partir do ano 1000 d.C., ocorre a exploração mais intensa do carvão mineral (a hulha, inicialmente). A a partir de 1 700 surgem importantes inovações, ligadas à Revolução Industrial: a invenção da máquina a vapor foi seu acontecimento mais importante no que se refere às fontes de energia.

Por volta do final do século XIX, verifica-se o aparecimento da eletricidade, o desenvolvimento dos motores a gasolina ou demais derivados do petróleo e, dessa forma, um notável desenvolvimento nas explorações petrolíferas. Em meados do século XX, surge a energia nuclear, sendo que a fissão nuclear (princípio de obtenção da energia nuclear) foi utilizada inicialmente para fins militares, durante a Segunda Guerra Mundial.

As hidrelétricas produzem energia através de geradores movidos a força hidráulica (quedas d’água). As termelétricas, através de geradores acionados por aquecimento, utilizando-se combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão. E as nucleares produzem energia através de geradores movidos por aquecimento obtido a partir de minerais atômicos, como urânio e o tório.

A termelétrica apresenta o mais baixo custo de implantação, embora sua manutenção seja cara. Já a hidrelétrica apresenta maiores problemas com relação ao porte de energia produzida, pois nem sempre as áreas onde as usinas podem ser instaladas estão próximas aos mercados consumidores, e a intensidade da energia se perde à medida que a distância das usinas geradoras aumenta. A usina nuclear tem um alto custo tecnológico, além dos riscos em se utilizar minerais atômicos para gerar energia.

E neste momento em que já iniciamos o terceiro milênio Cristão, despontam novas fontes de energia que poderão no futuro desempenhar o papel que o petróleo desempenhou até o momento: a energia solar? a biomassa? a energia das marés? a geotérmica? o hidrogênio? a eólica, ou a energia proveniente dos minerais?

A tabela 7.1 nos mostra como se encontrava o consumo mundial de energia em 1994.

Table 7.1: Consumo Mundial de Energia (L'État du Monde, 1996).

Petróleo	39 %
Hidroeletricidade	3 %
Nuclear	7 %
Gás natural	24 %
Carvão	27 %

O desenvolvimento industrial está intimamente ligado ao desenvolvimento das fontes de energia. Pode-se dizer que há uma interdependência entre ambos: o progresso industrial é resultado da descoberta de novas fontes energéticas, que, por sua vez, ocorreram em consequência das necessidades da indústria.

Com efeito, as necessidades energéticas de um país são diretamente proporcionais ao seu grau de industrialização. Assim, as economias altamente industrializadas são grandes consumidoras de energia e precisam importar recursos energéticos freqüentemente para suprir suas necessidades. Em geral, esse alto consumo exige também a utilização de diversas fontes.

A enorme participação das fontes não-renováveis na oferta mundial de energia coloca a sociedade diante de um desafio: a busca por fontes alternativas de energia. E isso não pode demorar a ocorrer, sob o risco de o mundo, literalmente, entrar em colapso, pelo menos se for mantido o atual modelo de vida, em que o petróleo tem uma importância vital. Há diversas fontes alternativas disponíveis, havendo a necessidade de um maior desenvolvimento tecnológico para que possam ser economicamente rentáveis e, conseqüentemente, utilizadas em maior escala.

Provavelmente o século XXI não terá uma única fonte de energia predominante, como ocorreu no século XIX com o carvão e no século XX com o petróleo. Deverão coexistir várias fontes de energia, principalmente as renováveis e pouco poluidoras, e aquelas de origem biológica deverão conhecer uma maior expansão nas próximas décadas. O Sol, ao aquecer o nosso planeta, possibilita a captação de energia de forma descentralizada, tais como energia dos ventos (energia eólica), energia solar térmica e a energia solar fotovoltaica, que alterará a atual concepção de sistemas elétricos de potência.

A maioria dos profissionais que trabalham na área de energia reconhece que os próximos anos deverão se caracterizar por um uso diversificado das fontes de energia. O conceito de geração distribuída, começando a ser difundido na engenharia de sistemas energéticos, aponta para uma participação mais significativa das fontes de energia renováveis na geração de eletricidade.

A conservação de energia elétrica é, de um modo geral, mais atraente economicamente do que a construção de usinas, linhas de transmissão, subestações, e redes de distribuição.

Junto com a conservação da energia elétrica, torna-se imprescindível a utilização das fontes renováveis de energia para a produção de energia elétrica, justificando os projetos de conservação de energia integrados com fontes renováveis.

Tendo em vista a estratégia global que visa o desenvolvimento sustentável, com a diminuição da dependência externa de energia, torna-se necessário a máxima utilização de fontes renováveis de energia. Neste particular o país dispõe de condições privilegiadas e peculiares tais como: o potencial hidráulico de pequenas quedas d'água, biomassa (álcool), energia solar direta, energia eólica, entre outras.

O Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil, por meio do programa Rede Brasil de Tecnologia, lançou em 09/10/2003 editais no valor total de R\$ 6,25 milhões para as áreas de Petróleo, Gás e Energias Renováveis. O objetivo destes editais foi estimular a substituição competitiva de importações de equipamentos utilizados nestas áreas, através de projetos de pesquisa que seriam desenvolvidos por universidades e empresas nacionais. O atual Ministro Sérgio Amaral destacou que “a concepção destes editais é inovadora, pois define como obrigatória a parceria universidade/empresa e determina o desenvolvimento de equipamentos em condições comerciais competitivas”. O ministro destacou, ainda, que isto acarretaria a geração de empregos no país, minimização da dependência tecnológica e redução do envio de divisas para o exterior.

## 7.1 Energia hidráulica

Desde o surgimento da civilização agrícola e o desenvolvimento das necessidades básicas do homem, o desafio da força d’água e sua utilização vêm sendo colocados entre os principais requisitos da existência do homem e de seu avanço econômico e cultural.

Um exemplo disso é a quantidade de esquemas hidráulicos encontrados na Mesopotâmia e no Império Egípcio da época dos Faraós, por volta de 3.000 a 2.000 anos A. C. (Ossberger Turbinenfabrik, 1998).

Na idade média a utilização da energia em cidades que possuíam cursos d’água, freqüentemente determinavam a produtividade de seus negócios e seu apogeu comercial.

Assim por exemplo a força econômica dos Augsburg na Baviera, muito antes do aparecimento da famosa família de mercadores Fluggers, foi concentrada por inúmeros artesãos com colocação de máquinas hidráulicas nos meandros dos rios Leach e Wertach.

Leonardo da Vinci, naturalmente, também pesquisou a utilização da força hidráulica. Seus projetos de turbinas para acionar laminadores, máquinas têxteis e outros equipamentos, os quais admite-se nunca foram colocadas em prática, já eram bastante avançados para a época.

No século XVII, foi construído um esplêndido dispositivo aquático nos jardins do rei francês Luís XIV, em Versailles, acionado por uma máquina movida pela água, com um custo enorme. Ela tinha algo em torno de 100 HP, era um triunfo tecnológico na época, mas com um rendimento muito baixo, não passando de apenas 6,5%.

Esta seção tratará dos principais tipos de turbinas e máquinas utilizadas para geração de energia hidráulica, destacando as micro, mini e pequenas centrais hidráulicas. São preferíveis os termos geração de energia e centrais hidráulicas à geração de eletricidade e central hidrelétrica, pelo fato de uma pequena turbina poder gerar energia exclusivamente para o uso mecânico, vindo a acionar diretamente certos tipos de máquinas sem a necessidade da transformação em energia elétrica.

A geração de energia hidráulica consiste basicamente de: um reservatório e uma tomada d’água, uma turbina, e um gerador elétrico.

### 7.1.1 Estudo hidrológico

Pretende-se, nesta seção, apresentar um resumo dos aspectos quantitativos necessários para aplicações energéticas.

#### Precipitação pluviométrica

Como a quantidade de precipitação pluviométrica é a variável mais importante, o primeiro passo é a coleta de dados pluviométricos durante vários anos. Pode-se adotar as freqüências relativas como probabilidades, para depois simular o sistema de geração.

Um dos instrumentos que ‘traduzem’ as chuvas é o gráfico de intensidade - duração.

### Evapotranspiração

Chama-se *evaporação* ao conjunto dos fenômenos físicos que transformam em vapor a água precipitada sobre a superfície do solo, dos reservatórios, rios, lagos e mares.

Chama-se *transpiração* o processo de evaporação devido às funções biológicas dos vegetais, os quais através de suas raízes, retiram do solo a água necessária ao seu desenvolvimento vital, restituindo parte dela à atmosfera em forma de vapor, formado na superfície das folhas.

O conjunto dos fenômenos físicos e biológicos que promovem a transformação da água precipitada em vapor costuma-se designar *evapotranspiração*.

Os fatores que intervêm na intensidade de evaporação podem ser relativos à atmosfera ambiente ou relativos à própria superfície evaporante. Nas regiões semi-áridas, a evaporação pode atingir cerca de 2,0m de água por ano, diminuindo muito as possibilidades de utilização da água para abastecimento, irrigação ou produção de energia elétrica.

A maioria das fórmulas para estimativa de evaporação são empíricas (baseiam-se em observações), como por exemplo, a fórmula de dos Serviços Hidrológicos da União Soviética:

$$E = 0,15 (1 + 0,072 w) (p_0 - p_a)$$

onde:

$E$  - intensidade de evaporação em mm/dia;

$w$  - velocidade média do vento, em m/s, medida 2m acima da superfície d'água;

$p_0$  - pressão de saturação do vapor, à temperatura da água, em milímetros (tabela 7.2); e,

$p_a$  - pressão efetiva do vapor d'água no ar atmosférico, à temperatura da água, em milímetros (medido pelos higrômetros e psicrômetros).

Table 7.2: Pressão de saturação do vapor  $p_0$ .

Temp. °C	0	5	10	15	20	25	30	40
$p_0$ mmH <sub>2</sub> O	60	80	120	180	250	330	430	760

### Infiltração - águas subterrâneas

A permeabilidade é a propriedade dos solos de se deixarem atravessar pela água com maior ou menor dificuldade. O coeficiente de permeabilidade pode ser expresso pela lei de Darccy:

$$Q = K S j = K S \frac{H}{l}$$

onde:

$Q$  = vazão que atravessa a área  $S$  de solo considerada;

$K$  = coeficiente de permeabilidade (ver tabela 7.3);

$j$  = gradiente hidráulico;

$H$  = perda de carga medida entre os dois pontos do solo considerado; e,

$l$  = distância entre os dois pontos.

Além da permeabilidade dos solos, precisa-se investigar a localização dos lençóis aquíferos, as falhas geológicas, o escoamento subterrâneo e a origem das fontes.



Table 7.3: Coeficiente de permeabilidade médios dos solos  $K$ .

Solo	$K$ (m/s)
Pedregulho	$5 \times 10^{-5}$ a $5 \times 10^{-2}$
Areia grossa	$15 \times 10^{-5}$ a $10^{-2}$
Areia fina	$10^{-2}$ a $10^{-3}$
Areia de duna	$10^{-4}$ a $10^{-5}$
Silte	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
Argila arenosa	$10^{-7}$ a $10^{-8}$
Argila	$< 10^{-2}$

### Escoamento superficial

De início, sobre uma planta da região, procura-se traçar a linha de divisores de água que separa a bacia considerada das contíguas, avaliando-se a área da bacia hidrográfica total e dos seus afluentes.

Em seguida, traçam-se curvas que caracterizam as declividades dos terrenos da bacia.

### Cobertura vegetal

A cobertura vegetal e, especialmente, as florestas e os campos cultivados, vêm acrescer sua influência sobre a bacia hidrográfica, seja na velocidade do escoamento superficial, nas taxas de transpiração d'água, ou na capacidade de retenção (**efeito esponja**).

### Características térmicas

O estudo hidrológico completo de uma bacia hidrográfica deve compreender ainda a análise de seu balanço energético ou térmico, no qual intervêm as calorias provenientes da radiação solar e as trocas de calor e energia entre o solo, a atmosfera, os lençóis d'água, etc.

O interesse desses estudos para a hidrologia reside na possibilidade de estimar as temperaturas, vazões e níveis de água em qualquer ponto da bacia em função de medidas em alguns pontos meteorológicos convenientemente situados.

Os métodos de cálculo modernos incluem o computador, e mais especificamente o Método de Elementos Finitos. Esta ferramenta permite simular e projetar um sistema integrado, alargando as possibilidades de desenvolvimento sustentável.

## 7.1.2 Terminologia

### Termos Gerais

a - Energia Hidráulica - Energia potencial e cinética das águas.

b - Represa - Grande depósito formado artificialmente fechando um vale mediante diques ou barragens e no qual se armazenam as águas de um rio com o objetivo de as utilizar na regularização de caudais, na irrigação, no abastecimento de água, na produção de energia elétrica, etc.

c - Central Hidroelétrica - Instalação na qual a energia potencial e cinética da água é transformada em energia elétrica.

d - Central Hidroelétrica a Fio de Água - Central hidroelétrica num curso de água, sem represa, reguladora de volume significativo.

e - Central Hidroelétrica de Represa - Central hidroelétrica cuja alimentação pode ser regulada graças a uma represa.

f - Aproveitamento Hidroelétrico de Acumulação por Bombagem (Instalação para Bombagem e Turbinagem) - Central hidroelétrica que possui duas represas, uma a montante e outra a jusante, bem como as respectivas instalações de bombagem e de turbinagem, que permitem devolver à represa de montante a água armazenada na represa de jusante, após a sua utilização na produção de energia.

g - Central Maremotriz - Central hidroelétrica que utiliza o desnível entre o mar e uma bacia do qual está separado, criado pelo efeito das marés.

#### **Termos Relativos a Localização e Desníveis**

a - Bacia Hidrográfica - Superfície do terreno, medida em projeção horizontal, da qual provém efetivamente a água de um curso de água até ao ponto considerado.

b - Nível Máximo de Exploração - É o nível mais alto permitido normalmente numa represa (sem ter em conta as sobreelevações devidas a cheias). Corresponde ao nível de pleno armazenamento da represa. Nota: O nível máximo da represa corresponde ao maior nível admissível em caso de cheias.

c - Nível Mínimo de Exploração - É o nível mínimo admitido para a exploração de uma represa, medido num local determinado. Nota: Abaixo do nível mínimo de exploração pode fazer-se o esvaziamento da represa até ao nível da descarga de fundo.

d - Folga - Distância vertical entre o coroamento da barragem e a cota máxima que atinge a água na represa.

e - Perda de Carga - Redução da energia útil provocada pelo escoamento da água num circuito hidráulico.

#### **Armazenamento**

a - Armazenamento Diário - Armazenamento para o qual a represa tem um ciclo diário de enchimento e esvaziamento.

b - Armazenamento Semanal - Armazenamento para o qual a represa tem um ciclo de enchimento e esvaziamento semanal.

c - Armazenamento Sazonal - Armazenamento em que a represa tem um ciclo de enchimento e esvaziamento sazonal.

d - Armazenamento Anual - Armazenamento em que a represa tem um ciclo de enchimento e esvaziamento anual.

e - Armazenamento Interanual - Armazenamento em que a represa permite uma compensação das variações de hidraulicidade em ciclos de mais de um ano de duração.

f - Capacidade Útil - Volume de água disponível numa represa entre o nível de pleno armazenamento e o nível mínimo de exploração normal.

g - Zona inundável - Zona de uma represa compreendida entre o mais alto nível admitido pela sua exploração normal e o nível de água máximo possível (nível de máxima cheia).

h - Armazenamento Inativo (Volume Morto) - Volume retido na represa abaixo do nível mínimo de exploração.

#### **Termos Relativos ao Tempo**

a - Ano Hidrológico - Período de um ano (doze meses) baseado em critérios de hidraulicidade.

b - Ano Médio - Ano (fictício) cujas características hidráulicas correspondem à média de uma série coerente do maior número de anos possível. A série em que se baseia o ano médio ou normal deve ser especificada em cada caso.

c - Ano Úmido - Ano baseado em critérios estatísticos, em que o curso de água tem afluências superiores à média.

d - Ano Seco - Ano baseado em critérios estatísticos, em que o curso de água tem afluições inferiores à média.

e - Tempo de Exploração - Número de dias, num ano médio, durante os quais o caudal é superior ao caudal de exploração.

### **Caudais (Vazão)**

a - Caudal - Volume de água escoado através de uma seção, na unidade de tempo.

b - Caudal Utilizável - Parte do caudal total que, após as deduções de água obrigatórias previstas no caderno de encargos e das perdas inevitáveis, fica disponível para as finalidades do aproveitamento.

c - Caudal Nominal (Turbina) - Caudal para o qual a turbina é dimensionada.

d - Caudal Nominal (Bombas) - Caudal para o qual a bomba é dimensionada.

e - Afluições - Volumes de água que passam numa dada seção durante um período de tempo determinado.

f - Hidraulicidade - Relação entre as afluições no período observado e as afluições correspondentes a um mesmo período no ano médio.

### **Termos Relativos ao Potencial Hidráulico Brasileiro**

a - Potencial Teórico Hidráulico Bruto - Quantidade máxima de energia elétrica que pode obter-se numa região determinada ou numa bacia hidrográfica durante um ano médio, tendo em conta os desníveis correspondentes referidos a um dado ponto dessa região ou bacia.

b - Definição dos Estágios de Desenvolvimento do Potencial Hidráulico

b1 - Remanescente - resultado de estimativa realizada em escritório, a partir de dados existentes, sem qualquer levantamento complementar, considerando um trecho do curso d'água, via de regra situado na cabeceira, sem determinar o local de implantação do aproveitamento;

b2 - Individualizado - resultado de estimativa realizada em escritório para um determinado local, a partir de dados existentes ou levantamentos expeditos, sem qualquer levantamento detalhado;

b3 - Inventário - resultado de estudo da bacia hidrográfica, realizado para a determinação do seu potencial hidrelétrico através da escolha da melhor alternativa de divisão de queda, caracterizada pelo conjunto de aproveitamentos compatíveis entre si e com projetos desenvolvidos de forma a obter uma avaliação da energia disponível, dos impactos ambientais e dos custos de implantação dos empreendimentos;

b4 - Viabilidade - resultado da concepção global do aproveitamento, considerando sua otimização técnico-econômica, compreendendo o dimensionamento das estruturas principais e das obras de infra-estrutura local, a definição da respectiva área de influência, do uso múltiplo da água e dos efeitos sobre o meio ambiente;

b5 - Projeto Básico - aproveitamento detalhado, com orçamento definido, em profundidade que permita a elaboração dos documentos de licitação das obras civis e do fornecimento dos equipamentos eletromecânicos;

b6 - Construção - aproveitamento que teve suas obras iniciadas, sem nenhuma unidade geradora em operação;

b7 - Operação - aproveitamento que dispõe de pelo menos uma unidade geradora em operação.

c - Composição do Potencial Hidrelétrico Brasileiro - O valor do potencial hidrelétrico brasileiro é composto pela soma da parcela estimada (remanescente + individualizada) com a inventariada. A parcela inventariada inclui usinas em diferentes níveis de estudos - inventário, viabilidade e projeto básico - além de aproveitamentos em construção e operação.

Table 7.4: Potencial hidrelétrico Brasileiro 1996

Estágio	Potência (MW)	N registros
Remanescente	31.742,18	2345
Individualizado	66.762,91	732
Total Estimado	98.505,09	3.077
Inventário	47.486,37	478
Viabilidade	37.873,66	62
Projeto Básico	15.242,17	75
Construção	7.696,60	25
Operação	53.855,07	391
Desativado	8,82	12
Total Inventariado	161.162,69	1.043
TOTAL	259.667,78	4.120

### 7.1.3 Como é, e como poderá ser gerada a energia no Brasil

Com 87% da sua matriz energética provenientes de hidroelétricas, o Brasil está à beira de um colapso, devido ao baixo nível dos reservatórios nas usinas do Sudeste, pois esse tipo de fonte de energia depende das chuvas. O resto da energia é produzido pelas centrais termoeletricas (10%) e pelos reatores das centrais nucleares de Angra dos Reis (2%). Mas a situação caótica, explicam analistas, se deve principalmente à falta de investimentos no setor.

A falta de interligação do sistema de transmissão em todo o país é apontada por especialistas do setor como a principal causa da crise energética atual. “Está sobrando energia no Sul e faltando no Sudeste, a interligação resolveria o problema sem racionamento”, disse o superintendente de comunicação de Itaipu, Helio Teixeira.

Do Sul, com um sistema de transmissão mais eficiente, seria possível receber uma expressiva contribuição da Companhia Paranaense de Energia (Copel), que mesmo em processo de privatização, tem prosseguido com projetos importantes de aumento de geração. A Copel possui participação na usina de Machadinho, já em operação, que gera 1,140 mil MW, e planeja para 2006 a entrada em operação da hidrelétrica de Campos Novos, com capacidade de 880 MW, e uma termelétrica de 480 MW que entrou em operação em outubro de 2002.

Além disso, a maior potência hidroelétrica instalada está na bacia hidrográfica do Paraná, no Centro Sul do país. A maior potência hidroelétrica do país encontra-se na Amazônia, ou seja, nas duas bacias hidrográficas presentes nessa região - a Amazônica e a do Tocantins, garantindo que o Norte também não fique às escuras.

Importação - Uma saída para a crise energética no Brasil pode estar nos demais países sul-americanos. Segundo estudos do governo, as possibilidades para o suprimento de energia sul-americana poderiam incluir novas linhas de transmissão no sul do País, principalmente da Argentina, e mesmo novos acordos com os países vizinhos. A principal vantagem seria o custo relativamente reduzido dessa energia.

O projeto Mercosul, fechado pelo governo do Paraná com a Argentina, prevê a importação de 3 mil megawatts de energia da Argentina, além de 20 milhões de metros cúbicos/dia de gás boliviano, que também alimentará a termoeletrica argentina. No Brasil, a energia será importada e comercializada pela Copel, que também será responsável pela construção da linha de transmissão de 600 quilovolts de Puerto Iguazu, na Argentina, até Embu-Guaçu (SP).

As características brasileiras apontam no sentido das pequenas centrais hidrelétricas.

#### 7.1.4 Histórico das turbinas hidráulicas

Os seguintes marcos são relevantes na evolução das turbinas hidráulicas: (Fontes: Lauria, Douglas, 1993. MOSONYI, Emil, 1988 - Vol. I. Brief Historical Survey, pag. 119 - 131. SARRATE, I. Lana, 1967).

1403 - Desenho mais antigo de uma roda d'água que se conhece, com eixo vertical.

1550 - J. Besson descreve a primeira turbina axial de reação com pás de madeira, construída na região de Toulouse, na França.

1730 - Bernouilli publica em seu livro uma fórmula para o cálculo da força exercida por um jato d'água.

1750 - J.A. Segner idealiza a primeira máquina fazendo uso do jato d'água, instalada em Nörten, próximo a Göttingen (rio Leine, Alemanha).

1754 - Euler estabelece a equação fundamental das máquinas de fluxo, admitindo escoamento unidirecional e número infinito de pás.

1824 - C. Burdin apresenta à Academia de Paris projetos de turbinas de ação e reação, e propõe pela primeira vez o nome turbina.

1827 - Fourneyron inventa a primeira máquina hidráulica praticamente utilizável, que se transformou posteriormente na turbina de reação.

1834 - Fourneyron constrói e instala sua turbina para uma queda de 108 m, potência de 25 kW e rotação de 2200 rpm.

1838 - J. V. Poncelet publica trabalho sobre a turbina de Fourneyron. Propõe uma roda d'água de fluxo inferior com as pás acionadas parcialmente, precursora da turbina de Fluxo Cruzado.

1841- Henschel-Jonval - primeira turbina axial de reação com tubo de sucção. Regulação do nível d'água por meio de vários anéis; vazão o mais constante possível e queda variável.

1842- Roda tangencial de Zuppinger, para grandes quedas e vazões reduzidas.

1843- Fontaine construiu a turbina de Jonval para saltos constantes e vazões variáveis, trabalhando a livre admissão.

1848- Schwamkrug idealiza a primeira turbina parcial para grandes quedas e vazões reduzidas.

1849- Francis idealiza a turbina Francis. Inicialmente com câmara aberta.

1851- Girard aperfeiçoou a turbina Fontaine, regulando consecutivamente as células, assegurando sua regulação e construindo a turbina parcial com queda a mais constante possível.

1860- Haenel, Knop e Lehmann, constróem a turbina Girard em forma de turbina limite para vazões e alturas variáveis.

1872- Fink institui as palhetas diretrizes giratórias, primeira regulação correta das turbinas de reação.

1873 - J.M. Voith constrói a primeira turbina Francis com palhetas diretrizes Fink.

1880 - Pelton idealiza e patenteia a turbina Pelton.

1886 - G. A. Pfarr constrói para a firma Voith a turbina Francis com caixa espiral.

1891 - Primeiro regulador mecânico de rotação construído por G. A. Pfarr e instalado na Usina de Lauffen.

1892 - H. Bremer patenteia na Alemanha o injetor para turbina Pelton.

1903 - A. G. M. Michell inventa a turbina de fluxo cruzado.

1912 - Primeiros experimentos da turbina Kaplan.

1918 - Banki constrói e otimiza a turbina de fluxo cruzado, independente de A. G..M. Michell.

1924 - A fábrica Charmilles constrói a usina Piottino, na Suíça com turbinas Francis de 300 m de queda e potência de 22 MW.

1925 - Colocação em funcionamento da primeira turbina Kaplan de grandes proporções.

1926 - A firma J. M. Voith constrói as primeiras turbinas Kaplan, com pás fixas e 6 MW.

1928 - A firma KMW constrói a primeira turbina Kaplan de grande porte com pás móveis e potência de 11 MW e diâmetro de 5,8m.

1930 - A firma J. M. Voith fabrica as turbinas Pelton para Usina de Henry Borden, em Cubatão, S.Paulo.

1931 - A firma Escher Wyss constrói a primeira turbina reversível axial ( Bomba - Turbina ) enquanto que a Voith constrói a primeira turbina reversível tipo Francis, que é instalada na usina reversível de Pedreira para captação e geração de energia (rio Pinheiros - S. Paulo ).

1936 - A firma Escher Wyss constrói as primeiras turbinas bulbo.

1939 - As firmas J. M. Voith e Escher Wyss, constróem as turbinas Francis para queda de 87m, potência de 85 MW e 4,5 m de diâmetro.

1956- A firma suéca, Nohab, constrói 3 turbinas Francis com rotores completamente soldados para a usina de Stornorfors com potência de 147 MW.

1957 - A firma francesa, Neyrpic, constrói a primeira série de 24 bombas-turbina Kaplan para a usina maré motriz de La Rance (França).

1965 - A firma Leningrad Metallindustrie constrói 8 turbinas Kaplan com potência de 60 MW e diâmetro externo do rotor de 10,3m, até hoje o maior que se tem notícia, para a usina Satarow, no rio Volga.

1966 - A firma italiana, Riva, constrói duas turbinas Pelton de dois jatos e eixo horizontal com 130 MW cada e altura de queda 1300 m, para a usina de Monte Ceresio (Itália).

1969 - As firmas Andritz (Áustria), e Escher Wyss (Suíça), constroem 4 turbinas Francis com altura de queda de 672m (até então maior do mundo), e potência de 60 MW cada para a usina de Rosshag (Áustria).

1973 - A firma canadense Dominion e americana Allis Chalmers constroem as turbinas Francis para usina de Grand Coulee II, no rio Columbia, estado de Washington, até então as maiores turbinas do mundo com diâmetro externo de 10,30 m. potência de 700 MW.

1980 - A firma Escher Wyss constrói duas turbinas Pelton com potência de 265 Mw cada uma, e 6 jatos, para a usina de Silz (Austria).

1981 - As firmas Voith e Neyrpic com suas associadas brasileiras Voith S.P. e Mecânica Pesada, constróem 18 turbinas com 750 MW, com diâmetro da roda, tipo Francis, de 8,60 m, peso de 310 ton., para maior usina até então construída no mundo (Itaipu Binacional).

1984 - As firmas Andritz (Áustria) e Escher Wyss (Suíça), constroem para a usina de Häusling, na Áustria, duas turbinas Francis para altura de queda máxima de 740m e potência de 180 MW. Desde então, esta é a mais alta queda para este tipo de turbina.

1991 - As firmas GE Hydro e J.M. Voith iniciam a fabricação das turbinas de "Three Gorges Project", Sanxia, China, com 710 MW, e queda de 80,6 m, a qual após concluída, com previsão entre 2.020 a 2.030, sendo a atual maior central hidrelétrica do mundo, com 25.000 MW.

1998 - O consórcio formado pelas empresas: VA TECH VOEST MCE, austríaca, SULZER HYDRO e HYDRO VEVEY, suíças, instalam a turbina Pelton de BIEUDRON, na Suíça, com dois recordes mundiais, maior queda, de 1.800 m, e maior potência para uma turbina Pelton, 423 MW, com diâmetro do rotor de 3,993 m.

### 7.1.5 Turbinas para pequenas centrais hidráulicas

Os tipos de turbinas usadas mundialmente e fabricadas para pequenas centrais hidrelétricas ou mesmo para aplicação de caráter mecânico na transmissão de força em pequenos sítios são: a turbina Turgo; a turbina Pelton; a turbina de fluxo cruzado; a turbina Francis; a turbina Axial; a turbina sifão; a turbina S; a turbina Bulbo; a bomba centrífuga funcionando como turbina; e, a turbina de águas correntes.

As apresentações resumidas de cada tipo de turbina ou aplicações a seguir darão uma idéia bastante ampla de como pode ser feito um aproveitamento hidráulico principalmente no âmbito dos pequenos aproveitamentos hidráulicos para utilização motriz ou para a geração de energia elétrica, ajudando na decisão para se obter o melhor equilíbrio, econômico, social e ambiental.

Nem sempre a melhor técnica em termos de projeto e rendimento ou um menor custo será a melhor escolha para atender as necessidades locais em termos de distribuição de recursos de um empreendimento isolado como as agroindústrias e as cooperativas.

### A turbina Turgo

A turbina Turgo é uma máquina de impulso similar a turbina Pelton. Entretanto, o jato é desenhado para atingir o plano do rotor em um determinado ângulo (na prática se usa normalmente 200 graus).

Neste tipo de turbina a água entra por um lado do rotor, saindo pelo lado oposto. Como consequência dessa passagem, o fluxo total de água que o rotor da turbina turgo pode aceitar não está sujeito a qualquer interferência principalmente quando da sua saída das pás o que acontece com o retorno do jato nas conchas da turbina Pelton ou mesmo interferindo com o próprio jato da entrada.

Assim, a turbina Turgo pode ter um rotor de diâmetro menor que o rotor da turbina Pelton, para uma potência equivalente. Possui, portanto uma alta rotação em rpm.

Como a turbina Pelton, a turbina Turgo trabalha em uma grande faixa de rotações e não necessita de vedações especiais nos mancais, uma vez que a câmara não trabalha com pressão maior que a atmosfera.

A turbina Turgo possui também certas desvantagens com relação a turbina Pelton: primeiro, é mais difícil de fabricar que a turbina Pelton, uma vez que as pás, possuem forma complexa, sobrepostas e mais frágeis que as conchas da turbina Pelton; segundo, o esforço do jato causa uma reação axial nos mancais além do esforço radial normal. Isso provocará o uso de mancais de rolamentos autocompensadores ou mesmo de rolos cônicos ao invés dos simples rolamentos de esferas normalmente adotados.

O rotor da turbina Turgo é fundido, normalmente, em aço juntamente com as pás, o que requer uma pequena fundição, necessitando de modelo, moldes e todo aparato de uma pequena oficina de fundição, não sendo assim de grande praticidade para a maioria das pequenas oficinas.

Não se tem notícia desse tipo de turbina utilizada no Brasil. Na relação de inventário do SIPOT (Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro), não se encontra menção de qualquer instalação com a utilização desse tipo de turbina.

Porém, é bastante usada na Índia onde foi levada pelos ingleses, existindo firmas que constróem esse tipo de turbina para potências de 10 à 3.000kW, com quedas entre 24 e 200m.

### A turbina Pelton

Juntamente com as turbinas Turgo e de fluxo cruzado, a turbina Pelton é uma turbina de ação. A principal característica é a velocidade do jato na saída do bocal, que pode chegar, dependendo da queda entre 150 a 180 m/s e a admissão parcial na turbina.

Na turbina Pelton, o conjugado ou torque é gerado pela ação de um jato livre sobre a dupla concha do rotor. Por essa razão a turbina Pelton também é chamada de turbina de jato livre. Essa turbina foi idealizada em cerca de 1880 pelo americano Pelton de onde se originou o nome. Em grandes aproveitamentos as turbinas Pelton são consideradas para alturas superiores a 150m podendo chegar até 2000, neste caso para alturas menores que 250m pode-se tornar mais conveniente o uso da turbina Francis.

Para mini e micro aplicações entretanto, a turbina Pelton pode ser usada para baixas quedas em alguns casos até menos de 20m.

Para grande vazão e pequena queda a roda da turbina pode-se tornar demasiadamente grande em relação a potência; neste caso deve-se usar uma das seguintes soluções:

a. Aumentar o número de jatos. Com o uso de dois ou mais jatos pode-se admitir um menor diâmetro do rotor para a mesma vazão;

b. Utilizar rotores gêmeos. Dois rotores podem ser usados lado a lado montados no mesmo eixo ou nos extremos do gerador montados também sobre o mesmo eixo. Essa opção normalmente só é utilizada quando não existe condições de maximizar o número de jatos.

c. Pode-se ainda, bifurcar uma única tubulação principal, o mais próximo da turbina e instalar duas turbinas independentes, com geração independente.

Geralmente o gerador é acoplado diretamente ao eixo da turbina, por meio de acoplamentos rígidos, mas um ajuste de rotações pode ser feito com o uso de transmissão por correias ou redutores de engrenagens.

No caso da utilização de correias, para pequenas potências dá-se preferência as correias padronizadas em V, que são mais versáteis e baratas que as correias planas, recomendadas para potências maiores.

Basicamente a turbina consiste das seguintes partes consideradas principais: o rotor, o bocal e a caixa.

Os rotores atuais são fundidos em uma só peça, com as conchas e a roda formando um só conjunto. Entretanto é possível a fabricação separada das conchas e da roda e a fixação por meio de pinos e parafusos. No primeiro caso, caso haja uma concha danificada o rotor precisa ser substituído por inteiro, enquanto no segundo caso, basta substituir a pá danificada. O material utilizado para a fabricação das conchas é o aço fundido com adição de 13% de cromo. A geometria das conchas é bastante complicada o que torna sua fabricação um serviço quase artesanal principalmente a etapa de acabamento. A concha deve ter a capacidade de absorver convenientemente a energia cinética transmitida pela ação do jato que sai do bocal e ao mesmo tempo distribuí-la no seu retorno, sem interferir com a pá subsequente.

No bocal, a pressão da água é convertida em velocidade. O bocal consiste em uma peça cônica fixada ao extremo da tubulação e uma agulha interna acionada por uma haste, a qual regula o fluxo de saída da água para a roda da turbina.

Tanto o bocal quanto a agulha sofrem severo desgaste, sendo feitos de material de alta qualidade, normalmente um aço com manganês, que apresenta grande resistência ao desgaste, provocado por partículas como areia. Algumas máquinas possuem a agulha do bocal construídas em bronze e apresentam boa resistência ao desgaste.

Encontram-se no Brasil várias centrais hidrelétricas, principalmente no campo das pequenas centrais, funcionando com esse tipo de turbina. Porém o número é bastante reduzido quando comparado com as tradicionais Francis e Kaplan.

A firma N.H. GERADORES Ind. e Com. Ltda (1999), de Manhuaçu, Minas Gerais, fabrica e instala o conjunto completo, turbina Pelton/gerador, para potências até 8,5 kVA, podendo ser estudado o fornecimento com geradores de fabricação de terceiros, até 30 kVA. É utilizada também para pequenas quedas, que podem variar de 6 a 20 m. Seu fabricante possui registros de mais de 10.000 dessas unidades instaladas em todo Brasil. Os preços podem variar de R\$ 700,00 a R\$ 6.800,00 o kVA, dependendo da altura e potência. (1.00 \$ = R\$ 3,00).

### **A turbina de fluxo cruzado**

A turbina de fluxo cruzado, também chamada de fluxo transversal, Michel-Banki, Michel - Ossberger, ou simplesmente Banki, tem o comportamento de uma turbina de ação, estando no mesmo nível de classificação das turbinas Pelton e Turgo.

A turbina de fluxo cruzado tem muitos detalhes para sua fabricação e utilização, principalmente dos seus componentes mais importantes, e que ainda hoje são motivo de estudos em diversos laboratórios de pesquisas em todo o mundo: o injetor e o rotor.

A turbina de fluxo cruzado, embora já bastante difundida em muitos países não apresenta grande penetração no Brasil. Na lista oficial do SIPOT, não se encontra qualquer menção de um tipo desta turbina instalada com registro oficial.

### **A turbina Francis**

A turbina Francis foi idealizada em 1849, tendo o nome do seu inventor, sendo que a primeira turbina foi construída pela firma J.M. Voith em 1873, passando desde então por aperfeiçoamentos constantes, como a utilização das pás diretrizes, também chamadas de pás Fink.

Tem sido aplicada largamente, pelo fato das suas características cobrirem um grande campo de rotação específica. Atualmente se constróem para grandes aproveitamentos, podendo ultrapassar a potência unitária de 750 MW. As turbinas construídas entre 1930 a 1950 não possuíam rendimentos superiores a 85%, hoje ultrapassam a 92% para grandes máquinas.



A turbina Francis, considerada uma turbina de reação ou seja, funciona com uma diferença de pressão entre os dois lados do rotor.

As pás do rotor são perfiladas de uma maneira complexa e uma caixa espiral, normalmente fundida, para as turbinas pequenas, distribuía água ao redor do rotor.

Em operação, a água entra no rotor pela periferia, após passar através da pás diretrizes as quais guiam o líquido em um ângulo adequado para a entrada das pás do rotor, deixando o mesmo axialmente em relação ao eixo.

A turbina Francis pode ser executada tanto com eixo na horizontal quanto na vertical. A construção com eixo na horizontal, ou seja, a roda trabalhando verticalmente é utilizada para pequenas unidades, nesse caso apoiados em mancais de deslizamentos radiais e dispensa a utilização de mancais guias, utilizados quando a construção é de eixo vertical, além da utilização do mancal de escora axial.

A água transfere parte da sua energia para o rotor e deixa a turbina pelo tubo de sucção.

As turbinas Francis modernas estão sempre ajustadas com as pás diretrizes também chamadas de distribuidoras, e as mesmas são comandadas pelo conjunto regulador que ajustam a vazão à carga da turbina.

A turbina Francis é uma das mais difundidas e utilizadas no Brasil tanto para grandes quanto para pequenas, mini e microcentrais hidrelétricas.

Um dos únicos inconvenientes dessa turbina é a variação da curva de rendimento com a vazão.

O rotor da turbina Francis de tamanhos pequenos e médios pode ser construído em uma só peça totalmente fundida. O material utilizado é o aço fundido com 12 a 15% de cromo, mas em alguns casos é construída em aço inoxidável.

Dependendo do tamanho esperado para o rotor, motivado por uma grande vazão de projeto, pode-se dimensionar uma única turbina utilizando-se de um rotor duplo (dupla sucção). Tal construção, porém, só é viável para a turbina funcionando com eixo na horizontal.

A curvatura das pás é relativamente complexa seguindo perfis pré-estabelecidos conforme a admissão da água no rotor.

As pás diretrizes são construídas para as pequenas turbinas em uma só peça fundida solidárias ao eixo de acionamento das mesmas.

A caixa espiral para as turbinas de pequeno porte normalmente é fundida em aço ou ferro fundido e bi-partida para facilitar a montagem e desmontagem do conjunto.

## A turbina Axial

A turbina axial tradicional também chamada de *propeller* consiste basicamente de um rotor, similar a hélice de navio, ajustada internamente na continuação de um conduto, com o eixo saindo do conjunto no ponto em que a tubulação muda de direção.

Normalmente três ou quatro pás são utilizadas quando a altura de queda é relativamente baixa, podendo ter até oito pás para maiores alturas. A entrada da água é regulada por palhetas diretrizes. O rendimento dessa turbina com vazões menores daquela do ponto normal de funcionamento tende a baixar de maneira considerável, até mais acentuada que na turbina Francis.

Embora o perfil das pás deva ser executado de maneira a otimizar as forças oriundas das pressões exercidas sobre as mesmas, projetos tem sido idealizados com seções mais planas, que oferecem menos eficiência, porém são mais fáceis de serem fabricadas. Essa espécie de projeto pode ser considerada seriamente para aplicações em micro centrais onde baixo custo e facilidade de fabricação são prioritários.

É também possível, na maioria das vezes projetar e construir a caixa espiral da turbina axial de concreto.

Usinas de maiores escalas, como algumas pequenas centrais, podem fazer uso de uma versão mais sofisticada da turbina axial.

Variando o passo das pás do rotor simultaneamente com as palhetas do distribuidor, pode-se conseguir bons rendimentos com vazões parciais. As turbinas axiais, nas quais torna-se possível a variação dos passos

das pás do rotor são chamadas de turbinas **propeller de pás variáveis** ou, como são mais conhecidas; **turbinas Kaplan**.

Alguns tipos de turbinas axiais podem possuir um conjunto de pás diretrizes dispostas de maneira radial, juntamente com uma caixa espiral.

As pás do rotor podem ser construídas ou fundidas, ou estampadas e soldadas ou montadas no cubo, normalmente fundido. Para pequenas turbinas, do tipo propeller, as pás e o rotor podem ser fundidos em uma só peça.

No caso da turbina Kaplan, o sofisticado mecanismo de controle das pás no rotor, pode encarecer sua fabricação e tornar a sua aplicação inviável quando comparado às outras turbinas na mesma faixa de aplicação.

As turbinas axiais vêm apresentando grande interesse para quedas pequenas em rios de maiores vazões que habitualmente se consideraria para instalações da turbinas tipo Francis e fluxo cruzado. A turbina axial deu origem a uma série de variantes, além do conceito da turbina Kaplan, como: a turbina Bulbo, a turbina Sifão, a turbina S, tanto de jusante quanto de montante e até a turbina Strafflo.

No Brasil a turbina axial tem seu uso bastante difundido, aparecendo no inventário das usinas hidrelétricas de pequeno porte do SIPOOT como a mais usada depois da turbina Francis.

Na região Centro-Oeste, apresenta grandes condições de aplicação devido as características hidrológicas aí existentes.

Contudo deve-se salientar, que é aquela que apresenta o maior custo em relação ao kW instalado, quando comparada com as tradicionais, Francis simples e Pelton.

### **Turbina Sifão**

Para aproveitamentos de baixas quedas, normalmente inferiores a 5m pode-se utilizar os grupos eletromecânicos equipados com as turbinas axiais especiais para essa finalidade, denominadas tipo "Sifão".

Os equipamentos hidrogeradores para os grupos "Sifão", são de concepção simples. Um conduto em chapas de aço convenientemente calandradas e soldadas ou mesmo parcialmente em concreto, é instalado acima dos níveis de montante e jusante da água. A partida do grupo é realizada a partir de uma bomba de vácuo, criando assim um fluxo contínuo da água no interior do conduto. A parada da turbina, é conseguida pela admissão de ar no Sifão.

Os equipamentos hidromecânicos e a obra civil associada, normalmente utilizadas em instalações tradicionais podem ser assim economizadas. A turbina é constituída de um distribuidor fixo e um rotor tipo axial que pode ser ou propeller (com pás fixas), ou Kaplan (com pás móveis).

Os conjuntos de turbinas Sifão podem ser montados quase que completamente em fábrica, reduzindo assim os custos de instalação na obra.

No Brasil, a Alstom-ABB, antiga Mecânica Pesada, em Taubaté, padronizou e produz esse tipo de turbina, sendo utilizada em baixas quedas, de 1 a 4,5m aproximadamente, com vazões entre 2,0 e 3,0m<sup>3</sup>/s e uma faixa de potência entre 60 a 600kW disponíveis em 6 diâmetros entre 1,180m e 2,120m.

Para potências até 450kW, a multiplicação da rotação entre a turbina e o gerador é feita por intermédio de polia e correia, e para potências acima de 450kW, a multiplicação é feita utilizando-se redutor de engrenagens.

Conhecendo-se a queda líquida e a vazão turbinável, com o auxílio de um ábaco, pode-se estimar a potência nos bornes do gerador e determinar as dimensões principais da turbina (diâmetros do rotor e do cubo).

Pode-se notar que as dimensões desse tipo de turbina são relativamente grandes, o que de certa forma poderá encarecer a parte de transporte e a utilização de equipamentos de levantamento utilizados na sua montagem de obra, principalmente se a instalação for realizada em lugares mais remotos do território nacional e de difícil acesso.

Por outro lado, deve-se acrescentar o fato de que o conjunto pode trabalhar desabrigado, reduzindo os custos com as obras civis, que em casos extremos pode chegar até a 15% do valor dos equipamentos eletromecânicos.

O controle de operação da turbina Sifão, requer certos cuidados, principalmente na partida com a ligação da bomba de vácuo, e a certeza da tomada completa da água na tubulação eliminando a existência do ar, o que poderá prejudicar o perfeito funcionamento do conjunto turbina - gerador.

Na sua instalação, a turbina deverá ficar localizada de tal maneira que o ponto inferior da roda esteja acima do nível máximo de montante.

O ponto superior de saída do tubo de sucção deverá estar localizado no mínimo 0,3 m do nível de jusante de funcionamento.

A altura de sucção, ou seja, a posição do ponto superior da roda em relação ao nível de jusante de funcionamento, deverá ser definido em cada caso pelo fabricante do equipamento.

### **Turbina tipo S**

As turbinas axiais tipo "S" tem sua aplicação, principalmente para aproveitamento de baixas quedas, entre 5 e 20m, podendo em alguns casos chegar a 25m de queda. Seu emprego em projetos de pequenos aproveitamentos é conveniente por apresentar flexibilidade de operação, simplicidade de montagem e facilidade de acesso e manutenção.

Cada dimensão de turbina pode ser fornecida, dependendo das variações de altura de queda e vazão em quatro variantes: distribuidor móvel e rotor de pás móveis; distribuidor fixo e rotor de pás móveis; distribuidor móvel e rotor de pás fixas; e, distribuidor fixo e rotor de pás fixas.

Grandes variações requererão, geralmente, instalações de turbinas com pás móveis (tipo Kaplan). No caso de aplicação de turbinas com distribuidor fixo, a partida e a parada da unidade deverá ser assegurada por um órgão de segurança, geralmente uma comporta vagão ou por uma válvula borboleta.

A Alstom-ABB, em Taubaté, fornece este tipo de turbinas para alturas entre 3 e 22m, vazões entre 9 e 50 m<sup>3</sup>/s e faixa de potência de 500 à 5000kW, com diâmetros de rotores que variam de 1,50m até 2,65m.

Existe ainda a possibilidade do rotor trabalhar no lado de montante ou jusante, dependendo do lado onde fica situado o grupo gerador.

### **Turbinas Bulbo**

A turbina bulbo apresenta-se como uma solução compacta da turbina Kaplan, podendo ser utilizada tanto para pequenos quanto para grandes aproveitamentos. Se caracteriza por ter o gerador montado na mesma linha da turbina em posição quase horizontal e envolto por um casulo que o protege do fluxo normal da água.

É empregada na maioria das vezes para aproveitamentos de baixa queda e quase sempre a fio d'água. Sua concepção compacta de uma turbina Kaplan reduz consideravelmente o volume das obras civis, tornando a mesma de menor custo. Em compensação, o custo do equipamento eletromecânico, turbina e gerador é maior que os das turbinas convencionais, pela tecnologia e processos de fabricação aplicáveis em termos de ajustes e vedações. Pela relação do SIPOT, podemos encontrar algumas dessas turbinas instaladas nos mais diversos estados brasileiros, de potências variando de 0,43MW (Aripuanã - MT - CEMAT) até 42 MW (Igarapava - SP/MG - CEMIG), ou ainda as futuras turbinas da usina de Canoas, com 80 MW (Grupo Votorantim).

### **Bomba centrífuga funcionando como turbina (BFT)**

Nos projetos de mini e microcentrais hidrelétricas pode ser interessante o estudo de utilização de uma bomba funcionando como turbina. Basicamente, os procedimentos de projetos são similares tanto para a bomba como para a turbina convencional.

Existem algumas vantagens do uso de bomba trabalhando como turbina principalmente para aproveitamentos hidráulicos com potência até 500 kW(\*).

Para maiores potências as bombas não são fabricadas em grande escala, portanto possuem uma desvantagem com relação as turbinas, pois no caso de se optar pela fabricação, essa opção recairá sobre a máquina mais indicada, a turbina, por não se poder usar uma bomba de prateleira. Assim, as vantagens em termos de custo das BFTs(\*\*) ficam reduzidas de maneira considerável.

Algumas condições limitam a utilização das bombas como turbinas:

a. A operação eficiente de uma bomba requer uma constância nas condições tanto de vazão quanto de queda, devido a falta de mecanismos de controles hidráulicos nas BFTs, como as pás distribuidoras existentes nas turbinas, que controlam a entrada da água no interior do rotor.

b. Quando acima da necessária, a vazão pode ser regulada por uma válvula de controle; isso é frequentemente adotado nos acionamentos diretos de equipamentos ou interligações à rede elétrica, onde a variação de velocidade não apresenta grandes problemas. Entretanto esse método é ineficiente pois a válvula reduz a altura útil dissipando considerável energia.

c. Variações de vazões podem ser acomodadas pela utilização de BFTs em paralelo permitindo funcionamento de cada uma conforme a variação da vazão. Entretanto, pode não haver vantagem no custo para esse tipo de arranjo quando comparado com o custo de uma turbina convencional possuindo um tradicional sistema de regulação de vazão através do uso de distribuidor.

VIANA; A. N. Carvalho e outros (1986), apresentam alguns resultados experimentais de bombas trabalhando como turbinas no campo exclusivo das microcentrais hidrelétricas, para potências até 50kW e rotação específica ( $n_s$ ) inferior a 180. Foram observados alguns itens importantes:

a. Sua operação mecânica é suave e silenciosa;

b. O pico de rendimento apresentado quando funcionando como turbina é o mesmo quando funcionando como bomba;

c. A altura e vazão para o melhor ponto de rendimento quando trabalhando como turbina, são mais altos com relação aqueles medidos quando trabalhando como bomba;

d. O custo final da utilização da bomba funcionando como turbina, pode chegar a um terço do valor de uma turbina para a mesma finalidade.

Na utilização de uma BFT é importante também para minimizar os custos o estudo do motor de indução como gerador.

### Turbinas para águas correntes

Mais que para gerar energia elétrica, este princípio tem sido utilizado para acionar uma pequena bomba e possibilitar vantagens em um sistema de irrigação, mas também pode funcionar como uma microcentral, principalmente para atender as populações ribeirinhas que vivem em áreas isoladas, como palafitas da região norte.

Seu princípio de funcionamento se baseia no mesmo princípio das turbinas eólicas, só que neste caso utiliza-se a velocidade da água, que é captada por uma roda disposta contra a correnteza do rio.

GARMAN; Peter (1986), mostra o cálculo da potência possível mediante as variáveis envolvidas:

$$P_t = 0,05 \gamma A V^3 C_t$$

onde:

$P_t$  = potência no eixo da turbina; (Watts);

$A$  = área total do rotor, projetada na corrente da água ( $m^2$ );

$V$  = velocidade da corrente, medida a duas vezes de distância do diâmetro do rotor (m/s);

$C_t$  = rendimento esperado para a turbina  $C_t = 0,25$ ; e,

$\gamma$  = peso específico da água ( $9,81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$ ).

A maior área de qualquer máquina já testada foi de  $5\text{m}^2$  ( $d=1,6\text{m}$ ), a qual pode produzir 625 Watts em uma corrente de  $1\text{m/s}$  e  $1\text{kW}$  a  $1,17\text{m/s}$ , constatando-se o rendimento, neste caso, de 25%.

Pode-se notar, que para velocidades de correntes menores que  $0,8\text{m/s}$ , a potência torna-se muito baixa para qualquer interesse de aplicação, e neste caso, somente condições extremamente especiais poderão viabilizar a sua utilização.

A plataforma de apoio pode se construída de madeira utilizando-se de troncos de árvores, ou em estrutura de perfis leves como cantoneiras mantida flutuando na superfície através de tambores. O posicionamento e a amarração nas margens é feito com cordas ou até mesmo cabos de aço.

A construção do rotor pode ser feita de várias formas e materiais. Entre as formas possíveis estão a do tipo tambor, com pás radiais, tanto de eixo horizontal como vertical, como o tipo axial de pás fixas (propeller), sendo esta última a mais utilizada.

Para construção das pás são utilizados diversos materiais como: alumínio, chapas de aço estampadas, e até madeira.

A rotação do rotor para o caso de um diâmetro  $d = 1,2\text{m}$  pode variar entre 15 a 25rpm conforme a velocidade da corrente, necessitando sempre de uma transmissão, normalmente por corrente de bicicleta para a máquina acionada, que pode ser um pequeno gerador ou mesmo uma bomba.

HARWOOD; John H. (1984), apresenta um estudo dessas máquinas, instalada na região amazônica, com rodas de  $d = 4\text{m}$ , em correntes que chegam a gerar até  $2\text{kW}$ .

### 7.1.6 Critérios para a seleção de turbinas hidráulicas para micro, mini e pequenas centrais

A maior evolução em termos de atualização, seleção e padronização de PCH na América do Sul tem sido incentivada pela OLADE (Organização Latino Americana de Desenvolvimento Energético) e como países que melhor seguem essa cartilha podemos citar : Equador, Peru, e a Colômbia.

Considerando que muitos dos fabricantes de turbinas hidráulicas apresentam em seus catálogos, séries de turbinas padronizadas, é relevante revisar as bases conceituais e a metodologia subjacente aos parâmetros determinantes na seleção de turbinas hidráulicas.

A potência instalada é dada pela fórmula:

$$P = \gamma Q H_u h_t$$

onde:

$P$  = Potência instalada (Watts);

$Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$H_u$  = altura útil (m);

$\gamma$  = peso específico da água ( $9,81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$ );

$h_t$  = rendimento total; onde

$$h_t = h_{tu} h_g$$

$h_{tu}$  = rendimento da turbina

$h_g$  = rendimento do gerador

Como uma primeira orientação, o manual da OLADE (Hernández, Carlos A., 1980), fornece os rendimentos da Tabela 7.5.

Os fabricantes de turbinas geralmente propõem um gráfico para estimativa de rendimentos de turbinas para micro e minicentrais hidrelétricas. Os valores de rendimentos podem variar muito, conforme o mercado fabricante e a tecnologia empregada, para todos os tipos de turbinas.

Para rendimentos de geradores, podem ser adotados os valores constantes nos manuais e catálogos de fabricantes:

Table 7.5: Rendimentos propostos para avaliação de instalações de micro, mini, e pequenas centrais hidrelétricas.

Turbinas de Ação				
Pelton e Turgo	$h_{tu}$	$h_v$	$h_h$	$h_m$
Pequenas	0,80	–	0,824	0,97
Médias	0,85	–	0,87	0,98
Grandes	0,92	–	0,93	0,99
Turbinas de Reação				
Francis e Kaplan	$h_{tu}$	$h_v$	$h_h$	$h_m$
Pequenas	0,82	0,95	0,89	0,97
Médias	0,86	0,97	0,92	0,98
Grandes	0,94	0,99	0,96	0,99

**Geradores síncronos:**  $h_g = 0,75$  a  $0,94$  aumentando com a potência.

**Geradores assíncronos:**  $h_g = 0,68$  a  $0,9$  aumentando com a potência.

Para as transmissões entre turbina e gerador, quando necessário, Niemann, Gustav, 1971, Vol. II, faz uma comparação entre diversos tipos de transmissões, propondo os seguintes valores:

**Acoplamento direto eixo turbina - eixo gerador:**  $h = 1,0$ ;

**Transmissão por correia planas:**  $h = 0,96$  a  $0,98$ ;

**Transmissão por correias em V:**  $h = 0,94$  a  $0,97$ ;

**Transmissão por corrente:**  $h = 0,97$  a  $0,98$ ;

**Transmissão por redutor com engrenagem:**  $h = 0,97 n \times 0,98 n + 1$ , onde  $n$  é o número de pares de engrenagens.

O tipo de turbina para determinada aplicação pode ser baseado na seleção através da rotação específica. A OLADE propõe o seguinte critério para o cálculo da rotação específica:

Define-se como rotação específica, ou ainda velocidade específica, o número de rotações por minuto de uma turbina unidade, tomada como padrão da turbina dada, e que representa todas as que lhe forem geometricamente semelhantes, desenvolvendo a potência de  $P = 1\text{HP}$ , sob uma queda  $H_u = 1\text{m}$ .

Em função da vazão:

$$n_q = n Q^{1/2} H_u^{3/4}$$

onde:

$n_q$  = rotação específica

$n$  = rotação em rpm

$Q$  = vazão em  $\text{m}^3/\text{s}$

$H_u$  = altura útil em m.

Em função da potência:

$$n_s(\text{CV}) = n P_t^{1/2} H_u^{5/4}$$

onde:

$P_t$  = potência no eixo da turbina em CV.

A relação entre os números específicos é a seguinte:

$$n_s(\text{CV}) = 3,65 h_{tu}^{1/2} n_q$$

Os valores correspondentes das rotações específicas são mostrados na Tabela 7.6.

Table 7.6: Classificação das turbinas pelas rotações específicas  $n_q$ ,  $n_s(\text{CV})$ . ( $h_{tu} = 0,84$ )

Pelton:	$n_q$	$n_s(\text{CV})$
Lenta - 1 bocal	1 - 3	4 - 10
Normal - 2 bocais	3 - 6	10 - 20
Rápida - 3 ou mais bocais	6 - 9	20 - 30
Turgo:	3 - 7	10 - 24
Fluxo Cruzado:	9 - 60	30 - 200
Francis:	$n_q$	$n_s(\text{CV})$
Lenta	18 - 45	60 - 150
Normal	45 - 75	50 - 250
Rápida	75 - 120	250 - 400
Dupla	45 - 165	150 - 550
Kaplan e Axiais	$n_q$	$n_s(\text{CV})$
Lentas	90 - 135	300 - 450
Normais	135 - 200	450 - 650
Rápidas	200 - 240	650 - 800

O manual “Micro-hydro design manual - a guide to small scale water power schemes” (HARVEY, Adam; e outros, 1998), propõe a seguinte fórmula para rotação específica **aplicada somente às turbinas para micro e minicentrals**:

$$n_s(\text{CV}) = 1,2 n P_t^{1/2} / H_u^{1,25}$$

onde:

$n_s(\text{CV})$  = rotação específica;

$n$  = rotação no eixo da turbina em r.p.m.

$P_t$  = potência no eixo turbina kW;

$H_u$  = altura útil em m.

#### Exemplo

Desejamos fazer a seleção do tipo de turbina sendo conhecidos: a vazão  $Q = 60$  l/s, a altura  $H_u = 60$ m e a rotação no eixo da turbina  $n = 1.150$  rpm (gerador assíncrono, 6 pólos, 60 Hz).

*Solução:* Calculando-se a potência da turbina com um rendimento de 76%, tem-se:

$$P_t = 9,81 \times 0,060 \times 60 \times 0,76 = 26,84\text{kW}.$$

Utilizando a fórmula da rotação específica indicada da equação anterior, chega-se a:

$$n_s(\text{CV}) = 42,8\text{rpm}.$$

Essa rotação específica indica a utilização de uma pequena turbina de fluxo cruzado com o diâmetro do rotor de 0,3m.

### 7.1.7 O Programa Nacional de PCHs

No início de 1984 foi aprovado pelo Governo brasileiro o Programa Nacional de PCHs como os seguintes objetivos a curto, médio e longo prazo:

Redução do consumo de derivados de petróleo, principalmente óleo diesel, que comanda as importações brasileiras de óleo cru, na geração de energia elétrica, inclusive reduzindo o óleo gasto no transporte do próprio combustível.

Idem no transporte urbano-ônibus elétricos e de longa distância, eletrificação de ferrovias.

Complementação das condições básicas de formação de infra-estrutura à expansão de fronteiras agrícolas, criando condições para o maior beneficiamento dos produtos e consequente economia no transporte pela diminuição das cargas *in natura*, melhoria de qualidade de vida local e a geração de empregos e, conseqüentemente, diminuição de migrações internas para os grandes centros.

Alternativa para energização rural nos casos em que se apresenta mais competitiva que a extensão de redes de transmissão ou a implantação de Pequenas Centrais Termelétricas.

Suprimento à indústria de tecnologia que utiliza intensamente a eletricidade, em regiões dotadas de matéria-prima, não justifica a instalação de linhas de transmissão.

Realização de projetos com pequeno prazo de maturação, o que possibilita uma melhor distribuição no tempo dos investimentos e sua rápida absorção, diminuindo os efeitos inflacionários.

Utilização de fatores de produção locais, incluindo forte demanda de mão-de-obra não especializada.

Utilização de equipamentos de fabricação brasileira.

Nesse contexto, cumpre destacar o programa social de PCH em um país como o Brasil, principalmente nas regiões Norte e Centro-Oeste, onde existem pequenas populações, praticamente isoladas do resto do país, que necessitam de integração com os demais centros através dos meios de comunicação, os quais necessitam de eletricidade para operarem.

A energia, chegando a estas localidades, tornará bem mais fácil a solução de problemas de educação, saúde, alimentação e outros, além de propiciar a seus habitantes toda gama de lazer que a eletricidade veicula.

Destaca-se, também, que as PCHs se integram aos sistemas sem, praticamente, modificar os ecossistemas ou quando provocam modificações, são quase e sempre no sentido de uma melhoria dos mesmos, seja em relação a flora, fauna e condições de uso em geral.

No Brasil existem algumas particularidades que recomendam o uso das PCHs como um vetor energético importante, destacando-se as seguintes:

- a) Características hidrológicas, topográficas e geológicas altamente favoráveis a instalação de PCHs.
- b) Domínio tecnológico, por parte de empresas brasileiras, no estudo, projeto, construção, fabricação e operação de PCHs, a baixos custos, permitindo geração hidrelétrica de alta rentabilidade.
- c) Existência de milhares de pequenos núcleos populacionais e pequenos empreendimentos rurais, onde a PCH promoveria desenvolvimento e criaria futuros mercados para o sistema interligado.
- d) Existência de muitos programas sociais dos governos Federal, Estadual e Municipal, de finalidades múltiplas, nos quais a PCH se insere de maneira integrada.
- e) Tecnologia exportável, prevendo-se contribuições das empresas brasileiras na busca do equilíbrio da balança comercial.

De tudo o que foi dito, destacamos dados relativos soamente ao meio rural brasileiro retirados dos últimos Manuais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que demonstram como as PCHs poderão contribuir para energização desse componente.

#### A LEGISLAÇÃO

A Portaria N 136 de 06/10/87 do Departamento Nacional de Aguas e Energia Elétrica (DNAEE), estabelece e define PCH como segue:

1. Estabelece que, para fins de análise pelo DNAEE do projeto relativo a PCH, será observado os Manuais elaborados pelo DNAEE e ELETROBRÁS.
2. Define que, para efeito do disposto no item 1, será considerada PCH o aproveitamento que tenha potência instalada total de, no máximo, 10 [MW] e potência máxima, por gerador, de 5 MW.
3. Permite a aceitação de soluções de engenharia e planejamento não contempladas nos referidos Manuais, desde que tornem mais convenientes o projeto e conduzam a um custo final da energia gerada



inferior a qualquer outra alternativa de suprimento, para o mercado a ser atendido. Os Manuais referidos nesta Portaria são atualmente três:

Manual de Microcentrais Hidrelétricas

Manual de Minicentrais Hidrelétricas

Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas

Além desses Manuais, a EFEI elaborou uma publicação técnica denominada: “Microcentral Hidrelétrica Rural (MCHR)”, para uso direto na propriedade rural, para aproveitamentos até 50 [kW], utilizando técnicas e mão-de-obra local, com Grupos Geradores com bombas Hidráulicas trabalhando como turbinas ou Turbinas Michell-Banki, sendo a regulação feita na carga, com auxílio de sistema de resistências.

Resumendo, a geração de energia elétrica a partir de hidráulica pode ser feita por dois modos:

(a) com rodas d’água para pequenas alturas de queda e pequenas vazões, ou turbinas axiais para maiores volumes de água;

(b) alturas maiores de 10 metros permitem utilizar bombas centrífugas funcionando como turbinas, com excelentes resultados técnico-econômicos.

(c) a integração com cataventos e/ou reservatórios permite obter uma reserva de energia, irrigação e drenagem.

(d) o uso de usinas a fio d’água com geradores captando a máxima potência permite interligar a microcentral ao sistema elétrico. Para isto, é preciso alterar a atual legislação, a exemplo da Alemanha, onde as **concessionárias são obrigadas a comprar energia elétrica proveniente de fontes renováveis**, incluindo pequenas quedas d’água.

## 7.2 Energia Eólica

A energia eólica provém de diferentes níveis de radiação solar, e logo de aquecimento sobre regiões distintas do planeta provocando deslocamento de camadas de ar que são os ventos. A energia cinética contida nestas massas de ar (energia eólica) pode ser captada por uma turbina e logo convertida em energia mecânica rotacional e, posteriormente, em eletricidade nos terminais de um gerador elétrico.

Como uma das principais fontes alternativas de energia, a energia eólica tem se destacado pelo reduzido impacto sobre o meio ambiente e comunidades vizinhas, pela sua base tecnológica industrial, pela experiência e confiabilidade adquiridas nestes últimos 20 anos de operação de grandes sistemas de geração eólica no mundo e pelo imenso potencial energético, estimado para o Brasil em cerca de 10 GW em potência aproveitável.

O desenvolvimento apresentado nestas últimas duas décadas pela tecnologia de sistemas de conversão de energia eólica é comparável à taxa de evolução dos campos tecnológicos mais agressivos. Os sistemas eólicos estabeleceram-se nos EUA e Europa, através de uma indústria sólida e evoluíram no projeto, construção e operação. Esta evolução resultou em uma substancial redução de custos que, segundo a Associação Americana de Energia Eólica, permite que as concessionárias de energia elétrica americanas ofereçam atualmente a seus consumidores a opção de compra de eletricidade gerada por usinas eólicas ao preço especial de 2 a 2,5 centavos de dólares por kilowatt-hora. A este preço, um consumidor residencial típico, que consumisse em média 25% de sua eletricidade de origem eólica, pagaria cerca de 4 a 5 dólares por esta energia ao mês. Vale ressaltar que a energia eólica representa, hoje, o menor custo, entre todas as formas de geração de eletricidade e que seus custos encontram-se ainda em declínio.

A energia eólica, como energia cinética contida nas massas de ar, é proporcional ao quadrado da velocidade de vento. Logo a potência eólica disponível em uma determinada área disponível em uma determinada área varrida por turbina é proporcional ao cubo da velocidade de vento incidente. Assim pequenas diferenças em valores de velocidade de vento de um local para outro representam grandes diferenças na produção e custo da energia gerada.

### 7.2.1 Cataventos

São máquinas de baixa velocidade, utilizados geralmente para bombeamento d'água, que têm várias pás.

### 7.2.2 Turbinas eólicas e aerogeradores

Uma turbina eólica é formada essencialmente por um conjunto de pás (2 ou 3 pás em turbinas modernas), que sob a ação do vento são sujeitas a forças aerodinâmicas que as impulsionam em movimento rotativo. Duas componentes de forças caracterizam o funcionamento de uma turbina eólica: a força de arrasto, que ocorre na direção do vento, e a força de sustentação, perpendicular à ação do vento.

Existem diversas concepções de turbinas eólicas, mas as turbinas de última geração são turbinas de eixo horizontal, de baixo número de pás com perfis aerodinâmicos eficientes, impulsionadas por forças predominantemente de sustentação, acionando geradores elétricos que operam a velocidade variável. A operação em velocidade variável, única forma de garantir alta eficiência da conversão para ampla faixa de variação da velocidade de vento, agrega um aspecto inovador ao processo de geração de eletricidade que é a geração em frequência variável.

As grandes turbinas eólicas, com potências unitárias entre 100 Kw e 1MW, são instaladas em grande número, conectadas à rede elétrica, constituindo o que se chama de "fazendas eólicas" que totalizam uma potência instalada entre 1 e 100 MW. Diversos sistemas deste porte encontram-se instalados no Brasil, destacando-se as usinas do Camelinho ( 1MW, em MG), do Mucuriipe (1,2MW, no Ceará) e da Prainha (10MW, no Ceará). Pequenas turbinas eólicas, com potências unitárias entre 0,25 e 20 Kw, são instaladas em aplicações isoladas da rede elétrica, compondo sistemas híbridos (com geradores diesel ou painéis fotovoltaicos) ou sistemas para aplicações específicas (eletricidade para residências e comunidades rurais, estações de telecomunicação, bombeamento de água, entre outras).

Os aerogeradores só começam a gerar eletricidade acima de determinada velocidade do vento (5 m/s por exemplo); portanto só serão viáveis aqueles sítios que tenham, em boa parte do ano, ventos acima desta velocidade mínima (ver cartas do Brasil).

#### Gerador eólico de baixo custo

Parece um cata-vento, mas trata-se do gerador eólico Bатуíra 500, desenvolvido pela Cooperativa de Energias Alternativas (Altercoop), empresa de Búzios (RJ). Lançado no final do ano de 2002, o Bатуíra gera 500 watts/hora e foi feito para fornecer energia em locais não atendidos pela rede elétrica pública, mas tem sido comprado também por usuários urbanos. Segundo o fabricante, é o único equipamento de sua classe feito no Brasil, seus componentes são resistentes à oxidação e praticamente dispensa manutenção.

O desempenho máximo do equipamento, 500 Watts / hora, é obtido com ventos a partir de 8m/s (28,8 Km/h). É energia suficiente para alimentar até 10 lâmpadas fluorescentes de 9 Watts, 1 TV em cores pequena, uma geladeira e 1 rádio de comunicação simultaneamente, por exemplo. Quando os ventos ultrapassam 12 m/s (43,2 Km/h), o equipamento aciona automaticamente um sistema de segurança, que muda o ângulo do Bатуíra em relação ao vento, para que a hélice continue na mesma velocidade de rotação, no rendimento máximo do gerador, e assegurando a integridade do equipamento. A garantia do Bатуíra 500 é de cinco anos.

Embora tenha sido criado para atender clientes em locais isolados e não atendidos pela rede pública de energia elétrica, cerca de 98Ronaldo Alves, sócio Altercoop. "São pessoas que querem diminuir seus gastos com energia, e recebemos até a consulta de uma empresa que faz transmissão de Internet sem fio", explica Alves. Os equipamentos elétricos não são ligados diretamente ao Bатуíra: ele carrega baterias que servem de fonte de energia elétrica, seja diretamente (12 volts) ou através de conversores (110 ou 220 volts).

A Altercoop afirma ser a única fabricante nacional de geradores eólicos de pequeno porte. Segundo a empresa, seu equipamento tem um custo inferior e rendimento superior ao concorrente estrangeiro mais próximo. O Bатуíra gera 500 watts/hora e seu preço é aproximadamente US\$ 700. Esse custo

varia conforme a necessidade dos equipamentos periféricos ao gerador, como torre e conjunto de baterias. Considerando-se os preços da energia elétrica, o equipamento se amortizaria em um ano de uso.

Uma das principais preocupações do projeto da Altercoop é a baixa manutenção. Para isso, decidiram usar um gerador com magnetos permanentes, que dispensa escovas. “Isso onerou um pouco o equipamento, mas imagine o custo de se mandar um técnico para trocar as escovas de um gerador em uma aldeia no centro da Amazônia”, explica o representante da empresa.

### 7.2.3 Sistemas de energia eólica

A operação dos sistemas de energia eólica é muito dependente da aplicação pretendida para a energia elétrica gerada. Como não se possui intrinsecamente um meio de armazenar a energia cinética dos ventos, os sistemas eólicos agregam formas de estocagem da energia na sua forma de eletricidade, utilizando baterias de acumuladores (em sistemas de pequeno e médio porte) ou interligando-se com o sistema de energia elétrica convencional, em sistemas de grande porte.

## 7.3 Energia solar fotovoltaica

Existem várias formas de aproveitamento de energia solar. O problema principal é o dimensionamento do sistema para competir com o preço da energia elétrica gerada por outros meios. Neste ponto começa a discussão sobre a economia da utilização da energia solar, pois os equipamentos solares geralmente representam investimento de capital e custam muito para a maioria da população. Além do mais, a produção do silício puro é um processo altamente poluente.

Sistemas de geração de energia fotovoltaica têm sido propostos e utilizados em duas formas possíveis: como sistemas de co-geração. Em localidades remotas, que não contam com o fornecimento de energia elétrica através do sistema convencional ou em locais de difícil acesso à rede de energia, sistemas fotovoltaicos isolados podem ser utilizados. Nesta situação, a energia gerada pelos painéis deve ser parcialmente armazenada em bancos de baterias. A idéia aqui é que o excesso de energia elétrica gerada durante períodos de elevada irradiação solar ou de baixo consumo seja armazenada para utilização em períodos de baixa irradiação e durante a noite. Sistemas fotovoltaicos deste tipo podem ser utilizados como fonte principal de energia para consumo residencial e outras atividades, como por exemplo, o bombeamento de água da fonte para um reservatório elevado num sistema de irrigação.

Uma outra situação possível envolve a utilização de um sistema de geração fotovoltaico como uma fonte local de eletricidade conectada em paralelo com a rede elétrica, num esquema de co-geração. No esquema de co-geração, o consumidor utiliza primariamente a energia gerada localmente pelos painéis fotovoltaicos. Qualquer diferença entre o consumo e a geração local é fornecida ou consumida pela rede de energia, dispensando o uso de baterias. O sistema de co-geração fotovoltaica apresenta vantagens específicas tanto para o consumidor como para o próprio sistema de energia elétrica, além dos ganhos ambientais associados à fonte de energia renováveis. Do ponto de vista do consumidor, a vantagem é a redução direta do custo da conta de energia elétrica. Do ponto de vista do sistema de energia, as vantagens são a liberação de capacidade de geração e transmissão de energia, o nivelamento da curva de carga, a redução de custos e a descentralização da geração, entre outros.

Os sistemas de co-geração fotovoltaica vêm recebendo grande atenção em vários países. Projetos como Niewland (complexo residencial de 5000 casas, 1 MW de capacidade de geração fotovoltaica), na Holanda, bem como outros projetos igualmente expressivos nos EUA, Japão e Alemanha, são indicativos da determinação destes países em promover a utilização da energia fotovoltaica em centros urbanos. Cabe registrar que nestes países a geração de energia elétrica é essencialmente realizada a partir de usinas termelétricas a carvão, o que aumenta o interesse na energia solar sob o ponto de vista ambiental. No caso do Brasil, a extensão territorial e os níveis elevados de irradiação solar durante todo o ano e em

praticamente todo o território nacional, estão entre os principais fatores que justificariam uma política de apoio à co-geração fotovoltaica.

Painéis fotovoltaicos são disponíveis hoje em várias apresentações além da forma plana clássica. Esta diversidade de apresentações possibilita a integração dos painéis fotovoltaicos às edificações com um mínimo de impacto arquitetônico. Eles podem ser adquiridos na forma de telhas, laminados flexíveis, placas semi-transparentes (que associam a geração de energia elétrica ao conforto ambiental em edifícios comerciais) e outros. É importante destacar que a utilização de sistemas de co-geração em edifícios comerciais parece particularmente vantajosa, considerando que as atividades nestes edifícios concentram-se no mesmo período de disponibilidade da energia solar, além da redução no consumo de energia, em termos absolutos. Edifícios comerciais apresentam também grandes áreas laterais e de teto, que podem ser aproveitadas para a instalação de painéis fotovoltaicos.

Além dos painéis, a tecnologia de geração fotovoltaica inclui o emprego de inversores estáticos de frequência (conversores CC-CA) que controlam o fluxo de energia entre os painéis e a carga ou a rede de energia. Estes conversores são controlados de forma a extrair dos painéis fotovoltaicos, a máxima potência elétrica associada ao nível de irradiação solar e temperatura. Outra função associada aos inversores é minimizar o impacto da geração descentralizada sob o sistema de energia elétrica. Este impacto inclui a minimização de distorções harmônicas nas formas de onda de tensão e corrente no ponto de acoplamento com a rede de energia, em sistemas de co-geração, ou com a carga, em sistemas isolados, e ainda evitar a formação de "ilhas". Aspectos relacionados à operação de sistemas de energia elétrica impõem a necessidade de desligamento dos sistemas de co-geração caso haja interrupção no fornecimento de energia elétrica naquela área. Sob determinadas condições, é possível que o sistema de co-geração não consiga detectar este desligamento e continue em operação. Esta situação é definida como "ilhamento" e deve ser evitada através de metodologias adequadas de controle do inversor de frequência.

### 7.3.1 O bombeamento de água com painéis solares

Entre as aplicações típicas para sistemas de geração de energia alternativa, o bombeamento de água para uso humano, animal ou para irrigação se destaca destas soluções pelo seu apelo ambiental e social.

O uso de geração diesel, para acionar bombas, apesar de simples e inicialmente de baixo custo, demanda constante manutenção e suprimento de combustível, além de constituir uma solução geradora de poluição sonora e do ar.

Os sistemas eólicos de bombeamento de água, disponíveis no mercado na faixa entre 1 e 10kW, principalmente aqueles que possuem uma conversão intermediária em forma de eletricidade, são os sistemas de menor custo entre as aplicações de energia eólica. Isto se deve à ausência de baterias e conversores estáticos, à baixíssima manutenção, ao uso de motobombas convencionais e a possibilidade de separação na alocação da bomba e do rotor eólico de até 1 km.

O uso de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água, além de se constituir em uma fonte limpa, sem ruído e sem peças móveis, possui uma característica única na relação natural entre a disponibilidade de energia solar e a demanda de água. Estes sistemas geralmente não demandam baterias de acumuladores e a energia gerada nos painéis em corrente contínua é convertida através de um inversor estático para corrente alterada que alimenta a bomba. A operação da bomba à velocidade variável, devido à alimentação a frequência variável permite a absorção máxima da energia convertida pelo painel fotovoltaico.

Sistemas de bombeamento de água alimentados por painéis fotovoltaicos vêm sendo utilizados em diversas localidades e países. A Companhia de Fornecimento de Águas do Estado de Minas Gerais, Copasa, por exemplo, tem instalado sistemas de bombeamento de água de lençóis subterrâneos utilizando esta tecnologia. Comparados aos sistemas de energia eólica, os sistemas fotovoltaicos apresentam como vantagens a versatilidade em termos da definição do local de instalação (inclusive em áreas urbanas), maior robustez e menor necessidade de manutenção (mínimo de partes móveis). A principal vantagem dos sistemas eólicos é o baixo preço da energia gerada (US\$ 0,03/kWh contra US\$ 0,20/kWh para os sistemas fotovoltaicos). No

entanto, esta diferença no custo da energia gerada por estes sistemas deve diminuir. Painéis fotovoltaicos são essencialmente componentes eletrônicos e seu custo deve seguir a tendência geral do setor: redução de custos com o aumento da produção e o aperfeiçoamento da tecnologia de produção.

Os sistemas de bombeamento de água baseados em fontes alternativas de energia se mostram competitivos em locais onde os insumos energéticos são abundantes (ventos e radiação solar) e as fontes tradicionais de eletricidade inexistem ou são economicamente inviáveis. O crescente aumento da eficiência e redução dos custos destes sistemas são frutos de um avanço tecnológico real e vertiginoso, subjugando a tecnologia a serviço do homem e em integração com o meio ambiente.

### 7.3.2 Sistemas de energia fotovoltaica

A energia solar pode ser captada na forma de calor por coletores solares, que a armazenam pelo aquecimento de fluidos (líquidos ou gasosos). A energia solar fotovoltaica, fruto da conversão direta em eletricidade, é contudo, a que tem apresentado o impulso mais notável nos últimos anos. O surgimento de uma diferença de potencial elétrico nas faces opostas de uma junção semi-condutora quando da absorção da luz, efeito fotovoltaico, constitui o princípio básico de funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Os sistemas de geração de energia fotovoltaica têm recebido grande atenção por parte da comunidade técnica internacional e, como conseqüência, têm sido apontados como uma das grandes oportunidades no setor energético nesta virada de século. A produção mundial de painéis fotovoltaicos vem crescendo expressivamente, tendo ultrapassado um total de 120 MW, no ano de 1997. A expectativa é que esta forma de geração de energia elétrica atinja níveis comparáveis ao consumo mundial em torno do ano 2010. Este cenário aponta na direção de um grande esforço tecnológico e político, no sentido de reduzir custos, aumentar a eficiência e confiabilidade e promover a geração da energia elétrica através de painéis fotovoltaicos.

## 7.4 Energia da biomassa

A energia solar é um fator essencial para o crescimento e a vida das plantas. A eficiência na utilização da radiação solar, pelas culturas, é a relação entre a energia convertida em calorías da matéria orgânica pela radiação incidente na mesma área, durante o mesmo período. Dados obtidos no RS indicam que uma cultura comum converte 1% da radiação solar incidente no período. Estudos com a fotossíntese, realizados por Monteith e outros pesquisadores, resultou na conhecida equação empírica:

$$p = \frac{m}{A T} = \frac{1}{a + b/I} \quad (7.1)$$

onde:

$p$  - taxa de fotossíntese

$m$  - massa de carboidratos em gramas

$A$  - área foliar em metros quadrados

$T$  - período em horas.

$I$  - Luminosidade (calorias de luz / m<sup>2</sup> /hora ou ly/hora).

$b$  - Parâmetro que tem a dimensão de cal/g e é inversamente proporcional à eficiência quantitativa da fotossíntese.

$a$  - Parâmetro que tem a dimensão m<sup>2</sup> hr/g ou (hr/m).(g/m<sup>3</sup>) respectivamente.

O parâmetro  $a$  é uma resistência equivalente multiplicada por um índice volumétrico da densidade do cultivo.

Durante a fotossíntese, a energia solar é transformada em energia química acumulada pelas plantas. A taxa de fotossíntese depende também da quantidade de água e nutrientes, além de outros fatores, formando um *ciclo não vicioso, mas harmonioso*.

No Brasil, a radiação solar média é cerca de 5 kWh/m<sup>2</sup>/dia. Este valor, multiplicado pela área de 8512431 km<sup>2</sup> é 4.52 x 10<sup>13</sup> kWh por dia. Supondo-se que apenas 5% da área seja aproveitada energeticamente, e que a eficiência das culturas seja de 1%, tem-se o impressionante número de 2.13 x 10<sup>10</sup> kWh por dia. Conclui-se que o potencial da biomassa é praticamente ilimitado, considerando-se que o consumo total é muito menor. Entretanto, é necessário aperfeiçoar o processo de conversão, e reduzir os custos.

A interpretação correta da equação 7.1 é a base para experiências de obtenção da quantidade de biomassa que é produzida por cada cultivo em locais quaisquer. A análise pode ser estendida para incluir outros fatores. Esta equação é muito útil para relacionar espécies, regiões, e clima.

Muitos pensadores recomendam que toda pessoa deve plantar no mínimo uma árvore periodicamente e cuidar dela até estar firmemente assentada, e o economista pode demonstrar sem esforços que a observação universal desta regra teria como resultado alta taxa de desenvolvimento econômico, independente de qualquer auxílio estrangeiro, como por exemplo capital, tecnologia e energia. Os governos podem incentivar escolas, igrejas, presidiários, militares, e a comunidade em geral a ocupar as terras ociosas com árvores de toda espécie, que além dos frutos, fornece a energia para a atividade agro-industrial.

Um dos aspectos mais importantes é o efeito esponja, ou a capacidade de reter a água da chuva. Pode-se aproveitar a energia da biomassa para auxiliar na adubação da própria floresta, com um excedente energético para o homem?

### 7.4.1 O potencial energético da biomassa

Quando qualquer tecido verde é secado, e perde água, o material restante compõe-se principalmente de carboidratos, como a celulose e a lignina, e em menores quantidades de proteína. Se o tecido seco for queimado para "expulsar" o carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e o enxofre da proteína, sobra uma cinza que contém elementos minerais. A quantidade de carboidratos, em gramas, é o equivalente energético da biomassa. A percentagem entre seus componentes resultará no processo mais adequado de conversão desta para energia para o uso agro-industrial.

As matérias orgânicas existem em quase todos os lugares. Nem todas são viáveis economicamente. Dentre as mais conhecidas, por suas características e particularidades, aborda-se neste trabalho as seguintes:

a. Lenha - Considera-se galhos e sobras de madeiras. A lenha é uma fonte de energia que vem sendo utilizada a bilhões de anos pela humanidade. Infelizmente é um recurso limitado, mas que pode ser ampliado quando necessário. Entre as suas limitações estão a carência de água em muitas regiões secas, e a falta de motivação para o plantio de árvores nativas.

b. Dejetos de animais - Da limpeza de estrebaria, pocilgas, etc.

c. Restos culturais - Desde a preparação do solo à colheita.

d. Aguapé e plantas aquáticas - Em tanques ou lagoas de saneamento.

A biomassa pode ser empregada em:

a. Alimentação de pessoas e animais. As necessidades diárias mínimas, de uma pessoa adulta, são 1500 calorias. As frutas, hortaliças e cereais possuem também todas as vitaminas e proteínas essenciais à vida humana. Um animal alimenta-se em média com quantidade diária equivalente a 10 % de seu peso.

b. Construção de móveis e imóveis. Nas propriedades rurais utiliza-se a madeira bruta para palanques de cerca, construção de casas e abrigos para animais. As madeiras de lei de melhor espécie aplicam-se para móveis. Embora o consumo seja mínimo, é um dos maiores fatores de desmatamento da Amazônia.

c. Conversão energética. Existem dois tipos básicos:

(a) térmicos - combustão direta ou processamento térmico;

(b) biológicos - digestão anaeróbia ou fermentação etílica.

### 7.4.2 Combustão direta da biomassa

Atualmente, o preço do petróleo está subindo, e inúmeras empresas estão substituindo suas caldeiras supridas por derivados de petróleo por caldeiras a lenha.

É prática comum dos agricultores da região realizar a queimada antes do plantio. Além do prejuízo ao solo, muita energia é desperdiçada nesta prática. Pretende-se demonstrar que seria muito melhor utilizar biodigestores naturais para a preparação do solo.

A alguns anos atrás foi muito empregado o locomóvel; uma pequena caldeira a lenha. O vapor gerado pode ser utilizado para geração de eletricidade em uma turbina, acionamento de grandes máquinas rotativas (moinho, serraria, trilhadeiras, recalque d'água, etc.) a um custo de aproximadamente 1000 U\$ por kVA instalado.

A lenha pode ser queimada num forno-fogão construído pelo usuário, sem maiores dificuldades. Entretanto, deve-se escolher o fogão com maior rendimento.

### 7.4.3 Combustíveis de origem vegetal

A eletricidade é utilizada para trabalho em oficina, comunicações, controle, para iluminação, refrigeração, e outros usos. A integração de motores de combustão interna, máquinas elétricas, baterias, veículos elétricos, e diferentes formas de energia mecânica rotativa, reduz o custo (diversidade de tempo e local) e aumenta a confiabilidade (possibilidade de troca de combustível ou fonte energética). Neste sentido, pode-se avaliar o uso de álcool etílico obtido por fermentação da biomassa, ou também uso de produtos de processamentos térmicos (gaseificação, carvão vegetal, metanol, etc.)

Quando duas fontes de energia são usadas para suprir um certo número de necessidades, duas opções básicas são possíveis:

a. Converter a energia das fontes para uma forma de armazenamento, e a partir desta alimentar as necessidades. Este armazenamento pode ser água em reservatórios ou carga de baterias. Isto é muito importante na eletricidade, cozinha, e refrigeração, onde a confiabilidade deve ser alta, e a quantidade de potência envolvida é pequena.

b. Usar cada recurso no caminho que for mais conveniente e eficiente do ponto de vista da combinação recurso-uso. Um único motor Otto e um único 'locomóvel' podem servir para diversos usos sem utilizar eletricidade, pois estes geralmente não ocorrem ao mesmo tempo.

A segunda alternativa é importante onde a potência é grande, e o uso ocorre por um curto período de tempo (baixo fator de carga).

## 7.5 Biodigestores

Foi em 1776, que Volta descobriu o metano, ou o "gás dos pântanos". A fermentação metânica constitui-se num importante ramo de valorização energética da biomassa.

Embora o potencial da biomassa seja muito grande no Brasil, o processo de decomposição anaeróbia é modestamente utilizado na geração de energia elétrica. Este trabalho propõe associação de geradores elétricos movidos a biogás, com as redes de eletrificação rural, pela facilidade de implantação, comercialização energética, e aumento da confiabilidade do sistema de produção até alcançar o ponto de equilíbrio.

A captação e a preparação da biomassa para o biodigestor anaeróbio pode ser realizada com canais de terra anaeróbios, construídos com material e mão-de-obra locais. Também é indispensável otimizar a adubação orgânica com um contínuo bombeamento, agitação e mistura de líquidos.

Este trabalho também apresenta um rápido estudo da viabilidade técnico econômica da utilização do biogás em sistemas rurais, abordando os principais problemas práticos e suas soluções.

### 7.5.1 Biofertilizante

A energia bem utilizada presta inestimáveis serviços, os quais podem ser melhor avaliados através do que representa a falta (ou disponibilidade) de um kWh na produção. O simples ato de tornar um sistema auto-sustentável não tem significado se não resultar uma sustentabilidade econômica. Para que o sistema auto-sustentável atinja efetivamente suas finalidades, é indispensável que desperte e incentive a adoção de novas técnicas de produção e manejo dos recursos naturais, bem como possibilite a extensão do desenvolvimento a toda população.

A biomassa com altos teores de umidade, é o que normalmente sobra para a conversão energética. Somente os processos de conversão biológica têm o potencial de conservar os compostos nitrogenados da biomassa para reciclagem ao solo. Biomassa contendo 12 % de proteínas do peso seco contém aproximadamente 19 kg de N/t. Isto é importante, comparado ao elevado custo energético de fabricação dos adubos nitrogenados, que é 15 MWh/kg de nitrogênio sintético. Assim, a quantidade de energia 285 MWh/t de biomassa seca, indica que esta nunca deveria ser queimada (sem a recuperação de amônia).

A produção da vegetação terrestre pode chegar a 88 t/ha/ano em regiões tropicais. Em condições favoráveis, o aguapé produz até 600 kg de matéria seca por hectare por dia, ou seja 219 t/ha/ano, equivalente a 120 barris de petróleo/km<sup>2</sup>/dia. O aguapé seco possui propriedades nutritivas comparáveis com as de muitos produtos agrícolas, sendo utilizado como alimento para o gado com grande sucesso. A questão é, naturalmente, determinar a relação entre a área de aguapé em relação com outras áreas de plantio visando basicamente alimentação, madeira para abastecimento industrial, ou energia.

As referências atuais feitas a biodigestores estão associadas, preferencialmente à produção do biofertilizante, e utilização do biogás para aquecimentos secundários. Além do biogás e do biofertilizante, dois outros aspectos estão associados à reciclagem das biomassas geradas nas propriedades rurais, o saneamento e a preservação do meio rural.

A simples instalação de um biodigestor, certamente não resolve o problema energético de um pequeno agricultor (pois é um equipamento caro para o seu padrão de vida), mas quando este passa a ser um produtor auto-sustentável, o sistema de biodigestão anaeróbia passa a ser uma garantia de sucesso.

Os excrementos de animais, os insetos, folhas, galhos e frutos que caem das plantas apodrecem no solo e vão dar origem ao húmus. A "fabricação do húmus" é feita por microorganismos (bactérias e fungos) existentes no solo, que decompõem esse material. As bactérias podem ser aeróbias, anaeróbias, ou facultativas, em relação à luz e ao oxigênio.

### 7.5.2 Preparação da mistura

Os componentes deste sistema de preparação são canais de terra, que podem eventualmente realizar também decomposição anaeróbia, segundo as condições climáticas (temperatura e umidade) e teor de matéria orgânica. Construiu-se um canal experimental, para colocação do lixo orgânico residencial. Consiste de uma vala (escavada manual ou mecanicamente) com seção de 80x80 cm<sup>2</sup>, coberta com galhos de podas de árvores, e posteriormente com terra e vegetação. Com alguma manutenção, esta vala dura até 3 anos, que é um prazo suficiente para o crescimento de árvores ou agricultura nas suas proximidades. As características destes canais são:

(a) Têm a mão-de-obra como único componente do custo, significando que não exigem capital de investimento. A sua construção não tem período fixo, integrando-se portanto com a atividade econômica básica.

(b) Aproveita-se a natureza, como por exemplo as chuvas, solo e subsolo, a topografia, e a gravidade para a condução da biomassa até um ponto de drenagem, onde são bombeados até um biodigestor central.

(c) Utiliza-se atividades agropecuárias normais, sem aumentar os trabalhos, mas até mesmo facilitando-os. O recolhimento e preparação da biomassa é uma atividade simples, sem consumo energético extra.



(d) Não se retira a biomassa da lavoura, pois os canais podem ser construídos junto a estas áreas. Assim, não se concentra nutrientes num determinado local da propriedade.

(e) Aproveita-se estes canais para irrigação e drenagem das áreas agrícolas. Realiza-se um controle eficiente da erosão e da poluição.

(f) A regularização do curso d'água ao longo do canal durante o ano significa torná-lo perene. Estes canais serão os precursores de cursos d'água perenes. Após o desmoronamento dos canais (3 anos), estes cursos poderão ser oxigenados com rodas d'água, usadas para movimentar pequenos geradores elétricos.

### 7.5.3 Decomposição da matéria orgânica

A percentagem média de água na biomassa pode variar de 50 a 70%, segundo as estações do ano, o tipo de planta, o terreno, e outros fatores. Quando qualquer tecido verde é seco e perde água, o material restante compõe-se principalmente de carboidratos (celulose e lignina), e em menores quantidades de proteína. Se este material sofre ação de bactérias aeróbias ou anaeróbias decompõe-se e liberam minerais e gases.

Nos biodigestores realiza-se o processo de decomposição anaeróbia. Os microorganismos digerem a biomassa para produzir metano ( $CH_4$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Existem diversos tipos de biodigestores, sendo os principais o modelo chinês e o indiano. O sistema de digestão pode ser de dois estágios: um sólido e outro líquido.

A decomposição das folhas numa floresta tropical nativa leva aproximadamente 6 meses. Se o homem não tem muita coisa a contribuir no ritmo de crescimento das plantas, pode atuar no sentido de acelerar enormemente o tempo de decomposição. A disposição do efluente líquido de indústrias, residências, animais, etc. por filtros biológicos anaeróbios é considerado um processo muito eficiente, do ponto de vista ecológico e sanitário. Para ser utilizado também como fonte energética, sugere-se utilizar canais de terra anaeróbios, cobertos com galhos e vegetação. Estes canais constituem a fase sólida, e devem durar de 3 a 5 anos, e, enquanto isto, aceleram o crescimento de árvores nas suas proximidades.

O estágio líquido pode ser um único biodigestor, mantido em local de temperatura controlada, desenvolvido para realizar a decomposição com mínimo tempo de concentração, reduzindo-se assim o custo do sistema. Utiliza-se integração com construções.

As principais vantagens são:

(a) Permite separar a fase acidogênica e a metanogênica em dois locais distintos: os canais de terra e o biodigestor central, respectivamente. Permite maximizar a produção de gás, e de metano no biodigestor central.

(b) Este processo permite diminuir o tempo de concentração, sendo uma instalação mais compacta e de menor custo. Existem inúmeros processos de digestão, cabendo ao projetista especificar o mais econômico e eficiente em cada caso.

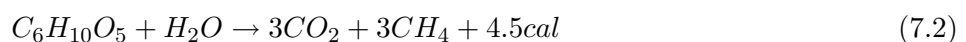
(c) A utilização de bombas permite a agitação pela própria circulação da biomassa no digestor. O controle da relação  $C/N$  pelas vazões também facilita o bom funcionamento em escala industrial.

(d) A integração com as construções é essencial para o aquecimento da mistura. A temperatura deve manter-se na faixa de 30 a 35 °C. Entre outras formas de aquecimento, destaca-se o uso de coletores solares, que têm rendimento de até 50% nesta faixa de temperatura.

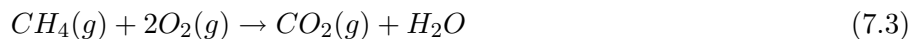
(e) O biofertilizante que sai dos digestores pode alimentar uma lagoa verde, onde cultiva-se aguapés, por exemplo. Outra opção é passar por verme-composto. Estas lagoas integram-se muito bem com agricultura, piscicultura e pecuária, na forma de rotação de culturas.

### 7.5.4 A formação do metano

Teoricamente, a produção do metano, a partir da celulose e amido é a seguinte:



Isto quer dizer que 162 g de celulose fornecem 67.2 litros de gás metano e 67.2 litros de gás carbônico em condições normais de temperatura e pressão (CNTP). O rendimento prático fica em torno de 40 %. Um metro cúbico de estrume, pesando 500 kg, com 20% de peso em material sólido decomponível (100 kg), poderá fornecer 16.5 m<sup>3</sup> de metano. Se o gás produzido contiver 55% de metano puro, tem-se 30 m<sup>3</sup> de biogás (CNTP). Considerando um tempo de retenção de 90 dias, chega-se à conclusão que 1 m<sup>3</sup> de cuba de fermentação produz diariamente cerca de 0,6 m<sup>3</sup> de biogás e decompõe diariamente cerca de 3.6 kg de celulose.



A reação exotérmica do metano com o oxigênio libera 218.8 kcal/mol. A temperatura de inflamação desta mistura é 667 °C. Com o oxigênio, o metano forma uma mistura detonante, cujo máximo efeito corresponde a um volume de metano por dois volumes de oxigênio, ardendo com chama pouco luminosa.

### 7.5.5 O aproveitamento do metano

Tanto o biogás como a lenha são facilmente aplicados na cozinha. O consumo de biogás num fogão portátil com dois queimadores é de 0,5 m<sup>3</sup>/h.

Há alguns anos atrás, tudo levava a crer que, quando se "redescobrisse" a fermentação metânica, esse processo estaria destinado a ter um desenvolvimento muito grande. Com efeito, a crise de energia, a necessidade de eliminar detritos e poluição, severamente regulamentada pelos poderes públicos, os custos de investimentos a priori menos onerosos do que os correspondentes à instalação de vias de tratamento clássicas, são muitos dos parâmetros que teriam influenciado favoravelmente na escolha desta técnica.

Mas, em nosso país, as realizações são muito esporádicas. Em algumas unidades, instaladas em propriedades rurais, fazendas, pocilgas, e fábricas; a prática mostrou que os novos horizontes oferecidos pelos processos anaeróbios eram muito estreitos.

O biogás, constituído de 55 % de metano ( $CH_4$ ), tem 5.500 kcal/m<sup>3</sup>. Ele pode ser usado diretamente ou submetendo-o antes, a uma purificação quanto ao dióxido de carbono ( $CO_2$ ), à umidade e, se necessário ao gás sulfídrico ( $H_2S$ ). Para o bom funcionamento dos queimadores a biogás, recomenda-se uma pressão correspondente a 10 cm de coluna d'água. Para lampiões são desejáveis 15 a 20 cm.

A eliminação do gás carbônico, muito fácil de se realizar por causa da grande solubilidade na água, permite obter um gás com 95 % de metano, cujo poder calorífico é de cerca de 8.400 kcal/m<sup>3</sup>. O dióxido de carbono pode ser retirado pela passagem do biogás através de água corrente, por borbulhamento.

A água líquida do biogás é removida por um purgador, colocado em local mais baixo, após o resfriamento, pois a umidade depende da temperatura do líquido do biodigestor. Passando-se o gás através de um tubo de cloreto de cálcio ( $CaCl_2$ ) elimina-se toda umidade, sendo que este produto químico poderá ser recuperado por aquecimento e evaporação da água absorvida. Este aquecimento, por ser lento, pode ser feito com energia solar.

Os motores a óleo diesel e gasolina podem ser convertidos para o uso do biogás. Contudo, há necessidade deste ser purificado também pela remoção do sulfeto de hidrogênio, além do dióxido de carbono e da umidade. O sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) pode ser removido, passando-o através de um tubo contendo óxido de ferro. O óxido de ferro é eventualmente convertido em sulfeto de ferro, mas este, poderá transformar-se novamente em óxido de ferro por exposição ao ar, ou por tratamento térmico cuidadoso.

A conversão do biogás para energia elétrica pode ser feita com um motor Otto acoplado mecanicamente a um gerador de indução. O rendimento total pode ser de 50 %, e o custo em torno de 500 U\$ por kVA instalado, para potências de até 5 Hp.

O biogás, como combustível para motores, tem sido aproveitado desde muitos anos. Entretanto existem cuidados, tais como:

a. Caso se queira funcionar sem o auxílio inicial da gasolina, pode-se fazê-lo, mas o biogás deve ser suprido pela tubulação do tanque da gasolina. Os dispositivos de entrada de gasolina, do jato de ar, e a

bóia do carburador são retirados do motor. O gás e a entrada de ar requerem ajustes delicados para que a máquina ligue e engrene; mas depois, aos poucos, funcionará normalmente.

b. Os motores a combustão necessitam de arranque, manual ou através de motores. A tensão e a frequência do gerador exigem controles eficientes, que normalmente são muito caros e problemáticos, exigindo maiores pesquisas e investimentos. Enquanto estes problemas não são resolvidos o biogás encontra outras aplicações, tais como em chocadeiras, incubadoras, refrigeradores, e queimadores de cozinha.

Sob o ponto de vista técnico econômico convencional, a fermentação metânica pode não ser um excelente meio de suprimento energético. O interesse, pelo contrário, resulta da integração com a atividade econômica básica, postas em evidência em uma síntese profunda, e que não deve negligenciar princípios básicos de física, matemática, biologia, química, e aspectos socioculturais.

A decomposição da matéria orgânica aerobicamente, sem muita intervenção humana, é um processo muito lento. Para um pequeno agricultor, os poucos investimentos e tecnologia podem impedir o uso de biodigestores. Normalmente, o maior custo da escolha pelo processo anaeróbio será compensado na maior produtividade das atividades econômicas básicas. Este custo pode ser minimizado em projetos eficientes.

Após a fase de síntese do sistema, identificando os blocos do sistema, tem-se que dimensioná-lo. Surgem questões típicas como: qual o volume de biodigestores; qual a relação entre animais e área agrícola; ou quais as potências de motores? Uma restrição óbvia é a econômica, ou seja, a relação entre a quantidade de biomassa reciclada pelo custo do sistema, expressa em kg/\$. Quando este custo for compensado, pode-se pensar em integração da energia ao meio ambiente. Observa-se que é uma visão bem distinta daquela que faz a maximização do lucro.

## 7.6 Aquecedores solares

Os aquecedores solares não produzem energia elétrica diretamente, mas são altamente viáveis na substituição da energia elétrica para aquecimento, e podem ser utilizados para produzir energia mecânica usando o motor Stirling.

### 7.6.1 Radiação solar em Santa Maria - RS

Os dados da tabela mostram a radiação diária média mensal (kWh/m<sup>2</sup>.dia) para todos os meses do ano, a partir de janeiro.

São também fornecidos os valores de radiação solar convertidos do plano horizontal para planos inclinados com três diferentes ângulos em relação ao plano horizontal:

- a) o ângulo igual à latitude;
- b) o ângulo que fornece a maior média diária anual de radiação solar;
- c) o ângulo que fornece o maior valor mínimo mensal de radiação solar.

Estas são geralmente as inclinações mais favoráveis para a instalação dos painéis fotovoltaicos.

As inclinações são arredondadas para valores inteiros de graus;

O valor mínimo de inclinação admitido é de 10, pois o CEPEL não recomenda a instalação de painéis fotovoltaicos com inclinação inferior a esta;

As orientações do painel são também dadas, sendo admitidas somente orientação na direção Norte (indicado por N) ou na direção Sul (indicado por S).

A conversão dos valores de radiação do plano horizontal para os planos inclinados é calculada segundo um modelo do tipo Liu & Jordan isotrópico.

### 7.6.2 O motor Stirling

WERDICH, M. *Stirling-Maschinen: Grundlagen, Technik, Anwendung*, Ökobuch, Staufen bei Freiburg, 1991.

Table 7.7: Radiação diária média mensal (kWh/m<sup>2</sup>.dia) para Santa Maria (29.685S,53.822W) - Rio Grande do Sul - 146.79km

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Horizontal	5.97	5.61	4.86	4.03	3.14	2.50	2.81	3.44	4.19	5.67	6.61	6.97
Latitude (29N)	5.37	5.37	5.10	4.80	4.30	3.59	3.97	4.26	4.57	5.60	6.01	6.11
Maior Média (25N)	5.50	5.46	5.13	4.75	4.19	3.48	3.86	4.20	4.56	5.67	6.16	6.29
Maior Mínimo(50N)	4.44	4.65	4.71	4.78	4.56	3.86	4.25	4.34	4.34	4.94	4.98	4.93

VIEWEG, T. *Heißluft-Motoren I - Funktionsmodelle*, Neckar-Verlag GmbH, 1991.

RIZZO, J.G. *Modelling Stirling and Hot Air Engines*, Patrick Stephens, 1985.

## 7.7 Conservação de energia

Para que você compreenda melhor o panorama do Setor Elétrico Brasileiro e a importância do Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, é importante que fiquem claros alguns conceitos fundamentais. Dê uma olhadinha nestes conceitos e as idéias associadas a eles:

### 7.7.1 Predominância da Geração Hidráulica

Você sabia que 95% da energia elétrica no Brasil é gerada em usinas hidrelétricas.

E sabe por quê?

Porque devido às dimensões continentais do país e da grande quantidade de bacias hidrográficas, esta foi a maneira mais fácil e econômica.

As usinas hidráulicas podem ser de dois tipos básicos: Usinas com Reservatórios de Acumulação e Usinas a Fio d'Água.

Como elas funcionam ?

As Usinas com Reservatórios de Acumulação geram a energia a partir da água acumulada em grandes reservatórios. Assim, o reservatório regula a vazão de forma a equilibrar a geração em todas as usinas. Os grandes reservatórios permitem o acúmulo de água em quantidade suficiente para que a geração de energia elétrica esteja garantida, mesmo que chova em pouca quantidade em um determinado ano. Estes reservatórios são chamados de plurianuais.

As Usinas a Fio d'Água geram energia com o fluxo de água do rio, não acumulando ou acumulando pouca água. Elas distribuem-se ao longo do rio.

É importante conhecer algumas das características da energia elétrica:

Por sua natureza, a energia elétrica é uma forma de energia que não pode ser armazenada. A não ser em pequenas quantidades, como em pilhas e baterias. Assim, ela tem que ser produzida no momento em que se deseja utilizá-la. Esta característica fundamental determina as possibilidades tecnológicas para seu fornecimento.

Para ultrapassar essa limitação, as usinas geradoras acumulam o combustível, e de acordo com a necessidade, utilizam-no. No Brasil o principal é a água, utilizada para geração, que é armazenada nos reservatórios para produzir a energia elétrica, quando for necessário.

Disponibilidade

Devido a grande utilização da energia elétrica na sociedade, o seu fornecimento deve ser contínuo e ininterrupto. Ninguém está disposto a ficar sem a energia elétrica, seja qual for o período de tempo. Esse é mais um motivo para usar sem abusar...

Consumo Crescente

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, o crescimento do consumo de energia elétrica é uma constante (entre 3 e 5 % a.). Mesmo nos períodos em que se verificou uma estagnação econômica, o consumo não parou de crescer. Para atender a este consumo, novas usinas geradoras, sistemas de transmissão e distribuição devem ser construídos.

#### Expansão do Sistema

A construção de Novas Usinas e Sistema de Transmissão está associada a grandes investimentos, longos prazos para conclusão das obras e significativos impactos ambientais.

#### Usinas Virtuais

Quando economizamos energia elétrica, estamos possibilitando que a energia não gasta seja fornecida a um outro consumidor, para prestação de um outro serviço, eliminando a necessidade de expansão do sistema. Chamamos de Usina Virtual aquela que deveria ser construída para fornecer a mesma quantidade de energia que foi economizada, e que, graças à economia, pode ser adiada reduzindo os gastos e o impacto ambiental.

#### Impacto Ambiental

É natural que as atividades humanas interfiram no meio ambiente. Porém, quando a interferência atinge um nível que desequilibra essa estrutura natural, ocorre o que denominamos: impacto ambiental.

É importante mencionar que todas as formas de geração de energia elétrica provocam interferências no meio ambiente. Algumas são mais impactantes e outras menos.

As usinas hidrelétricas provocam vários impactos ambientais, como a inundação de áreas (destruindo a flora e a fauna), interferência no curso natural dos rios e nos seus ciclos (devido ao represamento e controle das águas) e deslocamento de populações.

As linhas de transmissão também produzem impactos ambientais, embora de dimensão bastante inferior aos das usinas de geração.

Mas saiba que até mesmo as energias solar e eólica causam impacto ambiental: a primeira exige um processo de mineração poluidor para extração do minério utilizado na fabricação da célula fotovoltaica. A segunda causa ruídos elevados nas proximidades dos geradores eólicos e ambas, além de deslocar a fauna e flora locais, ocupam espaços que poderiam dar lugar a outras atividades.

### 7.7.2 Recursos Hídricos do Brasil

As características físicas e geográficas do Brasil foram determinantes para a implantação de um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hidráulica. Como cerca de 25% de todo o potencial hidrelétrico conhecido correspondem a usinas em operação e em construção, estima-se que pelo menos nas duas próximas décadas, as fontes hidráulicas continuarão a desempenhar importante papel no atendimento à crescente demanda de energia elétrica.

A exploração desse potencial era, tradicionalmente, efetuada por empresas de economia mista (aquelas em que o acionista majoritário é a União), os governos estaduais ou municipais, que respondem por mais de 99% da produção nacional de energia elétrica para uso público. Hoje, cada vez mais, essa exploração tem a participação da iniciativa privada.

Porém, independentemente do caráter público ou privado dos agentes encarregados do suprimento de energia elétrica, é muitíssimo importante que a operação e a expansão do sistema elétrico brasileiro, continuem a ser realizadas de forma coordenada, com alto grau de interligação entre seus componentes. Esta interligação permite obter dos sistemas uma produção energética superior àquela que seria proporcionada pela soma das produções das usinas em operação isolada.

### 7.7.3 “O Brasil não precisa de Belo Monte”

Célio Bermann. Doutor em Planejamento Energético FEM/UNICAMP. Professor do Programa de Pós-graduação em Energia da USP.

A Bacia Hidrográfica do Rio Xingú está correndo o risco de se tornar uma jazida de megavates cara e inútil, social e ambientalmente insustentável.

A insistência com que, atualmente, a empresa Eletronorte procura viabilizar o projeto da Usina de Belo Monte é uma evidência deste risco. Localizado no rio Xingú, o projeto com 11.182 MW faz parte de um complexo que envolve outras quatro usinas: Altamira (6.588 MW), Ipixuna (1.900 MW), Kakraimoro (1.490 MW) e Jarina (620 MW). Mais de 20 etnias indígenas vivem no rio Xingú.

Praticamente 2/3 (63,6%) do potencial hidrelétrico brasileiro encontra-se localizado na região Amazônica, principalmente nos rios Tocantins, Araguaia, Xingú e Tapajós. As consequências sociais e ambientais da possibilidade de implantação dos empreendimentos hidrelétricos previstos na região, envolvendo questões como as relacionadas com reservatórios em terras indígenas ou a manutenção da biodiversidade, exigem atenção e cuidados que não estão sendo considerados.

Sob o ponto de vista da responsabilidade ambiental, o fato de praticamente 2/3 do potencial hidrelétrico brasileiro se localizar na região amazônica torna ainda mais premente a necessidade do estabelecimento de medidas efetivas de manejo dos reservatórios formados por usinas hidrelétricas, conduzindo a gestão das bacias hidrográficas para o interior das empresas elétricas, o que até hoje não tem se verificado.

Nos tres reservatórios formados pelas usinas hidrelétricas construídas na região Tucuruí (PA) no rio Tocantins, com 2.875 km<sup>2</sup>; Balbina (AM) no rio Uatumã, com 2.360 km<sup>2</sup>; e Samuel (RO) no rio Jamari, com 560 km<sup>2</sup> a cobertura vegetal não foi previamente retirada antes do fechamento das comportas, ocasionando a formação de um "paliteiro" e a emissão de gases decorrentes do processo de decomposição do material orgânico mantido sob as águas, além do comprometimento da qualidade das águas, resultando numa sensível redução das atividades de pesca.

Os reservatórios destas tres usinas hidrelétricas já construídas na região emitem quantidades consideráveis de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, ambos gases de efeito estufa, colaborando com o agravamento do impacto ambiental desses reservatórios.

Tomando-se como base o que já aconteceu com estas usinas hidrelétricas, se todos os aproveitamentos hidrelétricos de grande porte que estão previstos na Amazônia forem concretizados, estima-se que serão emitidos cerca de 2.308,5 milhões de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> nos primeiros dez anos após o início da operação das usinas, ou 231 milhões de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> por ano. Esse volume corresponde a 75% ou - da quantidade de emissão líquida total para o ano de 1999 proveniente da queima dos combustíveis fósseis, lenha e carvão vegetal com origem de mata nativa, o que representa uma contribuição significativa e absolutamente indesejável.

A usina hidrelétrica de Belo Monte, com 11.182 MW de potência instalada, só vai operar com esta potência durante tres meses do ano. Em função do regime hidrológico, nos demais meses, a água disponível só vai possibilitar uma energia firme de 4.670 MW, ou seja, um fator de capacidade de pouco mais de 40%, o que torna esta energia muito cara para viabilizar o investimento total requerido.

Para aumentar o fator de capacidade e viabilizar Belo Monte, será necessário regularizar a vazão do rio Xingú, através da construção das outras quatro usinas, que formarão reservatórios com áreas tão grandes que a própria Eletronorte tem receio de divulgar.

O fato é que, ao contrário do que diz a Eletronorte e o governo, o Brasil não precisa de Belo Monte.

É possível afastar as perspectivas de falta de energia para os próximos anos adotando-se quatro soluções para aumentar a oferta. Primeira, reduzindo as perdas no sistema elétrico brasileiro. Segunda, repotenciando as usinas com mais de 20 anos. Terceira, gerando energia em sistemas descentralizados através das PCH's - Pequenas Centrais Hidrelétricas e de usinas eólicas que aproveitam a energia dos ventos. Quarta, aproveitando biomassa (bagaço de cana ou resíduos do papel e celulose) em cogeração. Soluções que já deveriam ter sido adotadas a muito tempo, o que evitaria o quadro atual.

Todas elas gastando pouco em comparação com as grandes usinas, sem causar os indesejáveis impactos sociais e ambientais, e disponibilizando para a sociedade brasileira o equivalente a mais de 33% da capacidade de geração atualmente instalada.

A Primeira solução parte da situação atual do Sistema Elétrico brasileiro que apresenta perdas técnicas

da ordem de 15%. São perdas da ordem de 54 milhões de MWh (ou 54 bilhões de quilowates-hora) que ocorrem desde a eletricidade é gerada nas usinas, passando pelas linhas de transmissão e redes de distribuição até chegar na tomada do consumidor final.

Se o Brasil adotar um índice de perdas de 6%, considerado como padrão internacional, o sistema elétrico teria um acréscimo de disponibilidade de energia elétrica de 33 milhões de MWh, equivalente ao que produz durante um ano uma usina hidrelétrica de 6.500 MW de potência instalada (ou mais da metade da Usina de Itaipu, que possui 12.600 MW).

Os custos necessários para promover esta redução das perdas consistem basicamente no melhor isolamento nas linhas e na substituição de equipamentos antigos ou defeituosos, como os transformadores. Ações que não estão sendo feitas na frequência e na amplitude que a atual situação exige. Eles são muito menores do que os investimentos para a construção de novas usinas. Este acréscimo na disponibilidade poderia ser obtido sem inundar terras e sem expulsar as populações que vivem nas margens dos rios que são barrados para a construção das usinas hidrelétricas..

Quanto à Segunda, esta solução considera o fato de que o parque de geração de energia elétrica no Brasil apresenta muitas usinas hidrelétricas com mais de 20 anos de atividade.

Estas usinas podem aumentar sua capacidade de produzir energia elétrica através de investimentos na troca de equipamentos (p.ex., substituição do rotor do gerador), ou na modernização de componentes e sistemas.

Estima-se que o Sistema Elétrico brasileiro pode alcançar um acréscimo de potência da ordem de 7.600 MW, resultante da reabilitação, reconstrução ou reparos nas usinas hidrelétricas existentes, e que operam a mais de 20 anos.

Este ganho de potência pode ser obtido com custos bastante reduzidos em comparação com os custos de novas usinas (em torno de 1/3, podendo chegar a 1/5 dos custos de um novo Kw instalado). Se a repotenciação não interferir no nível do reservatório, não aumentando a cota de operação, serão 7.600 MW sem impactos sociais e ambientais como ocorrem na construção de usinas novas.

A Terceira solução considera os dados oficiais do SIPOT-Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico - Eletrobrás que indicam a existência no Brasil de um potencial de 9.800 MW que podem ser obtidos com a construção de 942 pequenas centrais hidrelétricas. Nos próximos três anos, pelo menos 1/3 destas usinas poderiam ser construídas, agregando cerca de 3.200 MW ao atual parque gerador brasileiro.

As PCHs são definidas pela Aneel-Agência Nacional de Energia Elétrica como usinas com potência instalada total de até 30.000 kW (30 MW) e área inundada máxima de reservatório de 3 km<sup>2</sup>. Tratam-se de aproveitamentos hidrelétricos sem impactos sociais e ambientais significativos, que podem aumentar as condições de suprimento de energia elétrica no Brasil de forma descentralizada. No caso de várias PCHs localizadas num mesmo rio, para uma correta avaliação destes impactos deverá ser considerado o conjunto dos projetos localizados na mesma bacia hidrográfica, procedimento este que deveria ser seguido na avaliação da viabilidade ambiental de grandes represas localizadas numa mesma unidade hidrográfica, o que nunca foi considerado. Este é justamente o caso das cinco usinas hidrelétricas projetadas no rio Xingu, que devem ser analisadas no conjunto e não cada usina em separado, como está se querendo fazer com Belo Monte.

Quanto à energia dos ventos, estima-se um potencial eólico no Brasil da ordem de 29.000 MW, principalmente no litoral do Nordeste (Ceará e Rio Grande do Norte). No prazo de três anos seria possível a instalação de 3.000 MW através das usinas eólicas. As duas usinas (Taíba e Prainha), recentemente construídas pela Wobben no litoral do Ceará e que estão fornecendo eletricidade para a Coelce, demonstram a viabilidade econômica desta alternativa.

A Quarta solução, por fim, identifica a cogeração à partir do bagaço de cana como a fonte com maiores possibilidades de utilização a curto prazo. Estima-se uma potência atualmente instalada na região Sudeste de 750 MW, concentrada no estado de São Paulo com 131 usinas, e uma capacidade instalada excedente de 150 MW. Por sua vez, na região Nordeste, a potência instalada é de 358 MW, localizada principalmente nos estados de Pernambuco e Alagoas. Hoje, é muito reduzida a comercialização desta energia.

A partir do desenvolvimento tecnológico, possibilitando o aumento de eficiência no processo estima-se que 3.000 MW poderiam ser obtidos no país a partir do bagaço de cana de açúcar.

Outro setor onde a cogeração apresenta um grande potencial é a indústria de papel e celulose, através do aproveitamento de resíduos em sistemas combinados de produção de energia elétrica e calor de processo. Para o Brasil, estima-se um potencial de 650 MW utilizando-se apenas o resíduo dessa indústria como combustível.

Estão aqui apontadas quatro soluções, sem considerar as imensas possibilidades da energia solar a partir de painéis fotovoltaicos.

No seu conjunto, estas alternativas tornam possível acrescentar ao Sistema Elétrico brasileiro uma capacidade instalada da ordem de 24.000 MW, apenas considerando as alternativas de oferta, sem considerar as oportunidades de ganhos com eficiência energética e conservação. Olhando pelo lado da demanda, a atual crise indica ser cada vez mais oportuno o redirecionamento do perfil industrial brasileiro, hoje com indústrias cujos processos de produção consomem muita eletricidade, como é o caso das indústrias de alumínio, das siderúrgicas, das indústrias que produzem ligas de ferro, das indústrias químicas de cloro e soda, e das indústrias de papel e celulose.

Estes 24.000 MW são equivalentes a 33% da atual capacidade de geração no país, sem a necessidade de construção de grandes usinas hidrelétricas, nem de usinas termelétricas à gás natural de grande porte que estão atualmente sendo propostas como solução.

A população brasileira ainda espera para o nosso país uma política energética onde o bom senso prevaleça. O Xingu não fala. Se falasse, pediria para não ser destruído!



## Chapter 8

# Acionamento de motores de indução

*“Com força e com vontade  
a Felicidade, há de se espalhar  
com toda a intensidade.”*  
(Ivan Lins)

Motor elétrico é a máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. O motor de indução é o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da utilização de energia elétrica - baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando - com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos. Os tipos mais comuns de motores elétricos são:

**Motores de corrente contínua** - são motores de custo mais elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada em contínua (retificador). Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso, seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação.

**Motores de corrente alternada** - são os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Os principais tipos são:

- Motor síncrono: funciona com velocidade fixa; utilizado somente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade invariável.
- Motor de indução: funciona normalmente com uma velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas, encontradas na prática. Atualmente é possível controlarmos a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência.

## 8.1 Sobre acionamentos elétricos

Nesta seção, faremos a apresentação dos termos e dos equipamentos mais empregados no acionamento de motores elétricos.

### 8.1.1 Terminologia

**Acionamento Manual:** Componente mecânico de acionamento de um equipamento. Exemplo: botão de comando, alavanca, etc.

**Acionamento por corrente alternada (CA):** Circuito de comando alimentado por corrente alternada.

**Acionamento por corrente continua (CC):** Circuito de comando alimentado por corrente contínua.

**Botão:** Designação dada a dispositivos de comando, aos quais pertencem os botões de comando de diversos tipos, que possibilitam o acionamento ou interrupção da corrente de comando. Podem ser do tipo pulsante ou travante, com contatos normalmente abertos ou normalmente fechados, ou ambos.

**Botão de comando de fim de curso:** Botão acionado mecanicamente para sinalização, comando e limitação de curso. O miolo da botoeira é que contém os contatos e os terminais do dispositivo fim de curso.

**Botão Sinalizador:** Botoeira com botão transparente de forma tal, que se obtenha, assim como no sinalizador luminoso, uma indicação ótica dada por uma lâmpada embutida no mesmo.

**Capacidade de Interrupção:** Máxima corrente que um dispositivo de manobra ou proteção (contator, disjuntor, chave seccionadora, etc) pode interromper em condições definidas.

**Categoria de Emprego:** Classificação dos dispositivos de comando de cargas de acordo com as finalidades para as quais são previstos.

**Chave:** Dispositivo de manobra mecânico, capaz de ligar, conduzir e interromper correntes sob condições de sobrecarga previstas e, também, de conduzir por tempo especificado, correntes sob condições anormais pré-estabelecidas, tais como as de curto-circuito. Certos tipos de chaves podem ligar mas não interromper correntes de curto-circuito.

**Chave Principal:** Dispositivo que comanda o circuito principal de alimentação, ligado direto ao consumidor, passando através desse a corrente de operação.

**Chave Seccionadora:** Dispositivo que na condição aberta, satisfaz as exigências de distância de isolamento especificadas.

**Chave Seccionadora sob Carga:** Dispositivo que permite operar o circuito com sua carga ligada.

**Circuito auxiliar ou de comando:** Circuito por onde são acionados os dispositivos de manobra. Pode ser usado para fins de medição, comando, travamento e sinalização.

**Circuito principal:** Circuito formado pelas partes mais importantes, incluindo os contatos principais, destinados a conduzir a corrente de operação.

**Contato:** Parte de um dispositivo de manobra, através da qual um circuito é ligado ou interrompido:

**Contato NF (Normalmente Fechado):** Contato que abre, quando do estabelecimento, e fecha quando da interrupção;

**Contato NA (Normalmente Aberto):** Contato que fecha, quando do estabelecimento, e abre quando da interrupção;

**Contato auxiliar:** Contato de chave auxiliar;

Contato inserido em um circuito auxiliar e operado mecanicamente pelo contator.

**Contato de selo:** É um contato auxiliar do contator, que tem a finalidade de selar a alimentação da bobina do contator. Este contato é ligado em paralelo com o botão de ligação do contator.

**Contato principal:** - Contato no circuito principal de um dispositivo de manobra;

- Contato inserido no circuito principal de um contator, previsto para conduzir na posição fechada, a corrente desse circuito.

**Corrente de curto-circuito:** Designação genérica para a corrente possível de ocorrer no local de instalação de um dispositivo de manobra, quando os terminais estão curto-circuitados.

**Corrente nominal:** Corrente de operação de um circuito, determinada pelas condições de emprego, em função da qual são escolhidos os diversos dispositivos.

**Corrente de partida:** Corrente que o motor consome quando ligado, porém ainda em repouso (na partida ou frenagem). Seu valor médio é de seis a nove vezes a corrente nominal dos motores.

**Sobrecarga:** Quando é ultrapassado o valor da corrente nominal de um equipamento elétrico. Pode ser por excesso de carga no eixo do motor ou defeito mecânico no motor ou acoplamentos.

**Nível de Isolamento:** Conjunto de valores de tensão suportáveis nominais que caracterizam o isolamento de um equipamento elétrico em relação a sua capacidade de suportar solicitações dielétricas.

**Partida lenta:** São partidas em que a inércia de carga é alta, provocando um tempo de partida acima de:

- 5s - partida direta;
- 10s - partida estrela-triângulo;
- 15s - partida compensadora;
- 10s - partida estrela série-paralelo.

**Proteção do motor:** Proteção contra efeitos de sobrecarga e curto-circuito sobre o motor, isto é, proteção da instalação do enrolamento contra aquecimentos e esforços eletrodinâmicos inadmissíveis através de:

- Relé térmico de sobrecarga;
- Sondas térmicas;
- Fusíveis;
- Disjuntores.

**Seletividade:** Operação conjunta dos dispositivos de proteção que atuam sobre os de manobra ligados em série para a interrupção escalonada de correntes anormais (por exemplo, curto-circuito). O dispositivo de proteção deve interromper a parte do circuito de força imediatamente anterior a falha. Os demais dispositivos de manobra devem permanecer ligados, a não ser que o dispositivo anterior tenha falhado e assim sucessivamente.

**Vida útil mecânica:** Caracterizada pela resistência ao desgaste do equipamento, sendo determinado pelo número de manobras sem carga que o equipamento pode realizar sem defeitos mecânicos.

**Grau de proteção:** As normas definem o grau de proteção dos equipamentos elétricos por meio das características IP seguida por dois algarismos:

- 1 Algarismo - Indica o grau de proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos e contato artificial;
- 2 Algarismo - Indica o grau de proteção contra a penetração de líquidos.

### 8.1.2 O contator

É uma chave de operação não manual, eletromagnética, que tem uma única posição de repouso e é capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, inclusive sobrecargas no funcionamento.

Os principais elementos construtivos de um contator são:

- Contatos;
- Núcleo;
- Bobina;
- Molas;
- Carcaça.

#### Contato principal

É aquele componente de ligação que, em estado fechado, conduz a corrente do circuito principal. Os contatos principais de um contator são dimensionados com o objetivo principal de estabelecer e interromper correntes de motores, podendo ainda, acionar cargas resistivas, capacitivas e outras.

#### Contatos auxiliares

São dimensionados para a comutação de circuitos auxiliares para comando, sinalização e intertravamento elétrico, entre outras aplicações. O formato dos contatos auxiliares está de acordo com a função: normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF), podendo ser ainda adiantados ou retardados, dependendo da linha e modelo do contator utilizado.

### Sistema de Acionamento

O acionamento dos contadores pode ser realizado com corrente alternada (CA) ou contínua (CC), quando dotados de sistemas específicos (bobina, núcleo) para cada tipo de corrente.

#### *Acionamento CA*

O campo magnético é produzido através da bobina, atraindo a parte móvel dos contatos, fazendo assim a movimentação dos contatos principais e auxiliares.

Para este sistema de acionamento, existem os anéis de curto-circuito, que situam-se sobre o núcleo fixo do contator e evitam o ruído devido à passagem da corrente alternada por zero.

Um entreferro reduz a remanência após a interrupção da tensão de comando e evita o “colamento” do núcleo. Após a desenergização da bobina de acionamento, o retorno dos contatos principais (bem como dos auxiliares) para a posição original de repouso, é garantido através de molas (de compressão).

#### *Acionamento CC*

Este sistema de acionamento difere do “CA” na constituição do circuito magnético, devido a ausência dos anéis de curto circuito, além de possuir uma bobina de enrolamento com derivação (uma parte para atracamento e outra para manutenção), sendo inserido no circuito desta um contato “NF” retardado na abertura, que curto-circuita parte do enrolamento durante a etapa de atracamento.

O enrolamento com derivação tem função de reduzir a potência absorvida pela bobina após o fechamento do contator, evitando com isto o sobreaquecimento ou a queima da bobina. O núcleo é maciço, pois sendo corrente constante, o fluxo magnético também será. Com isto, não haverá força eletromotriz no núcleo e, portanto, não existirá circulação de corrente parasita, não sendo necessário a utilização de núcleo laminado.

### Nomenclatura de contatos e bobina

A identificação de terminais de contadores e relés associados tem por finalidade fornecer informações a respeito da função de cada terminal ou sua localização com respeito a outros terminais ou para outras

aplicações:

*Bobinas*

São identificadas de forma alfanumérica com A1 e A2.

*Terminais do circuito principal (força)*

São identificados por números unitários e por um sistema alfanumérico. Os terminais 1L1, 3L2 e 5L3 voltam-se para a rede (fonte) e os terminais 2T1, 4T2 e 6T3 para a carga.

*Terminais de contatos auxiliares*

Os terminais dos circuitos auxiliares devem ser marcados ou identificados nos diagramas, através de figura com dois números, a saber:

- a unidade representa a função do contato;
- a dezena representa a seqüência de numeração.

O exemplo abaixo ilustra este sistema de marcação:

**-Número de função:** Os números de função 1,2 são próprios de contatos normalmente fechados e 3,4 próprios de contatos normalmente abertos.

Os traços antes dos números indicam a seqüência. Os números de função ‘5-6’ são próprios de contatos NF retardados na abertura, enquanto os números de função ‘7-8’ são próprios de contatos NA adiantados no fechamento.

**-Número de seqüência:** Os terminais pertencentes a um mesmo elemento de contato devem ser marcado com o mesmo número de seqüência. Logo, todos os contatos de mesma função devem ter número de seqüência diferentes.

### 8.1.3 Fusíveis

São os elementos mais tradicionais para proteção contra curto-circuito de sistemas elétricos. Sua operação é baseada na fusão do “elemento fusível”, contido no seu interior. O “elemento fusível” é um condutor de pequena seção transversal, que sofre, devido a sua alta resistência, um aquecimento maior que o dos outros condutores, à passagem da corrente.

O “elemento fusível” é um fio ou uma lâmina, geralmente, prata, estanho, chumbo ou liga, colocado no interior de um corpo, em geral de porcelana, hermeticamente fechado. Possuem um indicador, que permite verificar se operou ou não; ele é um fio ligado em paralelo com o elemento fusível e que libera uma mola que atua sobre uma plaqueta ou botão, ou mesmo um parafuso, preso na tampa do corpo. Os fusíveis contêm em seu interior, envolvendo por completo o elemento, material granulado extintor; para isso utiliza-se, em geral, areia de quartzo de granulometria conveniente.

O elemento fusível pode ter diversas formas. Em função da corrente nominal do fusível, ele compõe-se de um ou mais fios ou lâminas em paralelo, com trecho(s) de seção reduzida. Nele existe ainda um ponto de solda, cuja temperatura de fusão é bem menor que a do elemento e que atua por sobrecargas de longa duração.

### Classificação

Os fusíveis podem ser classificados de acordo com diversos critérios. Destes critérios os mais usados são:

- a) Tensão de alimentação: alta tensão ou baixa tensão;
- b) Características de interrupção: ultra-rápidos ou retardados.

Os fusíveis usados na proteção de circuitos de motores são da classe funcional (gL), indicando que são fusíveis com função de “proteção geral”. A característica de interrupção destes fusíveis é de efeito retardado (gG), pois os motores (cargas indutivas) no instante de partida, solicitam uma corrente diversas vezes superior à nominal e que deve ser “tolerada”.

Caso fossem utilizados fusíveis com características de interrupção “ultra-rápida” estes fundiriam (queimariam), em função da corrente de partida do motor, o que não estaria de acordo com a função do fusível, pois a

corrente de partida não representa nenhuma condição anormal.

c) Forma construtiva dos fusíveis: são basicamente os fusíveis tipo “D” e do tipo “NH”.

### Fusíveis de força tipo D

Os fusíveis do tipo “D” (Diametral ou Diazed) são recomendados para uso tanto residencial quanto industrial. São produzidos para correntes normalizadas de 2 a 63A, capacidade de ruptura de 50kA e tensão máxima de 500V.

**Exercício:** Cada amperagem de fusível tipo D possui uma cor. Procure identificar as cores, e fazer uma tabela.

### Fusíveis de força tipo NH

São dispositivos de proteção que quando usados em circuitos alimentadores de motores, protegem-nos contra correntes de curto-circuito e de forma seletiva (em combinação com relés) contra sobrecargas de longa duração.

Os fusíveis do tipo “NH” (alta capacidade, baixa tensão) são recomendados para uso industrial e devem ser manuseados apenas por pessoal qualificado. São fabricados para correntes normalizadas de 4 a 630A, capacidade de ruptura de 120kA e tensão máxima de 500V.

Na prática (por questões econômicas), costuma-se utilizar fusíveis do tipo “D” até 63A e acima deste valor fusíveis do tipo “NH”.

**Exercício:** Qual o preço de cada fusível no mercado local? Por que se utiliza fusível junto com um disjuntor?

## 8.1.4 Disjuntor

O disjuntor é um dispositivo eletromecânico que, além de executar a mesma função do fusível, age como dispositivo de manobra. Nessas condições, pode substituir as chaves com fusíveis, protegendo e desligando circuitos.

Seu funcionamento pode ser térmico, magnético ou uma combinação de ambos, dependendo do tipo. A ação térmica difere da do fusível, sendo análoga à de um termostato. O calor gerado pela passagem de uma sobrecorrente faz com que um elemento se mova e solte um mecanismo de travamento, abrindo os contatos e, por conseguinte, o circuito. A ação magnética exercida por uma bobina de núcleo móvel faz o papel do fusível; com a passagem de uma elevada corrente, as forças magnéticas agem sobre o núcleo da bobina que, movendo-se, solta o mecanismo de travamento. Ambas as ações, térmica e magnética, são tanto mais rápidas quanto maior a corrente que a originou.

Neste ponto é bom relembrar a diferença entre sobrecarga e curto-circuito:

**Sobrecarga:** é uma corrente elétrica acima da capacidade de condução dos fios e cabos, diminuindo a vida útil desses componentes. Uma sobrecarga pode provocar um aquecimento, danificando a isolamento dos fios.

**Curto-circuito:** é uma corrente elétrica muito superior a capacidade de condução dos fios e cabos. Se o disjuntor não atuar instantaneamente, coloca em risco pessoas e o patrimônio, que poderão até mesmo provocar incêndios.

Os disjuntores são caracterizados pela corrente nominal, pela tensão nominal e pela capacidade de ruptura. Podem ser definidos, de acordo com a sua aplicação, em:

- Disjuntor para manobra e proteção de motores;
- Disjuntor para manobra e proteção de circuitos de distribuição e de entrada industrial, comercial ou residencial.

Aqueles utilizados para manobra e proteção de motores devem admitir a partida e a manobra de motores (dependendo do motor e da carga a ser acionada, este valor pode ser de 6 a 8 vezes a corrente nominal

durante o tempo de partida), assim como ter a capacidade de ligar e interromper correntes de sobrecarga e de curto-circuito.

- Disjuntor-Motor

O disjuntor-motor oferece a proteção adequada em aplicações industriais onde se requer um equipamento compacto e de grande desempenho. Ele segue as normas técnicas no que diz respeito a manobra e proteção de motores.

O disjuntor-motor tem como principais características:

- Sensibilidade contra falta de fase e compensação de temperatura;
- Possibilidade de elevação da capacidade de interrupção através de módulos;
- Admite montagem sobre trilho DIN de 35mm ou fixação por parafusos para todas as faixas de ajuste.

### 8.1.5 Protetores térmicos (sondas térmicas) para motores elétricos

Protegem os motores diretamente contra elevações de temperaturas acima das especificações. Normalmente aplicados em motores:

- À prova de explosão (sem ventilador);
- Com frequência de manobras elevadas;
- Com tempo de partida muito elevado (partida lenta);
- Em ambientes quentes.

São determinados em função da classe de isolamento dos motores.

### Termostatos

Seu princípio de funcionamento baseia-se na deformação de lâminas bimetálicas com o calor. Possuem contatos auxiliares NF que se abrem quando o elemento atinge determinada temperatura (por exemplo classe de isolamento de motores).

Os termostatos são colocados entre as espiras, nas cabeças de bobina do motor, sempre do lado oposto ao ventilador. São ligados em série com a bobina do contator principal.

Para temperaturas acima da classe de isolamento do motor, os termostatos desligam a bobina do contator que alimenta o motor. O religamento será possível tão logo o motor retorne à temperatura inicial.

Em motores trifásicos utiliza-se um termostato por fase, podendo ser utilizado dois termostatos por fase para operar em alarme e desligamento. Neste caso, os termostatos de alarme deverão ser apropriados para atuação de temperatura prevista do motor e os termostatos de desligamento deverão atuar na temperatura da classe de isolamento do motor.

### Protetores bimetálicos de disco

- Usualmente aplicados em motores monofásicos;
  - Normalmente se utiliza protetores bimetálicos de disco com dois contatos NF ligados em série com a alimentação do motor;
  - Instalados na tampa do motor, do lado oposto da ventilação;
  - A corrente solicitada pelo motor circula pelo disco metálico aquecendo-o e quando a temperatura limite é atingida, os contatos se abrem desligando o motor. Após resfriado o bimetálico, os contatos se fecham automaticamente ou ainda manualmente, dependendo do sistema de rearme escolhido. Este tipo de bimetal tem característica de retardo para suportar a corrente de partida dos motores monofásicos;
  - Especificado em função da classe de isolamento e da corrente nominal onde estiver inserido.

### 8.1.6 Relés de Sobrecarga

São dispositivos baseados no princípio da dilatação de partes termoeletricas (bimetálicos). A operação de um relé está baseada nas diferentes dilatações que os metais apresentam, quando submetidos a uma variação de temperatura.

Relés de sobrecarga são usados para proteger equipamentos elétricos, como motores e transformadores, de um possível superaquecimento.

O superaquecimento de um motor pode, por exemplo, ser causado por:

- Sobrecarga mecânica na ponta do eixo;
- Tempo de partida muito alto;
- Rotor bloqueado;
- Falta de uma fase;
- Desvios excessivos de tensão e frequência da rede.

Em todos estes casos citados acima, o incremento de corrente (sobrecorrente) no motor é monitorado em todas as fases pelo relé de sobrecarga.

#### Circuito principal ou de potência

É composto por uma carcaça de material isolante, três bimetálicos de aquecimento, alavanca de desarme, terminais de entrada (1, 3 e 5) e terminais de saída (2, 4 e 6).

#### Circuito auxiliar ou de comando

Consiste basicamente dos contatos auxiliares (NA e NF) por onde circula a corrente de comando, botão de regulagem, botão de rearme (reset), botão de seleção (manual e automático) e bimetálico de compensação de temperatura (dá ao relé condições de operar na faixa de -20°C a 50°C sem modificação da curva de desarme).

Com a circulação da corrente nominal do motor (para o qual o relé está regulado), os bimetálicos curvam-se. Isto porque o bimetálico é uma liga de dois materiais com coeficientes de dilatação diferentes. A curvatura do bimetálico se dá para o lado do material de menor coeficiente.

Quando a corrente que está circulando é a nominal do motor, a curvatura dos bimetálicos ocorre, mas não é suficiente para o desarme.

No caso de uma sobrecarga, os bimetálicos apresentarão uma curvatura maior. Com isso ocorrerá o deslocamento da alavanca de desarme. Este deslocamento é transferido ao circuito auxiliar, provocando, mecanicamente, o desarme do mesmo. A temperatura ambiente não afeta a atuação do relé, pois o bimetálico de compensação sofrerá o mesmo deslocamento, mantendo assim a relação inicialmente definida.

O relé permite que seu ponto de atuação, ou seja, a curvatura das lâminas, e o conseqüente desligamento, possa ser ajustado manualmente. Isto possibilita ajustar o valor de corrente que provocará a atuação do relé.

#### Terminais do relé de sobrecarga

Os terminais do circuito principal dos relés de sobrecarga são marcados da mesma forma que os terminais de potência dos contadores.

Os relés tripolares também podem ser utilizados para proteção de cargas monofásicas e bifásicas, ligando-os como se estivessem carregados para carga trifásica:

Os terminais dos circuitos auxiliares do relé são marcados da mesma forma que os de contadores, com funções específicas, conforme exemplos a seguir.

O número de sequência deve ser o 9 e, se uma segunda sequência existir, será identificada com o zero.



### 8.1.7 Relés de tempo (temporizador)

São temporizadores para controle de tempos de curta duração. Utilizados na automação de máquinas e processos industriais, especialmente em sequenciamento, interrupções de comandos e em chaves de partida.

#### Relés de tempo com retardo na energização

Aplicados no sequenciamento de comandos e interrupções, painéis de comando e chaves compensadoras.

- Eletrônico

O relé comuta seus contatos de saída, após transcorrido o tempo selecionado na escala, sendo o início da temporização dado quando da energização dos terminais de alimentação A1 e A2. Pode possuir um ou dois contatos reversores.

- Bloco temporizador pneumático

Usado diretamente na parte frontal dos contadores. Funciona como temporizador com retardo na energização e desenergização, possuindo uma faixa de ajuste de 0,1 a 30 segundos. Tem a possibilidade de combinação com blocos de contatos auxiliares frontais e laterais.

#### Relés de tempo com retardo na desenergização

Diferencia-se do anterior pela existência dos terminais de acesso ao comando de pulso (1,2); comando este executado por contatos externos ao relé (contatos auxiliares de contadores, botões pulsadores, etc.) que cumprem função de ponte entre dois pontos do circuito eletrônico. É importante salientar que por se tratarem de bornes de acesso ao circuito eletrônico, os terminais 1 e 2 jamais poderão receber qualquer sinal externo de tensão, sob o risco de se danificar. Os terminais A1 e A2 devem ficar energizados durante todo o ciclo de funcionamento do relé. São utilizados em sequenciamento de comando e interrupção e painéis de comando.

**Funcionamento:** Quando fechado o contato que executa a conexão entre os bornes 1 e 2, os contatos de saída comutam e somente após a abertura do contato que mantém a conexão entre os bornes 1 e 2 é que inicia a temporização, sendo que após transcorrida a mesma, os contatos de saída retornam a posição de repouso.

#### Relé de tempo estrela-triângulo

Especialmente fabricado para utilização em chaves de partida estrela-triângulo. Este relé possui dois contatos reversores e dois circuitos de temporização em separado, sendo um de tempo variável para controle do contator que executa a conexão estrela, e outro, com tempo pré-estabelecido e fixo (100ms) para controle do contator que executa a conexão triângulo.

**Funcionamento:** Após aplicada tensão nominal aos terminais A1 e A2, o contato de saída da etapa de temporização estrela comuta (15-18). Após decorrida a temporização selecionada (0 a 30s), o contato de saída da etapa estrela retorna ao repouso (15-16), principiando então a contagem do tempo fixo (100ms), ao fim do qual é atuado o contato de saída da etapa triângulo (25-28).

### 8.1.8 Relé de seqüência de fase

Devido ao seu baixo custo e simplicidade de aplicação, é o elemento ideal para monitoração e controle de seqüência de fase em sistemas trifásicos, com uso na proteção de motores trifásicos, painéis de comando, acionamento CA, detectando qualquer inversão na seqüência de fases R, S, T.

No caso de inversão de fases, o contato de saída não comuta, bloqueando desta forma comando do sistema no qual se encontra inserido.



Figure 8.1: Relé temporizador.

### 8.1.9 Relé de proteção PTC

Este relé é utilizado para proteção térmica de motores que utilizam sondas tipo PTC como sensor, podendo ser aplicado também com outros sensores que tenham variação de resistência maior que 3500 $\Omega$ , levando o contato de saída a abrir, e só ocorre o retorno à operação quando o valor resistivo do PTC diminuir para cerca de 2300 $\Omega$ .

### 8.1.10 Relé de falta de fase

- Com neutro na instalação

O controle de proteção contra falta de fase com neutro supervisiona redes trifásicas nas quais as fases R, S e T estão defasadas entre si de 120 elétricos. Detecta a falta de uma ou mais fases e do neutro e opera o desligamento da carga quando a falta ocorre. O neutro deve ser ligado ao aparelho. Normalmente é fornecido com retardo para desligamento de até 5s para que não opere desnecessariamente durante a partida do motor que, muitas vezes, pode provocar na rede quedas de tensão maiores que a programada do aparelho para atuação. É dotado de um contato reversor.

- Sem neutro na instalação

Este supervisiona redes trifásicas com defasagens elétricas também de 120 e tem as demais características do anterior, porém não sendo necessária a ligação do neutro ao aparelho.

### 8.1.11 Relé de mínima e máxima tensão

São utilizados na supervisão de redes de alimentação monofásicas e trifásicas. Permitem o acionamento de alarme ou o desligamento de circuitos de modo a proteger equipamentos contra variação da tensão da rede além dos limites pré-fixados.

O ajuste dos valores máximos e mínimo de tensão admissíveis para o equipamento a ser protegido, pode ser feito através de dois potenciômetros independentes.

O relé de saída estará energizado para tensões de alimentação dentro da faixa ajustada e desenergizado acima ou abaixo desta. Estes relés também atuam por falta de fase sem neutro e também podem ser dotados de retardos no desligamento de até 5s para evitar que ocorram desligamentos dos sistemas durante o tempo de partida no caso de instalação de motores de grandes potências.

## 8.2 Motor de indução

O motor de indução é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor.

### Estator

- Carcaça: é a estrutura suporte do conjunto; de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e com aletas.

- Núcleo de chapas: as chapas são de aço magnético, tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas no ferro.

- Enrolamento trifásico: três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico ligado à rede trifásica de alimentação.

### Rotor

- Eixo: transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor. É tratado termicamente para evitar problemas como empenamento e fadiga.

- Núcleo de chapas: as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator.

- Barras e anéis de curto-circuito: são de alumínio injetado sob pressão numa única peça.

### Outras partes

- Tampa

- Ventilador

- Tampa defletora

- Caixa de ligação

- Terminais

- Rolamentos

O foco deste capítulo é o “motor de gaiola”, cujo rotor é constituído de um conjunto de barras não isoladas e interligadas por anéis de curto-circuito. O que caracteriza o motor de indução é que só o estator é ligado à rede de alimentação. O rotor não é alimentado externamente e as correntes que circulam nele, são induzidas eletromagneticamente pelo estator, donde o seu nome de motor de indução.

### 8.2.1 Princípio de funcionamento - campo girante

Quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético dirigido conforme o eixo da bobina e de valor proporcional à corrente.

a) Quando um “enrolamento monofásico” ou bobina é atravessado por uma corrente  $I$ , e o campo  $H$  é criado por ela; o enrolamento é constituído de um par de pólos (um pólo “norte” e um pólo “sul”), cujos efeitos se somam para estabelecer o campo  $H$ . O fluxo magnético atravessa o rotor entre os dois pólos e se fecha através do núcleo do estator.

Se a corrente  $I$  é alternada, o campo  $H$  também é, e o seu valor a cada instante será representando pela mesma forma de onda senoidal, inclusive invertendo o sentido em cada meio ciclo.

O campo  $H$  é “pulsante” pois, sua intensidade “varia” proporcionalmente à corrente, sempre na “mesma” direção norte-sul.

b) Na figura X é indicado um “enrolamento trifásico”, que é transformado por três monofásicos espaçados entre si de 120 graus. Se este enrolamento for alimentado por um sistema trifásico, as correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  criarão, do mesmo modo, os seus próprios campos magnéticos  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$ . Estes campos são espaçados entre si de 120 graus. Além disso, como são proporcionais às respectivas correntes, serão defasados no tempo, também de 120 graus entre si e podem ser representados por um gráfico igual ao da figura Y. O

campo total  $H$  resultante, a cada instante, será igual à soma gráfica dos três campos  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$  naquele instante.

Na figura Z, representamos esta soma gráfica para seis instantes sucessivos. No instante (1), a figura X, mostra que o campo  $H_1$  é máximo e os campos  $H_2$  e  $H_3$  são negativos e de mesmo valor, iguais a 0,5. Os três campos são representados na figura W, parte superior, levando em conta que o campo negativo é representado por uma seta de sentido oposto ao que seria normal; o campo resultante (soma gráfica) é mostrado na parte inferior da figura X, tendo a mesma direção do enrolamento da fase 1.

Repetindo a construção para os pontos 2, 3, 4, 5 e 6 da figura Y, observa-se que o campo resultante  $H$  tem intensidade “constante”, porém sua direção vai “girando”, completando uma volta no fim de um ciclo. Assim, quando um enrolamento trifásico é alimentado por correntes trifásicas, cria-se um “campo girante”, como se houvesse um único par de pólos girantes, de intensidade constante. Este campo girante, criado pelo enrolamento trifásico do estator, induz tensões nas barras do rotor (linhas de fluxo cortam as barras do rotor) as quais geram correntes, e conseqüentemente, um campo no rotor, de polaridade oposta à do campo girante. Como campos opostos se atraem e como o campo do estator (campo girante) é rotativo, o rotor tende a acompanhar a rotação deste campo.

Desenvolve-se então, no rotor, um conjugado motor que faz com que ele gire, acionando a carga.

### 8.2.2 Dados de placa

O entendimento dos dados de placa são fundamentais para o eletricitista, e precisam ser analisados.

#### Potência nominal

É a potência que o motor pode fornecer, dentro de suas características nominais, em regime contínuo. O conceito de potência nominal, ou seja, a potência que o motor pode fornecer, está intimamente ligado à elevação de temperatura do enrolamento. Sabemos que o motor pode acionar cargas de potências bem acima de sua potência nominal, até quase atingir o conjugado máximo. O que acontece, porém, é que, se esta sobrecarga for excessiva, isto é, for exigida do motor uma potência muito acima daquela para a qual foi projetado, o aquecimento normal será ultrapassado e a vida do motor será diminuída, podendo ele, até mesmo, queimar-se rapidamente.

Deve-se sempre ter em mente que *a potência solicitada ao motor é definida pelas características da carga*, isto é, independentemente da potência do motor, ou seja: para uma carga de 90cv solicitada de um motor, por exemplo, independentemente deste ser de 75cv ou 100cv, a potência solicitada ao motor será de 90cv.

#### Velocidade síncrona ( $n_s$ )

A velocidade síncrona do motor é definida pela velocidade de rotação do campo girante, a qual depende do número de pólos ( $p$ ) do motor e da frequência ( $f$ ) da rede, em hertz.

Os enrolamentos podem ser construídos com um ou mais pares de pólos, que se distribuem alternadamente (um “norte” e um “sul”) ao longo da periferia do núcleo magnético. O campo girante percorre um par de pólos ( $p/2$ ) a cada ciclo. Assim, como o enrolamento tem  $p$  pólos ou  $p/2$  pares de pólos, a velocidade do campo será:

$$f = np/120$$

$$n = 120 f/p$$

#### Exemplos:

a) Qual a rotação síncrona de um motor de 6 pólos, 50Hz?

$$n = 120 \times 50/6 = 1000rpm$$

b) Motor de 12 pólos, 60Hz?

$$n = 120 \times 60 / 12 = 600 \text{rpm}$$

Note que o número de pólos do motor terá que ser sempre par, para formar os pares de pólos.

Table 8.1: Rotação síncrona por minuto

N. de pólos	60 Hz	50 Hz
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750
10	720	600

Para motores de “dois pólos”, o campo percorre uma volta a cada ciclo. Assim, os graus elétricos equivalem aos graus mecânicos. Para motores com mais de dois pólos, de acordo com o número de pólos, acontece um giro “geométrico” menor.

Por exemplo: Para um motor de seis pólos teremos, em um ciclo completo, um giro do campo de 360 graus x 2/6 = 120 graus geométricos ou elétricos. Isto equivale, logicamente, a 1/3 da velocidade em dois pólos. Conclui-se, assim, que:

$$\text{Graus geométricos} = \text{Graus mecânicos} \times p/2$$

### Escorregamento ( $s$ )

Se o motor gira a uma velocidade diferente da velocidade síncrona, ou seja, diferente da velocidade do campo girante, o enrolamento do rotor “corta” as linhas de força magnética do campo e, pelas leis do eletromagnetismo, circularão nele corrente induzidas.

Quanto maior a carga, maior terá que ser o conjugado necessário para acioná-la. Para obter o conjugado, terá que ser maior a diferença de velocidade para que as correntes induzidas e os campos produzidos sejam maiores. Portanto, à medida que a carga aumenta cai a rotação do motor. Quando a carga é zero (motor em vazio) o rotor girará praticamente com a rotação síncrona. A diferença entre a velocidade do motor  $n$  e a velocidade síncrona  $n_s$  chama-se escorregamento  $s$ , que pode ser expresso em rpm, como fração da velocidade síncrona, ou como porcentagem desta

$$s(\text{rpm}) = n_s - n$$

$$s(\%) = \frac{n_s - n}{n_s} 100$$

Para um dado escorregamento  $s(\%)$ , a velocidade do motor será, portanto

$$n = n_s \times \left( \frac{1 - s(\%)}{100} \right)$$

### Exemplo:

Qual o escorregamento de um motor de 6 pólos, 50Hz, se sua velocidade é de 960 rpm?

$$n_s = 1200 \text{rpm}$$

$$s(\%) = \frac{1000 - 960}{1000} \times 100 = 4\%$$

### Velocidade nominal

É a velocidade (rpm) do motor funcionando à potência nominal, sob tensão e frequência nominais. Conforme foi visto no item anterior, depende do escorregamento e da velocidade síncrona.

Como o escorregamento é geralmente pequeno (2 a 5%), a **velocidade nominal não depende diretamente da tensão**, mas da frequência e do número de polos.

### Tensão nominal

A tensão nominal é a tensão para a qual o motor foi projetado.

A grande maioria dos motores é fornecida com terminais do enrolamento religáveis, de modo a poderem funcionar em redes de pelo menos duas tensões diferentes. Os principais tipos de religação de terminais de motores para funcionamento em mais de uma tensão são:

#### a) *Ligação série-paralela*

O enrolamento de cada fase é dividido em duas partes (lembrar que o número de pólos é sempre par, de modo que este tipo de ligação é sempre possível). Ligando as duas metades em série, cada metade ficará com a metade da tensão de fase nominal do motor. Ligando as duas metades em paralelo, o motor poderá ser alimentado com uma tensão igual à metade da tensão anterior, sem que se altere a tensão aplicada a cada bobina.

Este tipo de ligação exige nove terminais no motor e a tensão nominal (dupla) mais comum, é 220/440V, ou seja, o motor é religado na ligação paralela quando alimentado com 220V e na ligação série quando alimentado em 440V. A figura x mostra a numeração normal dos terminais e os esquemas de ligação para estes tipos de motores, tanto para motores ligados em estrela como em triângulo. Os mesmos esquemas servem para outras duas tensões quaisquer, desde que uma seja o dobro da outra, por exemplo, 230/460V.

#### b) *Ligação estrela-triângulo*

O enrolamento de cada fase tem as duas pontas trazidas para fora do motor. Se ligarmos as três bobinas do motor em triângulo, cada bobina receberá a tensão da linha  $V$ . Entretanto, se ligarmos as três bobinas de 220V em estrela, o motor pode ser ligado a uma linha de tensão igual a  $220 \times \sqrt{3} = 380$  volts sem alterar a tensão no enrolamento que continua igual a 220 volts por bobina, pois,

$$V_f = V/\sqrt{3}.$$

Este tipo de ligação exige seis terminais no motor e serve para quaisquer tensões nominais duplas, desde que a segunda seja igual à primeira multiplicada por  $\sqrt{3}$ . Exemplos: 220/380V -380/660V -440/760V.

Nos exemplos 380/660V e 440/760V, a tensão maior declarada só serve para indicar que o motor pode ser acionado através de uma chave de partida estrela-triângulo. Motores que possuem tensão nominal de operação acima de 660V deverão possuir um sistema de isolamento especial, apto a esta condição.

#### c) *Tripla tensão nominal*

Podemos combinar os dois casos anteriores: o enrolamento de cada fase é dividido em duas metades para ligação série-paralelo. Além disso, todos os terminais são acessíveis para podermos ligar as três fases em estrela ou triângulo. Deste modo, temos quatro combinações possíveis de tensão nominal:

- 1) Ligação triângulo paralelo;
- 2) Ligação estrela paralela, sendo igual a 3 vezes a primeira;
- 3) Ligação triângulo série, valendo o dobro da primeira;
- 4) Ligação estrela série, valendo 3 vezes a terceira. Mas, como esta tensão seria maior que 600V, é indicada apenas como referência de ligação estrela-triângulo.

### Ligação em frequências diferentes

A frequência nominal (Hz) é a frequência da rede para a qual o motor foi projetado. Motores trifásicos bobinados para 50Hz poderão ser ligados também em rede de 60Hz.

- a) Ligando o motor de 50Hz em 60Hz com a mesma tensão
- a potência do motor será a mesma;
  - a corrente nominal é a mesma;
  - a corrente de partida diminui em 17%;
  - o conjugado de partida diminui em 17%;
  - o conjugado máximo diminui em 17%;
  - a velocidade nominal aumenta em 20%.

Nota: Deverão ser observados os valores de potência requeridos, para motores que acionam equipamentos que possuem conjugados variáveis com a rotação.

- b) Se alterar a tensão em proporção à frequência:
- aumenta a potência do motor 20%; -a corrente nominal é a mesma;
  - a corrente de partida será aproximadamente a mesma;
  - o conjugado de partida será aproximadamente o mesmo;
  - o conjugado máximo será aproximadamente o mesmo;
  - a rotação nominal aumenta 20%.

Quando o motor for ligado em 60Hz com a bobinagem 50Hz, poderemos aumentar a potência em 15% para II pólos e 20% para IV, VI e VIII pólos.

### Sentido de rotação de motores de indução

Um motor de indução trifásico trabalhará em qualquer sentido dependendo da conexão com a fonte elétrica. Para inverter o sentido de rotação, inverte-se qualquer par de conexões entre motor e fonte elétrica.

Geralmente, os motores de indução possuem ventilador bidirecional, proporcionando sua operação em qualquer sentido de rotação, sem prejudicar a refrigeração do motor.

### 8.2.3 Curvas conjugado-velocidade da carga e do motor

A curva conjugado x velocidade é uma das principais características dos motores elétricos, pois ela vai dizer onde vai ocorrer o equilíbrio de forças entre o motor e a carga.

Para entender este equilíbrio imagine um cabo de guerra, onde a turma do lado esquerdo é o motor e a turma do lado direito é a carga. A corda ficará em equilíbrio quando as duas forças forem iguais. Agora imagine que a turma da carga puxe com mais força quando aumentar a velocidade e a turma do motor o contrário. Então o equilíbrio ocorre na velocidade onde as duas forças forem iguais.

### Características da carga

Na seleção correta dos motores, é importante considerar as características técnicas de aplicação e as características de carga, no que se refere a aspectos mecânicos para calcular:

- a) Conjugado de partida
- Conjugado requerido para vencer a inércia estática da máquina e produzir movimento. Para que uma carga, partindo da velocidade zero, atinja a sua velocidade nominal, é necessário que o conjugado do motor seja sempre superior ao conjugado da carga.
- b) Conjugado de aceleração
- Conjugado necessário para acelerar a carga à velocidade nominal. O conjugado do motor deve ser sempre maior que o conjugado de carga, em todos os pontos entre zero e a rotação nominal. No ponto de interseção das duas curvas, o conjugado de aceleração é nulo, ou seja, é atingido o ponto de equilíbrio a partir do qual a velocidade permanece constante. Este ponto de intersecção entre as duas curvas deve corresponder a velocidade nominal.



Figure 8.2: Moinho acionado por motor de  $5\frac{1}{2}$ CV

O conjugado médio de aceleração ( $C_a$ ) obtém-se a partir da diferença entre o conjugado do motor e o conjugado resistente da carga.

c) Conjugado nominal

Conjugado nominal necessário para mover a carga em condições de funcionamento à velocidade específica. O conjugado requerido para funcionamento normal de uma máquina pode ser constante ou varia entre amplos limites. Para conjugados variáveis, o conjugado máximo deve ser suficiente para suportar picos momentâneos de carga. As características de funcionamento de uma máquina, quanto ao conjugado, podem dividir-se em três classes:

Conjugado constante

Nas máquinas deste tipo, o conjugado permanece constante durante a variação da velocidade e a potência aumenta proporcionalmente com a velocidade. A potência requerida pela carga é proporcional ao número de rotações  $n$ .

Conjugado variável

Encontram-se casos de conjugado variável nas bombas, nos ventiladores, em que o conjugado varia com o quadrado na velocidade. Se o Conjugado resistente da carga é proporcional ao número de rotações  $n$  a potência  $P$  é proporcional ao número de rotações ao quadrado  $n^2$ . Se o conjugado da carga for proporcional ao número de rotações ao quadrado  $n^2$  a potência  $P$  é proporcional ao número de rotações ao cubo  $n^3$ .

Potência constante

As aplicações de potência constante requerem uma potência igual à nominal para qualquer velocidade. Neste caso, o conjugado resistente da carga é inversamente proporcional ao número de rotações  $1/n$ .



### Curva conjugado-velocidade do motor

O motor de indução tem conjugado igual a zero à velocidade síncrona. À medida que a carga vai aumentando, a rotação do motor vai caindo gradativamente, até um ponto em que o conjugado atinge o valor máximo que o motor é capaz de desenvolver em rotação normal. Se o conjugado da carga aumentar mais, a rotação do motor cai bruscamente, podendo chegar a travar o rotor. Representando num gráfico a variação do conjugado com a velocidade para um motor normal, vamos obter uma curva com aspecto representado na figura X.

$C_o$ : Conjugado básico - é o conjugado calculado em função da potência e velocidade síncrona.

$$C_o = P/\omega_s$$

$C_n$ : Conjugado nominal ou de plena carga - é o conjugado desenvolvido pelo motor à potência nominal, sob tensão e frequência nominais.

$$C_o = P/\omega_r$$

$C_p$ : Conjugado com rotor bloqueado ou conjugado de partida ou, ainda, conjugado de arranque - é o conjugado mínimo desenvolvido pelo motor bloqueado, para todas as posições angulares do rotor, sob tensão e frequência nominais. Esta definição leva em conta o fato de que o conjugado com o rotor bloqueado pode variar um pouco conforme a posição em que se trava o motor.

$C_{min}$ : Conjugado mínimo - é o menor conjugado desenvolvido pelo motor ao acelerar desde a velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado máximo. Na prática, este valor não deve ser muito baixo, isto é, a curva não deve apresentar uma depressão acentuada na aceleração, para que a partida não seja muito demorada, sobreaquecendo o motor, especialmente nos casos de alta inércia ou partida com tensão reduzida.

$C_{max}$ : Conjugado máximo - é o maior conjugado desenvolvido pelo motor, sob tensão e frequência nominal, sem queda brusca de velocidade.

O conjugado de rotor bloqueado deve ser o mais alto possível, para que o rotor possa vencer a inércia inicial da carga e possa acelerá-la rapidamente, principalmente quando a partida é com tensão reduzida. Os valores dos conjugados relativos a estes pontos são especificados pela norma NBR 7094 da ABNT.

O conjugado máximo também deve ser o mais alto possível, por duas razões principais:

1) O motor deve ser capaz de vencer, sem grandes dificuldades, eventuais picos de carga como pode acontecer em certas aplicações, como em britadores, calandras, misturadores e outras.

2) O motor não deve arriar, isto é, perder bruscamente a velocidade, quando ocorrem quedas de tensão, momentaneamente, excessivas.

Uma curva conjugado x velocidade bastante alta tem as seguintes vantagens:

1) Rápida aceleração em caso de partida pesada, como bombas de pistão, esteiras carregadas, cargas de alta inércia, compressores com válvulas abertas, etc.

2) Atendimentos de casos especiais, como os mencionados acima, com motores padrão de estoque, com vantagens de preço, prazo e entrega.

3) Permitem o uso de sistemas de partida com tensão reduzida, como chaves estrela-triângulo, em casos normais, sem prejuízo da perfeita aceleração da carga.

4) Devido ao elevado valor do conjugado máximo, enfrentam, sem perda brusca de rotação, os picos momentâneos de carga e as quedas de tensão passageiras. Isto é fundamental para o acionamento de máquinas sujeitas a grandes picos de carga, como britadores, calandras, etc.

### Categorias - valores mínimos normalizados

Conforme as suas características de conjugado em relação à velocidade e corrente de partida, os motores de indução trifásicos com rotor de gaiola, são classificados em categorias, cada uma adequada a um tipo de carga. Estas categorias são definidas em norma (NBR 7094), e são as seguintes:

**Categoria N** - Conjugado de partida normal, corrente de partida normal;baixo escorregamento. Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao acionamento de cargas normais, como bombas, máquinas operatrizes, ventiladores.

**Categoria H** - Conjugado de partida alto, corrente de partida normal;baixo escorregamento. Usados para cargas que exigem maior conjugado na partida, como peneiras, transportadores carregadores, cargas de alta inércia, britadores, etc.

**Categoria D** - Conjugado de partida alto, corrente de partida normal;alto escorregamento (+de 5%). Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos. Usados também em elevadores e cargas que necessitam de conjugados de partida muito altos e corrente de partida limitada.

**Categoria NY** - Esta categoria inclui os motores semelhantes aos de categoria N, porém, têm características de aceleração previstos para partida estrela-triângulo. Para estes motores na ligação estrela, os valores mínimos do conjugado com rotor bloqueado e do conjugado mínimo de partida são iguais a 25% dos valores indicados para os motores categoria N.

**Categoria HY** - Esta categoria inclui os motores semelhantes aos de categoria H, porém previstos para partida estrela-triângulo. Para estes motores na ligação estrela, os valores mínimos do conjugado com rotor bloqueado e do conjugado mínimo de partida são iguais a 25% dos valores indicados para os motores de categoria H.

Os valores mínimos de conjugado exigidos para motores das categorias N e H (4, 6 e 8 pólos), são especificados pela norma NBR 7094.

Para motores da categoria D, de 4, 6 e 8 pólos e potência nominal igual ou inferior a 150cv, tem-se, segundo a NBR 7094, que: a razão do conjugado com rotor bloqueado  $C_p$  para conjugado nominal  $C_n$  não deve ser inferior a 2,75. A norma não especifica os valores de  $C_{min}$  e  $C_{max}$ .

A NBR 7094 não especifica os valores mínimos de conjugados exigidos para motores 2 pólos, categorias H e D.

## 8.2.4 Regulagem da velocidade de motores de indução

### ligação Dahlander - duas velocidades

Esta versão apresenta a vantagem de se combinar enrolamentos com qualquer número de pólos, porém, limitada pelo dimensionamento eletromagnético do núcleo (estator/rotor) e carcaça, que é geralmente bem maior que o de velocidade única.

O sistema mais comum que se apresenta é o denominado "ligação Dahlander". Esta ligação implica numa relação de pólos de 1:2 com conseqüente relação de rotação de 2:1.

### Motores com mais de duas velocidades

É possível combinar um enrolamento Dahlander com um enrolamento simples ou mais. Entretanto, não é comum, e somente utilizado em aplicações especiais.

### Variação do escorregamento

Neste caso, a velocidade do campo girante é mantida constante, e a velocidade do rotor é alterada de acordo com as condições exigidas pela carga, que podem ser:

- a)variação da resistência rotórica;
- b)variação da tensão do estator;

c)variação de ambas, simultaneamente.

Estas variações são conseguidas através do aumento das perdas rotóricas, o que limita a utilização desse sistema.

### Variação da resistência rotórica

Utilizado em motores de anéis. Baseia-se na seguinte equação do conjugado (M.G.Say, p.254):

$$C = \frac{1}{\omega_s} \frac{s E_2^2 r_2}{[r_2^2 + (sx_2)^2]} \quad (8.1)$$

onde:

$C$  - conjugado do motor;

$\omega_s$  - velocidade síncrona ( $2\pi f$ );

$s$  - escorregamento;

$E_2$  - tensão no entreferro (semelhante à tensão da rede);

$r_2$  - resistência do rotor; e,

$x_2$  - reatância do rotor.

A inserção de uma resistência externa no rotor faz com que o motor aumente o escorregamento  $s$ , provocando a variação de velocidade.

### Variação da tensão do estator

É um sistema pouco utilizado, uma vez que também gera perdas rotóricas e a faixa de variação de velocidade é pequena.

#### 8.2.5 Partida de motores

O motor assíncrono de gaiola é o mais empregado em qualquer aplicação industrial, devido à sua construção robusta e simples, além de ser a solução mais econômica, tanto em termos de motores como de comando e proteção.

Embora de custo mais elevado que o motor de gaiola, a aplicação de motores de anéis necessária para partidas pesadas (elevada inércia), acionamento de velocidade ajustável ou quando é necessário limitar a corrente de partida mantendo um alto conjugado de partida.

A seleção do tipo adequado de motor, com respeito ao conjugado, fator de potência, rendimento e elevação de temperatura, isolamento, tensão e grau de proteção mecânica, somente pode ser feita, após uma análise cuidadosa, considerando parâmetros como: custo inicial, capacidade da rede, necessidade da correção do fator de potência, conjugados requeridos, efeito da inércia da carga, necessidade ou não de regulação de velocidade, exposição da máquina em ambientes úmidos, poluídos e/ou agressivos.

Na aplicação de motores é comum e, em muitos casos práticos, comparar as exigências da carga com as características do motor. Existem muitas aplicações que podem ser corretamente acionadas por mais de um tipo de motor, e a seleção de um determinado tipo, nem sempre exclui o uso de outros tipos. Com o advento do computador, o cálculo pode ser aprimorado, obtendo-se resultados precisos que resultam em máquinas especificadas de maneira mais econômica.

A correta seleção do motor implica que o mesmo satisfaça as exigências requeridas pela aplicação específica. Sob este aspecto o motor deve, basicamente, ser capaz de:

- Acelerar a carga em tempo suficientemente curto para que o aquecimento não venha a danificar as características físicas dos materiais isolantes;
- Funcionar no regime especificado sem que a temperatura de suas diversas partes ultrapasse a classe do isolante, ou que o ambiente possa vir a provocar a destruição do mesmo;

- Sob o ponto de vista econômico, funcionar com valores de rendimento e fator de potência dentro da faixa ótima para a qual foi projetado.

### Inércia da carga

O momento de inércia da carga acionada é uma das características fundamentais para verificar, através do tempo de aceleração, se o motor consegue acionar a carga dentro das condições exigidas pelo ambiente ou pela estabilidade térmica do material isolante.

O momento de inércia é uma medida da resistência que um corpo oferece a uma mudança em seu movimento de rotação em torno de um dado eixo. Depende do eixo em torno do qual ele está girando e, também, da forma do corpo e da maneira como **sua massa** está distribuída. A unidade do momento de inércia é  $\text{kgm}^2$ .

No caso de uma máquina que tem "rotação diferente do motor" (por exemplo, nos casos de acionamento por polias ou engrenagens), deverá ser referida a rotação nominal do motor, usando a expressão:

$$J_{ce} = J_c \left( \frac{n_c}{n_m} \right)^2$$

onde:

$J_{ce}$  - Momento de inércia da carga referido ao eixo do motor;

$n_c$  - rotação da carga;

$n_m$  - rotação do motor.

O momento de inércia total do sistema  $J_t$ , em  $\text{kgm}^2$ , é a soma dos momentos de inércia da carga e do motor

$$J_t = J_m + J_c$$

A inércia total de uma carga é um importante fator para a determinação do tempo de aceleração.

### Conjugado médio de aceleração

O conjugado médio de aceleração obtém-se a partir da diferença entre o conjugado do motor e o conjugado da carga. Seu valor deveria ser calculado para cada intervalo de rotação (a somatória dos intervalos forneceria o tempo total de aceleração). Porém, na prática, é suficiente que se calcule graficamente o conjugado médio, isto é, a diferença entre a média do conjugado do motor e a média do conjugado da carga. Essa média pode ser obtida, graficamente, bastando que se observe que a soma das áreas A1 e A2 seja igual a área A e que a área B1 seja igual a área B2 (ver figura XX).

### Tempo de aceleração

Para verificar se o motor consegue acionar a carga, ou para dimensionar uma instalação, equipamento de partida ou sistema de proteção, é necessário saber o tempo de aceleração (desde o instante em que o equipamento é acionado até ser atingida a rotação nominal).

O tempo de aceleração  $t_a$ , em segundos, pode ser determinado de maneira aproximada pelo conjugado médio de aceleração  $C_{med}$ , usando a expressão:

$$t_a = \frac{16}{375} \frac{n}{C_{med}} \frac{J_t^2}{C_{med}}$$

### Seleção do motor para diferentes cargas

Os motores de indução, de gaiola ou de anel, de baixa e média tensão, encontram vasto campo de aplicação, notadamente nos setores de siderúrgica, mineração, papel e celulose, saneamento, químico e petroquímico, cimento entre outros, tornando-se cada vez mais importante a seleção do tipo adequado para cada aplicação.

- Bombas centrífugas, ventiladores montados no eixo, trituradores, furadeiras, máquinas ferramenta, engrenagens: conjugado de partida entre 1 a 1,5 vezes o conjugado nominal. O conjugado aumenta com o quadrado da velocidade angular. A velocidade nominal pode estar sujeita a pequenas sobrecargas. Corrente de partida normal do nominal especiais, simplificam a partida. Condições de partidas fáceis. Baixo escorregamento e alto rendimento. Categoria N.

- Bombas axiais, compressores, carregadores, alimentadores, laminadores de barra: Conjugado de partida entre 2 a 3 vezes o conjugado nominal. Conjugado de partida alto para vencer elevada inércia. Conjugado praticamente constante em qualquer rotação. É desaconselhável sujeitar o motor a sobrecargas durante a velocidade nominal. Categoria H.

- Prensas puncionadoras, misturadores, betoneiras, máquinas de lavar roupa industriais, tesouras mecânicas, bombas de óleo, pontes rolantes, elevadores, talhas, guindastes: cargas intermitentes que requerem conjugado de partida até 3 vezes o nominal. Máquinas que têm potência constante, ou que têm volante para suportar os picos de potência. Pequena regulação é conveniente para amenizar os picos de potência e reduzir os esforços mecânicos sobre o motor. A alimentação precisa ser protegida dos picos de potência resultantes de flutuações de carga! Alto escorregamento e baixo rendimento. Categoria D.

Quando o motor for da categoria N, o meio mais adequado na atualidade para reduzir os gastos de energia é usar motores de alto rendimento. Está comprovado, por testes, que estes motores especiais têm até 30% a menos de perdas, o que significa uma real economia. Estes motores são projetados e construídos com a mais alta tecnologia, com o objetivo de reduzir perdas e incrementar o rendimento. Isto proporciona baixo consumo de energia e menor despesa. São os mais adequados nas aplicações com variação de tensão.

## 8.3 Chaves de partida

As principais finalidades das chaves de partida são a proteção do operador contra acidentes, e do motor contra:

- Falta de fase;
- Sobrecarga;
- Curto-circuito;
- Sobreensões e subtensões;
- Ambientes quentes;
- Danos na ventilação;
- Queda no fornecimento de energia;
- Das instalações contra avarias causadas por pico na ligação e comutação;
- De outros equipamentos e consumidores instalados próximo ao motor;

Outra finalidade das chaves de partida é a versatilidade, que consiste:

- Ligação rápida e segura do motor;
- Utilização de comando manual ou automático com dispositivos como temporizadores, sensores, presostatos, termostatos, chaves fim de curso, etc.
- Simplificação do sistema de operação e supervisão da instalação.

### 8.3.1 Chave de partida direta

É o método mais simples, em que não são empregados dispositivos especiais de acionamento. A chave de comando direto existe em grande número de modelos e diversas capacidades de corrente, onde as principais

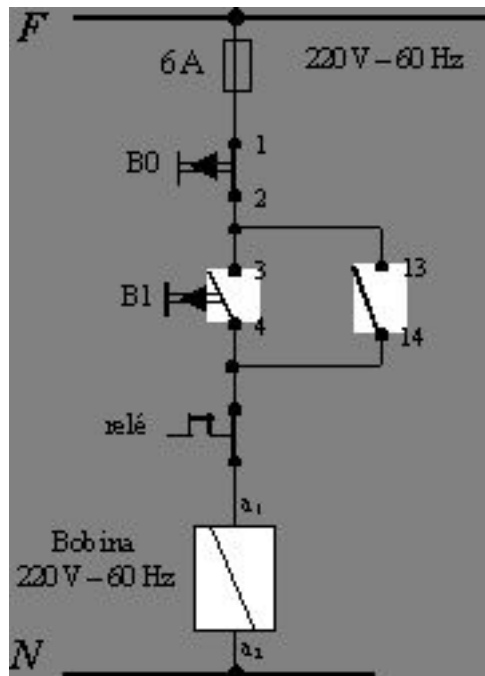


Figure 8.3: Chave de partida direta com botoeiras - circuito de comando

são:

- chave tipo faca;
- interruptor simples;
- chave rotativa tipo tambor;
- chave simples para montagem em quadros, o contactor.

Os motores somente podem partir diretamente desde que sejam satisfeitas as seguintes condições:

- a corrente nominal da rede é tão elevada que a corrente de partida do motor não é relevante;
- a corrente de partida do motor é de baixo valor porque sua potência é pequena;
- a partida do motor é feita sem ou com mínima carga, o que reduz a corrente de partida.

Nas concessionárias de fornecimento de energia elétrica permite-se partida direta de motores trifásicos até 5 CV em 220V e de 7,5CV em 380V.

A partida de um motor trifásico de gaiola, deverá ser direta, por meio de contadores. Deve-se ter em conta que para um determinado motor, as curvas de conjugado e corrente são fixas, independente da carga, para uma tensão constante. No caso em que a corrente de partida do motor é elevada podem ocorrer as seguintes consequências prejudiciais:

a) Elevada queda de tensão no sistema de alimentação da rede. Em função disto, provoca a interferência em equipamentos instalados no sistema;

b) O sistema de proteção (cabos, contadores)deverá ser superdimensionado, ocasionando um custo elevado;

c) A imposição das concessionárias de energia elétrica que limitam a queda de tensão da rede. Caso a partida direta não seja possível, devido aos problemas citados acima, pode-se usar sistema de partida indireta para reduzir a corrente de partida:

- chave estrela-triângulo
- chave compensadora
- chave série-paralelo
- partida eletrônica (soft-starter)

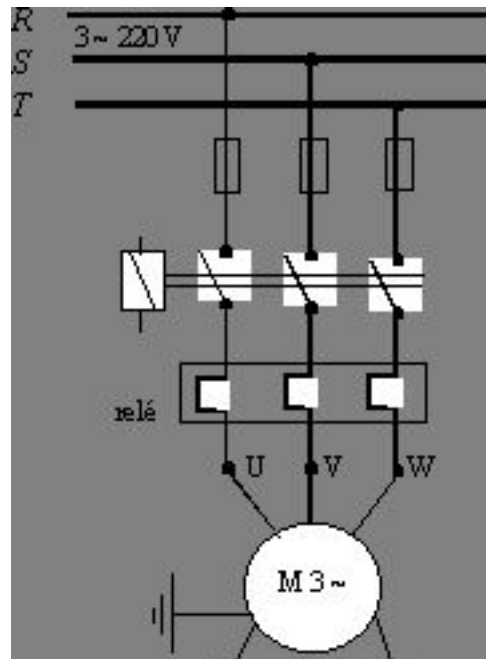


Figure 8.4: Chave de partida direta com botoeiras - circuito principal

### 8.3.2 Partida através de chave estrela-triângulo (Y - $\Delta$ )

Consiste na alimentação do motor com redução de tensão nas bobinas durante a partida. Na partida as bobinas do motor recebem 58% (1/) da tensão que deveriam receber. A chave estrela-triângulo é um dispositivo que liga as três fases do motor em estrela durante a partida até uma rotação próxima da nominal (90%), quando comuta a ligação para triângulo. Isto significa que a tensão por fase na ligação estrela será vezes menor que a tensão de alimentação, conseqüentemente, a corrente de linha na partida será vezes menor, assim como o seu conjugado motor. É fundamental para esta chave de partida que o motor tenha possibilidade de ligação em dupla tensão, (220/380V, 380/660 V, 440/760V) e que a menor tensão coincida com a tensão de linha da rede e os motores tenham no mínimo 6 terminais.

Vantagens:

- é muito utilizada, devido ao seu custo reduzido;
- não tem limites quanto ao seu número de manobras;
- os componentes ocupam pouco espaço;
- a corrente de partida fica reduzida para aproximadamente 1/3 da nominal.

Desvantagens:

- a chave só pode ser aplicada em motores com no mínimo seis terminais acessíveis;
- a tensão de linha da rede deve coincidir com a tensão da ligação triângulo do motor;
- reduzindo a corrente de partida em 1/3 reduz-se também o momento de partida em 1/3;
- se o motor não atingir 90% da velocidade nominal no momento da troca de ligação, o pico de corrente na comutação será quase como se fosse uma partida direta.

É fundamental para a partida que o motor tenha a possibilidade de ligação em dupla tensão, ou seja, em 220/380V, em 380/660V ou 440/760V. Os motores deverão ter no mínimo seis bornes de ligação. A partida estrela- triângulo poderá ser usada quando a curva de conjugado do motor é suficientemente elevada para poder garantir a aceleração da máquina com a corrente reduzida.

Na ligação estrela, a corrente fica reduzida para 25 a 33% da corrente de partida na ligação triângulo. O conjugado resistente da carga não poderá ultrapassar o conjugado de partida do motor, nem a corrente

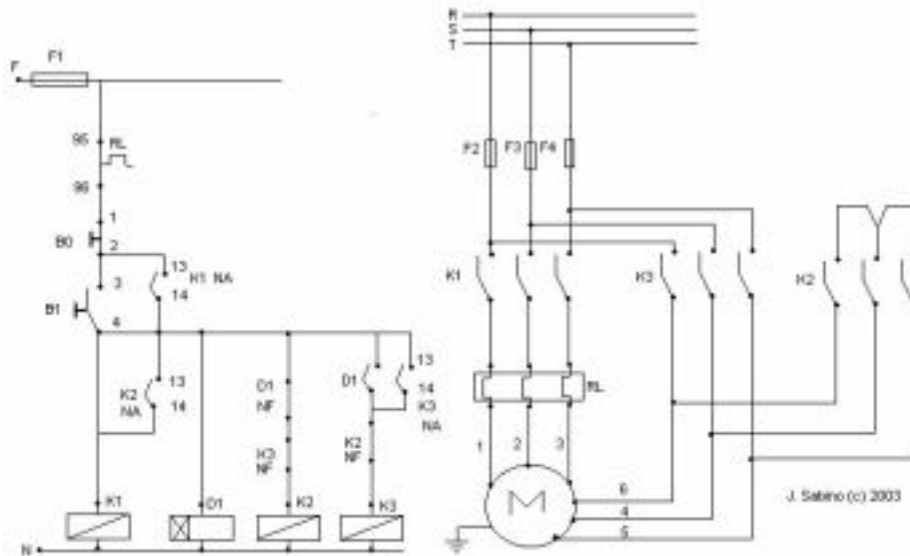


Figure 8.5: Ligação estrela-triângulo.

no instante da mudança para triângulo poderá ser de valor inaceitável.

Existem casos onde este sistema de partida não pode ser usado.

Na figura X temos um alto conjugado resistente  $C_r$ . Se a partida for em estrela, o motor acelera a carga aproximadamente até 85% da rotação nominal. Neste ponto, a chave deverá ser ligada em triângulo. Neste caso, a corrente, que era aproximadamente a nominal, ou seja, 100%, salta repentinamente para 320%, o que não é nenhuma vantagem, uma vez que na partida era de somente 190%.

Na figura Y temos o motor com as mesmas características, porém, o conjugado resistente  $C_r$  é bem menor. Na ligação Y, o motor acelera a carga até 95% da rotação nominal. Quando a chave é ligada em  $\Delta$ , a corrente, que era de aproximadamente 50%, sobe para 170%, ou seja, praticamente igual a da partida em Y. Neste caso, a ligação estrela-triângulo apresenta vantagem, porque se fosse ligado direto, absorveria da rede 600% da corrente nominal.

A chave estrela-triângulo em geral só pode ser empregada em partidas das máquinas em vazio, isto é, sem carga. Somente depois de ter atingido pelo menos 90% da rotação nominal, a carga poderá ser aplicada. O instante da comutação de estrela para triângulo deve ser criteriosamente determinado, para que este método de partida possa efetivamente ser vantajoso nos casos em que a partida direta não é possível.

No caso de motores tripla tensão nominal (220/380/440/760V), deve-se optar pela ligação 220/380V ou 440/(760)V, dependendo da rede de alimentação.

Esquemáticamente, a ligação estrela-triângulo num motor para uma rede de 220V é feita da maneira indicada na figura X, notando-se que a tensão por fase durante a partida é reduzida para 127V.

### 8.3.3 Partida através de chave compensadora

Este sistema consiste na utilização de um autotransformador, ligado em série com as bobinas, que reduz a corrente absorvida da linha devido a redução de tensão, onde a corrente sofre uma redução proporcional a queda de tensão. Este método possui um alto custo inicial, mas possibilita um melhor ajuste da corrente, cujo este ajuste é feito simplesmente mudando a tensão fornecida ao motor através dos taps ou regulador do autotransformador. Normalmente este autotransformador de partida vem equipado com taps ou bornes de 65 e 80Å redução da corrente de partida depende do Tap em que estiver ligado o autotransformador. Esta chave pode ser usada para motores que partem com carga, onde o conjugado resistente de partida da



carga deve ser inferior à metade do conjugado de partida do motor e o motor que vai utilizar a partida compensadora pode ser de tensão única, com apenas três terminais. Normalmente, este tipo de partida é empregado em motores de potência elevada, acionando cargas com alto índice de atrito tais como britadores, máquinas acionadas por correias, calandras e semelhantes.

Vantagens:

- a comutação da derivação de tensão reduzida para a tensão de suprimento não acarreta elevação da corrente, já que o autotransformador comporta-se, neste instante, semelhantemente a uma reatância que impede o crescimento da mesma;

- a variação gradativa dos taps. Pode variar o tap conforme exigência da carga, como por exemplo as partidas longas

Desvantagens:

- custo elevado em relação a chave Y- $\Delta$ ;
- volumosa e pesada.

Table 8.2: Comparação entre as chaves estrela-triângulo e compensadora

	ESTRELA-TRIÂNGULO	COMPENSADORA
Custo	menor	maior
Dimensões	menores	maiores
Carga de partida	praticamente a vazio	admite partidas com carga
Corrente de partida	reduzida para 33%	reduzida para 64% no tap de 80% e 42% no tap de 65%

A chave compensadora pode ser usada para a partida de motores sob carga. Ela reduz a corrente de partida, evitando uma sobrecarga no circuito, deixando, porém, o motor com um conjugado suficiente para a partida e aceleração. A tensão na chave compensadora é reduzida através de autotransformador que possui normalmente taps de 50, 65 e 80% da tensão nominal. Para os motores que partirem com uma tensão menor que a tensão nominal, a corrente e o conjugado de partida devem ser multiplicados pelos fatores  $K_1$  (fator de multiplicação da corrente) e  $K_2$  (fator de multiplicação do conjugado).

### Comparação entre chaves estrela - triângulo e compensadoras "automáticas"

#### 1) Estrela triângulo automática

Vantagens

- A chave estrela-triângulo é muito utilizada por seu custo reduzido.
- Não tem limite quanto ao seu número de manobras.
- Os componentes ocupam pouco espaço.
- A corrente de partida fica reduzida para aproximadamente 1/3.

Desvantagens

- A chave só pode ser aplicada a motores cujos seis bornes ou terminais sejam acessíveis.
- A tensão da rede deve coincidir com a tensão em triângulo do motor.
- Com a corrente de partida reduzida para aproximadamente 1/3 da corrente nominal, reduz-se também o momento de partida para 1/3.

d) Caso o motor não atinja pelo menos 90% de sua velocidade nominal, o pico de corrente na comutação de estrela para triângulo será quase como se fosse uma partida direta, o que se torna prejudicial aos contatos dos contadores e não traz nenhuma vantagem para a rede elétrica.

#### 2) Chave compensadora automática

Vantagens

a) No tap de 65% a corrente de linha é aproximadamente igual à da chave estrela-triângulo, entretanto, na passagem da tensão reduzida para a tensão da rede, o motor não é desligado e o segundo pico é bem reduzido, visto que o auto-transformador por curto tempo se torna uma reatância.

b) É possível a variação do tap de 65 para 80% ou até para 90% da tensão da rede, a fim de que o motor possa partir satisfatoriamente.

#### Desvantagens

a) A grande desvantagem é a limitação de sua frequência de manobras. Na chave compensadora automática é sempre necessário saber a sua frequência de manobra para determinar o auto-transformador conveniente.

b) A chave compensadora é bem mais cara do que a chave estrela-triângulo, devido ao auto-transformador.

c) Devido ao tamanho do auto-transformador, a construção se torna volumosa, necessitando quadros maiores, o que torna o seu preço elevado.

### 8.3.4 Partida através de chave série-paralela

Para partida em série-paralelo é necessário que o motor seja religável para duas tensões, a menor delas igual a da rede e a outra duas vezes maior. Este tipo de ligação exige nove terminais no motor e a tensão nominal mais comum é 220/440V, ou seja: durante a partida o motor é ligado na configuração série até atingir sua rotação nominal e, então, faz-se a comutação para a configuração paralelo. 2. 5. 5 Partida eletrônica (soft-starter) O avanço da eletrônica permitiu a criação da chave de partida a estado sólido, a qual consiste de um conjunto de pares de tiristores (SCR) (ou combinações de tiristores/diodos), um em cada borne de potência do motor. O ângulo de disparo de cada par de tiristores é controlado eletronicamente para aplicar uma tensão variável aos terminais do motor durante a aceleração.

No final do período de partida, ajustável tipicamente entre 2 e 30 segundos, a tensão atinge seu valor pleno após uma aceleração suave ou uma rampa ascendente, ao invés de ser submetido a incrementos ou saltos repentinos. Com isso, consegue-se manter a corrente de partida (na linha) próxima da nominal e com suave variação. Além da vantagem do controle da tensão (corrente) durante a partida, a chave eletrônica apresenta, também, a vantagem de não possuir partes móveis ou que gerem arco, como nas chaves mecânicas. Este é um dos pontos fortes das chaves eletrônicas, pois sua vida útil torna-se mais longa.

Este sistema permite o motor partir com tensão reduzida em suas bobinas, proporcionando uma redução de corrente para 25% do seu valor para partida direta. Ela é apropriada para cargas com partida necessariamente em vazio, pois o conjugado de partida fica reduzido a 1/4 de seu valor para tensão nominal, sendo utilizada para motores de 4 tensões e no mínimo 9 terminais, sendo dividida em dois tipos:

a - Triângulo série-paralelo - chave de partida própria para motor com a execução dos enrolamentos em 220/380/440/660 ou 220/440, onde a tensão da rede, nesta especificação, deve ser necessariamente 220 V. Na partida executa-se a ligação triângulo série, apto a receber 440 V e aplica-se a tensão de 220 V. Após a partida o motor deve ser ligado em triângulo paralelo, assim as bobinas passam a receber tensão nominal de 220 V.

b - Estrela série-paralelo - chave de partida própria para motor com execução dos enrolamentos em 220/380/440/760 ou 380/760, onde a tensão da rede, nesta especificação, deve ser necessariamente 380 volts. Na partida executa-se a ligação estrela série, apto a receber 760 volts e aplica-se tensão de estrela-paralelo 380 volts. Após a partida o motor deve ser ligado em estrela paralelo (YY), assim as bobinas passam a receber a tensão nominal. Os desenhos a seguir mostram os dois momentos de funcionamento deste sistema:

### 8.3.5 Exercícios práticos - chaves de partida

A seguir estão relacionados e desenhados alguns sistemas ou chaves de partida para motores elétricos, com o circuito funcional de comando e o circuito multifilar de força.

#### Chave de partida direta de um motor trifásico

O contato NA de C1 executa a função de retenção elétrica da contatora. A lâmpada L1 sinaliza que a bobina da contatora C1 esta energizada.

#### Chave de partida de um motor trifásico, com reversão manual rápida

Os contatos NA de C1 e de C2 executam a função de retenção elétrica da contatora e os contatos NF de C1 e C2 executam a função de intertravamento elétrico, além de se ter a segurança pelos botões. No lugar da lâmpada L3 podemos colocar um sistema de alarme para o relé de sobrecarga. As lâmpadas L1 e L2 sinalizam a energização das bobinas das contadoras C1 e C2 respectivamente.

#### Chave de partida de um motor trifásico, com reversão manual lenta

Os contatos NA de C1 e de C2 executam a função de retenção elétrica da contatora e os contatos NF de C1 e C2 executam a função de intertravamento elétrico, além de se ter a segurança pelos botões. No lugar da lâmpada L3 podemos colocar um sistema de alarme para o relé de sobrecarga. As lâmpadas L1 e L2 sinalizam a energização das bobinas das contadoras C1 e C2 respectivamente.

#### Chave de partida de um motor trifásico, com comando de parada por chave fim de curso e reversão manual rápida

As chaves fim de curso servem para desligar o motor.

#### Chave de partida de um motor trifásico, com comando de reversão instantânea por chave fim de curso

As chaves fim de curso servem para fazer a reversão instantânea do sentido de rotação do motor.

#### Chave de partida de vários motores trifásicos, com comando seqüencial manual lento

#### Chave de partida de vários motores trifásicos, com comando seqüencial automático

#### Chave de partida para um motor trifásico, com sistema de fim de curso

#### Chave de partida para um motor trifásico, com sistema estrela-triângulo automática, com reversão por botões

#### Chave de partida para um motor trifásico, com sistema compensador automático

#### Chave de partida para um motor trifásico, com sistema compensador automático, com reversão manual rápida

#### Chave de partida direta para um motor monofásico

O retorno para a contatora após o relé é em função da vida útil da contatora.

### 8.3.6 Condições de serviço das chaves

Algumas características devem ser analisadas para colocar em serviço as chaves de partida. Vejamos:

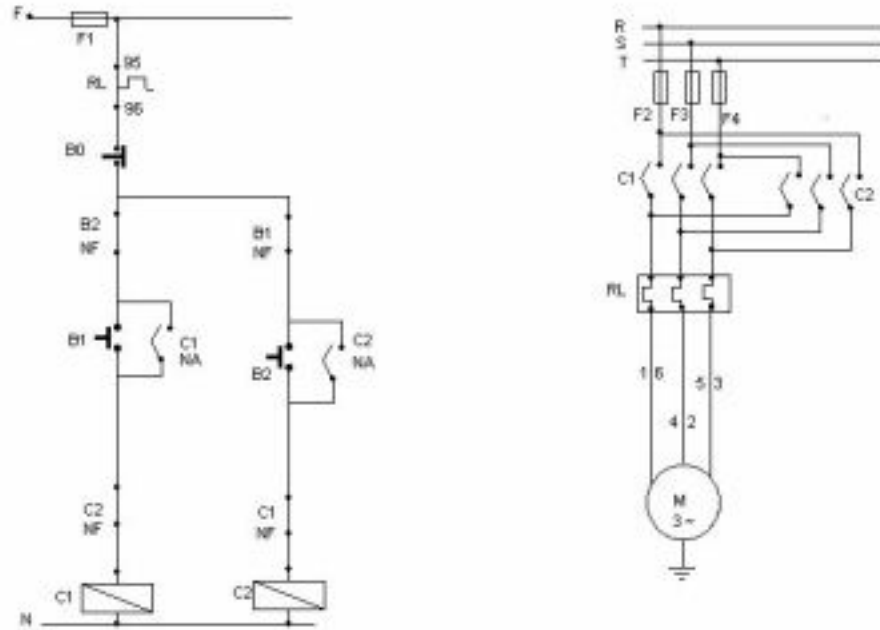


Figure 8.6: Ligação de motor trifásico com reversão.

### Queda de tensão

É um dos principais problemas operacionais de circuitos elétricos. Conforme a NBR 5410, a queda de tensão entre a origem da instalação e os terminais do motor deve ser igual ou inferior aos valores a seguir:

5% - instalações alimentadas diretamente por ramal de BT a partir de uma rede de distribuição de distribuição.

8% - instalações alimentadas diretamente por uma subestação de transformação a partir de uma instalação de AT ou que possua fonte própria.

Em qualquer dos dois casos, a queda de tensão parcial nos circuitos terminais, isto é, da chave até o motor deve ser no máximo 2%.

NBR 7094 - esta norma descreve que o motor deve funcionar satisfatoriamente com 10% da variação de tensão, na frequência nominal.

A queda de tensão admissível pela VDE 0100 é de 5% no circuito de comando. Os componentes de comando devem obedecer as quedas de tensão mostradas no quadro a seguir:

Caso a queda de tensão ultrapassar os valores acima, acarretará instabilidade de comando, que provoca ricochete e arco elétrico, assim podemos afirmar que a queda de tensão excessiva é o principal causador de colamento de contatos e queima de bobinas de contadores. Os principais causadores de queda de tensão são: corrente de partida muito elevada; partidas longas de motores; condutores e transformadores subdimensionados; linhas muito extensas.

### Limites de temperatura

A VDE 0670 descreve que chaves de partida e CCM's deve trabalhar com limites de temperaturas ambiente entre -5C e 40C, mas para temperaturas fora desta faixa deve-se adotar soluções específicas como utilização de ventiladores ou aquecedores e aumento das dimensões físicas da chave.

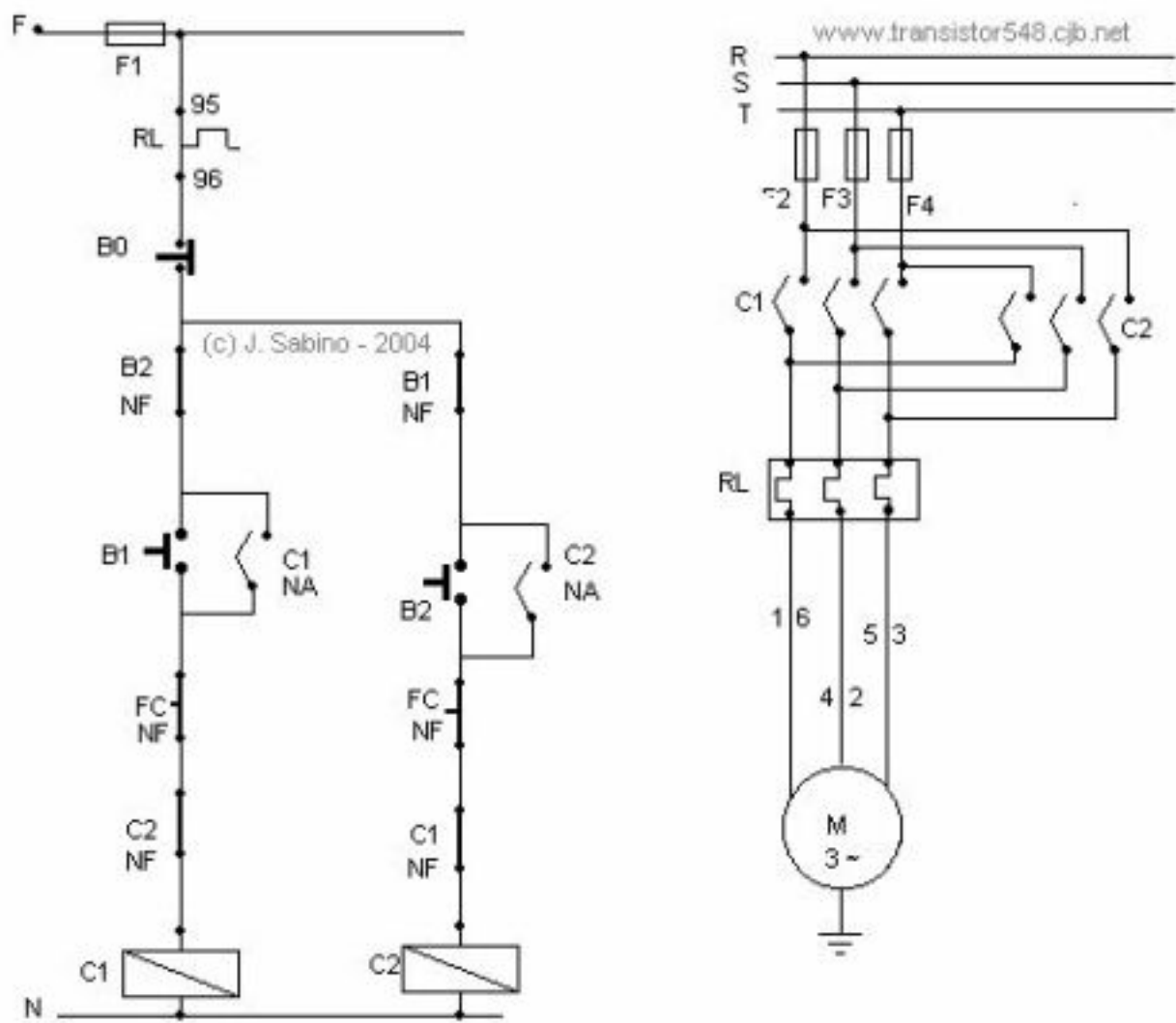


Figure 8.7: Ligação de motor com chave fim de curso.

### Limites de altitude

Com o limite de altitude, há uma diminuição da densidade do ar, isto influi na tensão desruptiva e conseqüentemente, na tensão, corrente de serviço e na dissipação do calor. Segundo a IEC 158 a altitude máxima para a instalação, deve ser de 2000m. Já a NBR6808 limita para 1000m a altitude máxima, para a instalação e em seguida apresenta uma tabela de correção para altitudes superiores. Os valores intermediários podem ser obtidos por interpolação linear.

### Posição de montagem

Os painéis devem ser instalados na vertical sendo que os componentes normalmente admitem inclinações limites com a vertical. Inclinações diferentes das especificadas pelo componente causam redução da vida útil, principalmente de contadores.

### Vibrações

Sob vibrações ou impacto violentos, os componentes da chave podem apresentar modificações em seus estados de operação, devendo ser instalado sobre superfície rígida (devem ser rigidamente chumbados a paredes).

### Distância mínima entre componentes

As distâncias mínimas de isolamento entre dispositivos de controle, comando e proteção montados dentro de um painel são:

- Entre partes vivas de polaridades diferentes ou entre partes vivas e terra (distância de isolamento dos barramentos): 4 mm até 125 V, 7 mm de 126 a 250V, e 10 mm de 251 a 600 V;
- Entre partes vivas e partes moveis metálicas externas: 12 mm até 125 V, 12 mm de 126 a 250V, e 12 mm de 251 a 600 V.

### 8.3.7 Instalação das chaves de partida

A instalação e manutenção das chaves de partida deve ter alguns itens a considerar.

### Recomendações para a primeira partida de motores

Na primeira utilização devemos ter os seguintes itens:

- remover de todo o equipamento travas e proteção que venham no transporte, verificar se o motor gira livremente;
- verificar se o motor esta corretamente fixado e seus elementos de acoplamento estão corretamente montados e alinhados;
- certifique-se de que a tensão e a frequência estão de acordo com o indicado na placa de identificação;
- observar se as ligações estão de acordo com a placa, se todos parafusos e porcas estão devidamente apertados;
- verificar o aterramento, o sentido de rotação e fazer a medição de isolamento do motor.

### Aterramento

Todas as instalações devem ser aterradas, é providencial que se aterre as seguintes partes de uma instalação: neutro da instalação, carcaça metálica de motores, autotransformadores, transformadores de comando e medição, capacitores e as estruturas da chave (painel);

### Conexões elétricas

As conexões devem proporcionar um bom contato para que sejam evitados aquecimentos, perdas de energia e instabilidade no circuito de comando.

#### 8.3.8 Manutenção preventiva e corretiva em chaves de partida

Ela pode ser preventiva ou corretiva.

Preventiva: toda a instalação deve ser periodicamente verificada por pessoas qualificadas, devendo o intervalo entre as verificações ser compatível com a importância da instalação. Deve ser dada especial atenção aos seguintes pontos:

- o estado dos condutores e suas ligações;
- verificar se os eletrodutos estão corretamente conectados ao painel, protegendo mecanicamente os cabos;
- nunca lixar ou limar os contatos e sim substituí-los;
- verificar se as entradas e saídas de cabos estão vedadas, evitando a entrada de pequenos animais;
- o ajuste dos dispositivos de proteção e a correta utilização dos fusíveis;
- o valor da resistência de isolamento em relação a terra;
- toda a instalação ou parte que pareça perigosa deve ser imediatamente desenergizada e só recolocada em serviço após reparação satisfatória.

Corretiva: na manutenção corretiva, toda falha ou anomalia constatada no equipamento elétrico ou em seu funcionamento, deve ser comunicada a um elemento qualificado para fins de reparação. Isto deve ser feito principalmente quando os dispositivos de proteção contra as sobrecorrentes ou contra os choques elétricos atuarem sem causa conhecida.

Substituição de fusíveis de força - aqui ocorre a manutenção corretiva e no caso de motores trifásicos, em caso de queima de um dos fusíveis de uma das três fases devido a corrente de curto-circuito, é recomendado a substituição dos outros dois, pois sem dúvida estes outros dois sofreram um processo de envelhecimento precoce e terão, necessariamente, alteradas as suas características funcionais, o que pode vir a comprometer seriamente a segurança da instalação. Para substituição dos fusíveis de comando valem as mesmas considerações.

Substituição de contatos de contatores - aqui também ocorre a manutenção corretiva, onde esta prática é comum apenas para contatos de força, já que o desgaste dos contatos auxiliares é considerado desprezível. Os contatos de força devem ser substituídos quando o seu desgaste for superior a 2/3 da espessura inicial e devemos substituir os três contatos simultaneamente. Sempre que ocorrer esta troca é muito importante verificar o estado da câmara de extinção de arco.

Ajuste em relés de sobrecarga e de tempo - os relés mais utilizados em chaves de partida são estes dois. Para que o relé de sobrecarga ofereça uma proteção eficaz contra falta de fase é necessário que seja ajustado para corrente de trabalho, que é medida no funcionamento e não para a corrente nominal que tem na placa do motor. O relé de tempo deve ser ajustado para o tempo de partida, que é o tempo necessário para o motor atingir no mínimo 90% da rotação síncrona.

Para determinação do tempo de partida, teoricamente ele é calculado em função do conjugado e inércia da carga e do motor. Na prática este tempo é cronometrado, onde através de um tacômetro verifica-se quando o motor atingir 90% da rotação nominal é o momento ideal para comutação. Se não tivermos um tacômetro, a partida pode ser observada com um alicate amperímetro, onde o motor estará apto a comutar quando a corrente atingir valores em torno da nominal.

### Contator não liga

#### DEFEITO 1: CIRCUITO INTERROMPIDO

Queima do fusível: Situação: Ocorre a queima do fusível de comando ou de força do circuito. Causa: Um curto ou sobrecarga no circuito. Orientação: Trocar o fusível após a localização da falha ocorrida.

Atuação do relé de sobrecarga: Situação: O relé desarma. Causa: Sobrecarga no circuito. Orientação: Inspeccionar o circuito em busca da possível falha. Rearmar o relé, Após seu resfriamento.

Circuito de controle aberto: Situação: O contator não consegue atracar. Causa: Cabos partidos ou perda de conexão. Orientação: Seguir o diagrama do circuito, eliminar a descontinuidade.

#### DEFEITO2: BOBINA QUEIMADA

Sub-tensão: Situação: A bobina queima sofrendo perceptível dilatação do conjunto bobinado. O corpo de bobina deforma-se (dilatação dos cantos), impedindo o encaixe normal de núcleo e corpo de bobina. Causa: Tensões inferiores a  $0,8 \times U_c$ , causadas por oscilações na rede: sobrecargas, fins de linha, problemas de distribuição. Orientação: Garantir estabilidade na tensão de alimentação:  $0,8 \leq U_c \leq 1,1$ .

Sobre-tensão: Situação: Ocorre o escurecimento do isolante e leves deformações no corpo de bobina. Causa: Tensões acima de  $1,1 \times U_c$ , causadas por oscilações na rede. Orientação: Garantir estabilidade na tensão de alimentação:  $0,8 \leq U_c \leq 1,1$ .

Surto de tensão: Situação: Ocorre o rompimento de uma ou mais espiras de bobina. Causa: Descargas atmosféricas. Orientação: Avaliar proteção contra descargas atmosféricas.

#### DEFEITO 3: CONTATOS DE FORÇA DANIFICADOS ( QUEIMADOS )

Sub-tensão: Situação: A permanência de sub-tensões no contator pode provocar a queima de seus contatos de força, juntamente ou não com o cabeçote. Causa: Tensões inferiores a  $0,8 \times U_c$ , causadas por oscilações na rede; Sobrecargas, fins de linha, problemas de distribuição. Orientação: Manter a tensão de alimentação estável.

Erro de dimensionamento: Situação: Ocorre a queima e/ou o desgaste dos contatos de força do contator. Causa: O mal dimensionamento do regime de operação do contator, definido pela categoria de emprego: AC-1, AC-3, AC-4. O número de manobras/hora do contator está acima do limite. Orientação: Redimensionar o contator para seu regime correto de operação, conforme ciclo de carga (aplicação).

Falta de fase: Situação: Ocorre a queima de dois pares de contatos de força. Causa: Não possui proteção contra falta de fase. Orientação: Em acionamentos de motores utilizar sempre relés térmicos de sobrecarga. Em aplicações mais críticas relé eletrônico de falta de fase.

Má conexão: Situação: Ocorre a queima de um ou mais terminais do contator. Causa: Parafusos mal apertados, com torque abaixo do especificado ou a utilização de cabos de seção incorreta. Terminais mal crimpados ou prensados. Orientação: Manutenções preventivas, com o simples reaperto dos terminais, evitam este problema. Garantir correta crimpagem / prensagem do terminal.

### Contator não desliga

Curto- circuito: Situação: Contatos colados (fundidos) ou destruídos prematuramente. Causa: Erros de ligação ou projeto, falhas na instalação ou carga, corpos estranhos no painel, ou ainda mal dimensionamento de proteção. Orientação: Dimensionar adequadamente os equipamentos de proteção contra curto- -circuito.

Fim da Vida útil: Situação: Os contatos de força soldam-se impedindo a abertura do circuito, ou se não adequadamente protegido ocorre a destruição das fases. Causa: Este problema é consequência das pastilhas de prata dos contatos. Orientação: As pastilhas de prata entram em estado crítico, quando seu volume é reduzido a 25% do inicial. É, então, recomendável sua troca.

Comando distante do circuito de força: Situação: Após o desligamento do comando, o contator permanece fechado ou sofre um atraso na sua abertura. Causa: O dispositivo de comando encontra-se longe do contator. Orientação: Usar o comando mais próximo do circuito de força. Outra solução é o uso de contadores CC, ou ainda a conexão de um resistor em paralelo com a bobina do contator.

Repique de contatos: Situação: Ocorre a queima dos contatos de força do componente ou, em casos piores, colamento de contato. Causa: Repique do sinal do sinal de comando (repetidos fechamentos/aberturas) do contator. Orientação: Garantir um bom sinal de comando (uso de chaves de estado



único). Em partidas estrela-triângulo, certificar-se de uma correta comutação nos contatos (tempo adequado). Verificar o dimensionamento conforme aplicação e regime de aplicação.

### **Abertura inadvertida do contator**

Quedas de tensão/transientes

Situação: o contator desliga involuntariamente. Causa: quedas de tensão que excedem os limites normalizados, devido a problemas na rede ou a partidas de grandes motores (cargas pesadas). Orientação: reapertar os terminais periodicamente com torque especificado no folheto de instruções do relé.

### **Ruído no contator**

Corpo estranho no contator

Situação: O contator trabalha com o ruído anormal. Causa: A presença de sujeira, ferrugem, limalha, anel de curto-circuito quebrado ou qualquer outro corpo estranho no núcleo. Orientação: Limpar, remover corpos estranhos do interior do contator.

Variação na tensão do contator:

Situação: O contator trabalha com ruído normal. Causa: Ajuste incorreto da tensão ou frequência de trabalho. Tensão de controle instável. Orientação: Manter estável a tensão de comando.

### **Relés térmicos de sobrecarga**

#### **DEFEITO 1: INTERRUPTÃO DO CIRCUITO DE FORÇA:**

Curto Circuito

Situação: Interrupção da tira de aquecimento do bimetálico. Em alguns casos, pode ocorrer a danificação do conjunto bimetálico, ou ainda, em situações mais graves: Total destruição do relé. Causas: Erros de ligação ou projeto, falhas na instalação ou carga, corpos estranhos no painel ou ainda dispositivos de proteção mal dimensionados. Orientação: Dimensionar adequadamente os equipamentos de proteção contra curto-circuito.

#### **DEFEITO 2: QUEIMA DOS CONTATOS DE FORÇA:**

Má conexão

Situação: Danificação dos terminais de força do relé. Causa: Parafusos mal apertados, com torque abaixo do especificado, ou conexões mau feitas. Orientação: Reapertar os terminais periodicamente, com torque especificado no folheto de instruções do relé.

#### **DEFEITO 4: MÁ COMUTAÇÃO DOS CONTATOS AUXILIARES:**

Curto-circuito

Situação: a comutação e/ou continuidade no circuito auxiliar encontra-se em condições anormais. Causa: erros de ligação ou projeto, falhas na instalação ou carga, corpos estranhos no painel ou ainda mau dimensionamento dos dispositivos de proteção. Orientação: dimensionar adequadamente os equipamentos de proteção contra curto-circuito.

### **Capacitores**

#### **DEFEITO 1: EXPANSÃO DE GOLA:**

Sobretensão

Situação: expansão da gola do capacitor. Causa: aplicação de tensão acima do limite de: - 1,1 . Un por mais de 8hs contínuas a cada 24hs; - 1,15 . Un por mais de 30min a cada 24hs; - 1,2 . Un por mais de 5min; - 1,3 . Un por mais de 1min. Orientação: respeitar as especificações das tensões máximas e seus tempos determinados e sobredimensionar os capacitores em caso de redes muito oscilantes.

Situação: expansão da gola do capacitor. Causa: reenergização do capacitor antes do seu tempo de descarga. Orientação: respeitar tempo mínimo de descarga do capacitor: - MCW e BCW = 30s. UCW-T = 3min

Situação: expansão da gola do capacitor. Causa: não utilização de resistores de descargas no capacitor. Orientação: utilizar resistores de descarga. Recomenda-se o uso de resistores com descarga para 30s.

Situação: expansão da gola do capacitor. Causa: excesso de harmônicas na rede. Orientação: eliminar as harmônicas da rede.

Situação: expansão da gola do capacitor. Causa: fator de potência unitário. Orientação: corrigir o FP para valores compreendidos entre 0,92 e 0,98. Evitar o uso de capacitores fixos para correção do FP.

Situação: expansão da gola do capacitor. Causa: repique (abre-fecha cíclico) do sinal de comando do capacitor. Orientação: uso de controladores de correção de FP confiáveis.

Situação: expansão da gola do capacitor. Causa: subtensão no circuito de comando. Orientação: estabilização da tensão do comando.

#### Sobrecorrente

Situação: expansão da gola do capacitor. Causa: corrente de energização superiores a  $100 \times I_n$ . Orientação: uso de resistências em série com o capacitor ou indutores anti-surto. Se não for possível, dividir a correção em estágios.

Situação: expansão da gola do capacitor. Causa: descargas atmosféricas. Orientação: utilizar pára-raios para proteção e aterramento de carcaças. Conforme norma, pára-raios industriais devem ter resistência de terra de até  $10\Omega$ .

#### SUPERAQUECIMENTO DOS CONDUTORES DE ALIMENTAÇÃO:

Situação: os cabos de ligação do banco aquecem demasiadamente. Causa: subdimensionamento dos cabos; sobrecorrentes harmônicas; má conexão / crimpagem dos terminais. Orientação: redimensionar cabos de alimentação; eliminar as harmônicas da rede; realização de uma boa crimpagem dos terminais.

#### EXPLOÇÃO DA CÉLULA CAPACITIVA:

Situação: o capacitor explode. Causa: descargas atmosféricas. Orientação: utilizar pára-raios e aterramento de carcaças.

#### VAZAMENTO DE RESINA:

##### Má conexão

Situação: ocorrem vazamentos de resina. Causa: má crimpagem dos terminais; subdimensionamento dos cabos de alimentação. Orientação: uso dos terminais de boa qualidade, realização de uma boa crimpagem dos terminais; redimensionar os cabos de alimentação.

##### Elevação de temperatura

Situação: ocorrem vazamentos de resina. Causa: temperatura ambiente do capacitor superior a  $50^\circ\text{C}$ . Orientação: manter a temperatura ambiente até no máximo  $50^\circ\text{C}$ .

## 8.4 Motores de indução com inversores de frequência

O uso de motores elétricos de indução alimentados por inversores de frequência para acionamentos de velocidade variável tem crescido significativamente nos últimos anos em virtude das vantagens inerentes proporcionadas por esta aplicação, tais como a facilidade de controle, a economia de energia e a redução no preço dos inversores, liderada pelo desenvolvimento de componentes eletrônicos cada vez mais baratos. Tais acionamentos são aplicados principalmente em bombas, ventiladores, centrífugas e bobinadeiras.

As características construtivas de um motor de indução alimentado por uma rede senoidal são determinadas em função das características desta rede, das características da aplicação e das características do meio ambiente. No entanto, quando alimentado por inversor de frequência, também as características próprias do inversor exercem significativa influência sobre o comportamento do motor, determinando-lhe novas características construtivas ou de operação.



Figure 8.8: Instalação de uma motobomba de  $12^{1/2}$  CV.

Outra influência sobre as características construtivas do motor alimentado por inversor de frequência está relacionada com o tipo de aplicação, mais especificamente com a faixa de velocidade na qual o motor irá trabalhar. Observa-se, portanto, que existem diferenças na maneira de especificar um motor de indução sem variação de velocidade alimentado por uma rede senoidal e um motor com variação de velocidade alimentado por inversor de frequência.

#### 8.4.1 Características dos inversores

As seguintes características devem ser observadas quando for utilizado um inversor de frequência:

##### Corrente nominal

O inversor deverá ter sempre a sua corrente nominal igual ou maior que a corrente nominal do motor. Deve-se cuidar porque um mesmo inversor poderá ter várias correntes nominais diferentes em função do tipo de carga e da frequência de chaveamento. Normalmente existem dois tipos de carga: torque constante e torque variável. A carga tipo torque constante é aquela onde o torque permanece constante ao longo de toda a faixa de variação de velocidade, como por exemplo correias transportadoras, extrusoras, bombas de deslocamento positivo, elevação e translação de cargas. A carga tipo torque variável é aquela onde o torque aumenta com o aumento da velocidade, como é o caso de bombas e ventiladores centrífugos. Os inversores especificados para cargas com torque variável não necessitam de uma grande capacidade de sobrecarga (10% a 15% é suficiente) e por isso a sua corrente nominal pode ser maior. Este mesmo inversor, se aplicado em uma carga com torque constante, necessitará de uma capacidade de sobrecarga maior (normalmente 50%) e, portanto, a sua corrente nominal será menor.

A frequência de chaveamento também influi na corrente nominal do inversor. Quanto maior a frequência de chaveamento do inversor, mais a corrente se aproxima de uma senóide perfeita e, por isso, o ruído acústico de origem magnética gerado pelo motor é menor. Por outro lado, as perdas no inversor são maiores devido ao aumento na frequência de operação dos transistores (perdas devido ao chaveamento). Normalmente a corrente nominal é especificada para uma temperatura máxima de 40 °C e uma altitude máxima de 1000m. Acima destes valores deverá ser aplicado um fator de redução na corrente nominal.

### Tensão nominal

A tensão nominal do inversor é a mesma do motor. A alimentação do conversor é trifásica para potências acima de 5cv. Até 3cv pode-se ter alimentação monofásica ou trifásica. A desvantagem da alimentação monofásica é o desequilíbrio de corrente causado na rede de distribuição (trifásica) e a maior geração de correntes harmônicas na rede. Para alimentação trifásica deve-se cuidar para que o desbalanceamento entre fases não seja maior do que 2%, uma vez que um desbalanceamento maior pode provocar um grande desbalanceamento de corrente na entrada, danificando os diodos de entrada.

### Geração de harmônicas

A norma IEEE STD 519/92 recomenda valores máximos para as harmônicas de corrente geradas por um equipamento. Na maioria dos casos é possível atender à norma desde que se coloque na entrada do inversor uma reatância de rede dimensionada para uma queda de tensão de 4% em relação à tensão fase-neutro, com corrente nominal; e desde que a potência total dos inversores instalados não ultrapasse a 20% da potência total da instalação. Se ultrapassar, haverá necessidade de outras medidas que dependerão de uma análise detalhada da instalação (sistema) elétrica.

### Compatibilidade eletromagnética

Para altas frequências de chaveamento (acima de 9kHz), o inversor atua como “gerador” não intencional. Isto significa que equipamentos sensíveis às altas frequências (por exemplo, controladores de temperatura a termopar, sensores diversos etc.) podem sofrer perturbação na sua operação devido ao inversor. Deve-se, portanto, verificar no manual do inversor os cuidados a serem tomados na sua instalação, para que se evite problemas de compatibilidade eletromagnética.

### Características de controle

De uma forma geral pode-se dividir a forma de controle do inversor em 2 tipos: escalar e vetorial.

O **controle escalar** é aquele que impõe no motor uma determinada tensão/ frequência, visando manter a relação  $V/f$  constante. É também chamado controle a laço aberto. A sua característica principal é que a precisão da velocidade no motor é função do escorregamento, o qual varia em função da carga, já que a frequência no estator é fixa e em baixas rotações, existe também a necessidade do inversor aumentar a relação  $V/f$  para compensar o efeito da queda na resistência estatórica, visando manter a capacidade de torque do motor em baixas rotações.

O **controle vetorial** possibilita atingir um elevado grau de precisão e rapidez no controle tanto do torque quanto da velocidade do motor. O nome vetorial advém do fato que para ser possível este controle, é feita uma decomposição vetorial da corrente do motor nos vetores que representam o torque e o fluxo no motor, de forma a possibilitar a regulação independente do torque e do fluxo. O controle vetorial pode ainda ser dividido em 2 tipos: normal e “sensorless”. O controle vetorial normal necessita ter no motor um sensor de velocidade (por exemplo um encoder incremental). Este tipo de controle permite a maior precisão possível no controle da velocidade e do torque, inclusive com o motor parado. O controle vetorial “sensorless” não necessita de sensor de velocidade. A sua precisão é quase tão boa quanto a do controle vetorial normal, com maiores limitações principalmente em baixíssimas rotações e velocidade zero.

#### 8.4.2 Variação da velocidade com inversores

A velocidade dos motores de indução é dada pela seguinte equação:

$$n = (1 - s) \frac{120 f}{p}$$

onde:

$n$  = rotação [rpm]  
 $f$  = frequência da rede [Hz]  
 $p$  = número de pólos  
 $s$  = escorregamento

Pela equação percebe-se a possibilidade de obtenção de várias velocidades para um mesmo motor através da variação da frequência. O inversor estático de frequência atua como uma fonte de frequência variável para o motor, permitindo um ajuste contínuo de velocidade e conjugado. O escorregamento do motor é mantido constante, portanto as perdas podem ser otimizadas de acordo com as condições de carga.

Através do equacionamento da máquina assíncrona, sabe-se que, para o conjugado desenvolvido pelo motor assíncrono é a equação 8.1, e que o fluxo depende da relação  $V/f$ .

$$C = \phi_m I_2$$

Desprezando-se a queda de tensão na resistência  $R_1$  e na reatância de dispersão  $X_{d1}$  do estator, pode-se dizer que:

$$\phi_m = \frac{V}{f}$$

onde:

$\phi_m$  - fluxo de magnetização [Wb]  
 $I_2$  - corrente do rotor [A]  
 $V$  - tensão estatórica [V]  
 $f$  - frequência da tensão estatórica [Hz]

Para possibilitar a operação do motor com torque constante para diferentes velocidades, deve-se variar a tensão  $V$  proporcionalmente com a variação da frequência  $f$  mantendo desta forma o fluxo constante. A variação  $V/f$  é feita linearmente até a frequência base (nominal) do motor. Acima desta, a tensão que já é a nominal permanece constante e há então apenas a variação da frequência que é aplicada ao enrolamento do estator.

Com isto determina-se uma área acima da frequência base (nominal) chamada região de enfraquecimento de campo, ou seja, uma região onde o fluxo começa a decrescer e, portanto, o torque também começa a diminuir.

Pode-se notar então, que o torque permanece constante até a frequência base e, acima desta, começa a decrescer. A potência de saída do inversor de frequência cresce linearmente até a frequência base e permanece constante acima desta.

Com a variação da frequência obtém-se um estreitamento horizontal da curva característica torque x velocidade em relação à curva característica para frequência base.

Estrutura de um conversor de frequência:

I - Circuito Retificador (ponte retificadora a diodos): transforma a tensão alternada de entrada (RST) em tensão contínua;

II - Circuito Intermediário (filtro capacitivo): filtra a tensão e a corrente que saem do circuito retificador (I), que alimenta o circuito inversor (III);

III - Circuito Inversor (chave eletrônica, neste caso formada por transistores): através de tiristores ou transistores, o circuito inversor fornece um sistema de corrente alternada (UVW) de frequência e tensão variáveis. Deste modo, um motor de indução trifásico acoplado pode ser operado com variação de velocidade.

### Limites de velocidade

A máxima velocidade de operação do motor é limitada por considerações mecânicas, porém não há ressalvas ao limite mínimo de velocidade de operação.

A Norma NEMA MG1 -parte 30 -1998 nos traz diretrizes a respeito da máxima velocidade segura de operação com acoplamento direto. Sempre que não se tiver segurança em relação às sobrevelocidades, limites de operação, etc. A vida dos rolamentos é afetada pelo tempo de operação em velocidades variadas. Para aplicações com controle de velocidade do motor com alta precisão, independente das variações de carga no eixo, deverá ser instalado no motor um sensor de velocidade, que pode ser um taco de pulsos ou encoder.

### 8.4.3 Condições especiais de serviço

Entre as condições especiais estão as seguintes:

- a) Atmosferas agressivas ou Áreas Classificadas
- b) Funcionamento em que:
  - 1) há uma excessiva relação  $V/f$  na partida;
  - 2) baixos níveis de ruído sejam requeridos;
  - 3) a tensão na rede é desbalanceada em mais do que 1%.
- c) Funcionamento em velocidades acima da máxima velocidade definida por considerações mecânicas.
- d) Funcionamento em salas de pobre ventilação, poços ou em posições inclinadas.
- e) Funcionamento sujeitos a:
  - 1) impactos torcionais provocados pela carga;
  - 2) sobrecargas anormais repetitivas.

### 8.4.4 Características de desempenho dos motores

As características de desempenho dos motores de indução alimentados por inversores de frequência são influenciadas pelas características de desempenho dos inversores e pelas condições de operação da carga. Com o objetivo de fazer uma análise mais detalhada do comportamento do motor de indução, podemos considerar separadamente as influências das harmônicas de tensão do inversor e as influências da rotação sobre o motor.

As harmônicas de tensão do inversor influenciam o comportamento térmico do motor, o rendimento, os critérios para correção do fator de potência, o ruído sonoro de origem magnética e a geração de corrente pelo eixo do motor enquanto que a variação de rotação influencia o comportamento térmico para motores auto-ventilados, o rendimento e o ruído sonoro emitido pelo ventilador.

#### Influência das harmônicas de tensão do inversor sobre o motor

##### *Sobre a elevação de temperatura*

Correntes harmônicas são introduzidas quando as tensões de linha aplicadas a um motor de indução polifásico apresentam componentes de tensão em frequências diferentes da frequência nominal (ou fundamental) da fonte. As perdas por efeito Joule no enrolamento do estator de motores de indução causadas pelas harmônicas de correntes tendem a aumentar a temperatura de estabilização térmica dos motores e reduzir o seu rendimento. Para evitar o sobreaquecimento do motor, deve-se reduzir o seu torque nominal a fim de manter a temperatura dentro do limite da classe térmica. Outra maneira é sobredimensionar o motor. Evidentemente, o comportamento térmico é diferente para cada tipo de motor e de inversor. Pode-se, no entanto, de acordo com a norma NEMA MG 1-parte 30, seção IV, relacionar a redução no torque do motor, chamada de "derating factor" com o fator de harmônicos de tensão FHV, através do gráfico da figura 9. 13. Figura 9. 13 -Torque do motor alimentado por inversor de frequência em função do fator de harmônicos de tensão

##### *Sobre o rendimento*

O rendimento do motor de indução alimentado por inversor de frequência diminui devido ao aumento nas perdas causado pelas correntes harmônicas no enrolamento do motor. Pode-se determinar de forma

aproximada o novo rendimento do motor em função do fator de redução do torque através da seguinte equação:

$$\eta_c = \frac{DFH^2}{1/\eta + DFH^2 - 1}$$

Onde:

$\eta$  - é o rendimento do motor alimentado por fonte senoidal sem conteúdo harmônico;

$\eta_c$  - é o rendimento do motor alimentado por inversor de frequência;

$DFH$  - é o fator de redução do torque em função do conteúdo de harmônicas.

*Sobre a correção do Fator de Potência*

Se for usado banco de capacitores para correção do F.P. , o dimensionamento deste banco deverá levar em conta a existência das harmônicas, a característica da carga em função da rotação evitando assim, sobreexcitação do motor, ressonâncias e sobretensões no banco.

*Sobre o Ruído Sonoro de origem eletromagnética*

A experiência tem mostrado que, tipicamente para a frequência nominal, ocorre um aumento de 6 dB(A) no nível de pressão sonora quando o motor é alimentado por inversor de frequência do tipo tensão imposta ou corrente imposta.

Para inversores do tipo PWM com controle escalar, o aumento no ruído (nível de pressão sonora) está entre 2 e 11 dB(A) para as frequências de chaveamento menores ou iguais a 7,2 kHz. Para a frequência de chaveamento de 14,4kHz ou acima, o acréscimo de ruído é menor do que 2dB(A). Para os inversores de frequência do tipo PWM com controle vetorial, o aumento no ruído (nível de pressão sonora) é menor do que 8dB(A) para frequências de chaveamento menores ou iguais a 5 kHz.

*Sobre a elevação da temperatura*

Para motores auto-ventilados, a redução na ventilação nas baixas rotações faz com que seja necessária uma diminuição no torque que o motor pode fornecer ou um sobredimensionamento de modo a manter sua temperatura dentro dos limites da classe térmica.

A curva é baseada em uma forma de onda senoidal e fluxo nominal no entreferro. A redução adicional no torque devido às harmônicas de tensão deve ser aplicada em sobreposição à redução da ventilação.

*Sobre o rendimento*

Nas baixas rotações, a potência fornecida pelo motor é baixa e como as perdas variam muito pouco nesta situação, o rendimento é menor, uma vez que as perdas se tornam proporcionalmente maiores em relação à potência fornecida pelo motor.

*Sobre o ruído sonoro emitido pelo sistema de ventilação*

O ruído sonoro emitido pelo sistema de ventilação do motor decresce à medida que a rotação do motor diminui.

*Influência das harmônicas sobre a potência do motor*

Para efeito de dimensionamento do motor operando com inversor de frequência, o fator de redução do torque "derating factor" é determinado através de um gráfico que leva em consideração as influências da rotação e das harmônicas simultaneamente.

### 8.4.5 Características do sistema de isolamento

O sistema de isolamento de um motor de indução, quando alimentado por inversor de frequência, fica submetido a uma multiplicidade de fatores adversos que podem levá-lo à ruptura de sua integridade dielétrica, ou seja, podem provocar o rompimento do dielétrico isolante, levando a máquina à falha prematura. A degradação do sistema isolante pode ocorrer devido a causas térmicas, elétricas ou mecânicas, ou por uma combinação de todos estes fatores.

Atualmente, com o uso generalizado de motores acionados por inversores de frequência, o foco do problema tem se voltado sobretudo para a suportabilidade do isolante dos fios, trazendo à tona importantes questões sobre cuidados e melhorias necessárias, visto que estes ficam submetidos a altos picos de tensão,

provocados pela rapidez do crescimento dos pulsos gerados pelo inversor (rise time), bem como pela alta frequência com que estes picos são produzidos (frequência de pulsação).

## 8.5 Instalação de motores elétricos

Máquinas elétricas devem ser instaladas em locais de fácil acesso para inspeção e manutenção.

Se a atmosfera ambiente for úmida, corrosiva ou contiver substâncias ou partículas deflagráveis é importante assegurar o correto grau de proteção. A instalação de motores onde existam vapores, gases ou poeiras inflamáveis ou combustíveis, oferecendo possibilidade de fogo ou explosão deve ser feita de acordo com as Normas IEC 60079-14, NBR 5418, VDE 165, NFPA -Art. 500, UL-674.

**Em nenhuma circunstância os motores poderão ser cobertos por caixas ou outras coberturas** que possam impedir ou diminuir o sistema de ventilação e/ou a livre circulação do ar durante seu funcionamento.

A distância recomendada entre a entrada de ar do motor (para motores com ventilação externa) e a parede, deve ficar em torno de 1/4 do diâmetro da abertura da entrada de ar.

O ambiente, no local de instalação, deverá ter condições de renovação do ar da ordem de 20m<sup>3</sup> por minuto para cada 100 kW de potência da máquina, considerando temperatura ambiente de até 40 °C e altitude de até 1000 m.

### 8.5.1 Fundações

A fundação onde será colocado o motor deverá ser plana e isenta de vibrações. Recomenda-se, portanto, uma fundação de concreto para motores acima de 100 cv. O tipo de fundação dependerá da natureza do solo no local da montagem, ou da resistência dos pisos em edifícios. No dimensionamento da fundação do motor, deverá ser considerado o fato de que o motor pode, ocasionalmente, ser submetido a um torque maior que o torque nominal. Chumbadores ou bases metálicas devem ser usadas para fixar o motor na fundação. Os esforços sobre a fundação podem ser calculados pelas equações:

$$F1 = 0,5 g G (4 C_{max}/A)$$

Onde :

$F_1$  e  $F_2$  - Esforços de um lado

$g$  -Aceleração da gravidade (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$G$  -Peso do motor (Kg)

$C_{max}$  -Torque máximo (Nm)

$A$  - Obtido do desenho dimensional do motor (m)

### 8.5.2 Tipos de bases

a)Bases deslizantes

Em acionamento por polias, o motor deve estar montado sobre bases deslizantes (trilhos), de modo a garantir que as tensões sobre as correias sejam apenas o suficiente para evitar o deslizamento durante o funcionamento e também para não permitir que trabalhem enviesadas, o que provocaria danos aos encostos do mancal.

O trilho mais próximo da polia motora é colocado de forma que o parafuso de posicionamento fique entre o motor e a máquina acionada.

O outro trilho deve ser colocado com o parafuso na posição oposta.

O motor é aparafusado nos trilhos e posicionado na fundação. A polia motora é então alinhada de forma que seu centro esteja no mesmo plano da polia a ser movida e, os eixos do motor e da máquina



estejam paralelos. A correia não deve ser demasiadamente esticada. Após o alinhamento, os trilhos são fixados.

b) Chumbadores

Dispositivos para a fixação de motores diretamente na fundação quando os mesmos requerem acoplamento elástico. Este tipo de acoplamento é caracterizado pela ausência de esforços sobre os rolamentos e de custos reduzidos.

Os chumbadores não devem ser pintados nem estar enferrujados pois isto seria prejudicial à aderência do concreto e provocaria o afrouxamento dos mesmos.

c) Base metálica

Conjunto motogeradores são montados e testados na fábrica antes do envio. Contudo, antes de entrar em serviço no local definitivo, o alinhamento dos acoplamentos deve ser cuidadosamente verificado, pois a configuração da base pode ter se alterado durante o transporte em decorrência de tensões internas do material.

A base pode se deformar ao ser rigidamente fixada a uma fundação não adequadamente plana.

As máquinas não devem ser removidas da base comum para alinhamento; a base deve ser nivelada na própria fundação, usando níveis de bolha (ou outros instrumentos niveladores).

Quando uma base metálica é utilizada para ajustar a altura da ponta do eixo do motor com a ponta de eixo da máquina, esta deve ser nivelada na base de concreto. Após a base ter sido nivelada, os chumbadores apertados e os acoplamentos verificados, a base metálica e os chumbadores são concretados.

### 8.5.3 Alinhamento

A máquina elétrica deve estar perfeitamente alinhada com a máquina acionada, especialmente nos casos de acoplamento direto. Um alinhamento incorreto pode causar defeito nos rolamentos, vibração e mesmo, ruptura do eixo.

A melhor forma de se conseguir um alinhamento correto é usar relógios comparadores, colocados um em cada semi-luva, um apontando radialmente e outro axialmente. Assim é possível verificar simultaneamente o desvio de paralelismo e o desvio de concentricidade, ao dar-se uma volta completa nos eixos. Os mostradores não devem ultrapassar a leitura de 0,03mm.

### 8.5.4 Acoplamento

a) Acoplamento direto

Deve-se sempre preferir o acoplamento direto, devido ao menor custo, reduzido espaço ocupado, ausência de deslizamento (correias) e maior segurança contra acidentes. No caso de transmissão com redução de velocidade, é usual também o acoplamento direto através de redutores.

Alinhar cuidadosamente as pontas de eixos, usando acoplamento flexível, sempre que possível, deixando folga mínima de 3mm entre os acoplamentos (GAP).

b) Acoplamento por engrenagens

Acoplamento por engrenagens mal alinhadas dão origem a solavancos que provocam vibrações na própria transmissão e no motor. É imprescindível, portanto, que os eixos fiquem em alinhamento perfeito, rigidamente paralelos no caso de engrenagens retas e, em ângulo certo em caso de engrenagens cônicas ou helicoidais. O engrenamento perfeito poderá ser controlado com inserção de uma tira de papel, na qual apareça após uma volta, o decalque de todos os dentes.

c) Acoplamento por meio de polias e correias

Quando uma relação de velocidade é necessária, a transmissão por correia é a mais freqüentemente usada.

Deve ser evitado o uso de martelos na montagem de polias e rolamentos para evitar marcas nas pistas dos rolamentos. Estas marcas, inicialmente são pequenas, crescem durante o funcionamento e podem

evoluir até danificar totalmente.

Deve-se evitar esforços radiais desnecessários nos mancais, situando os eixos paralelos entre si e as polias perfeitamente alinhadas.

## **8.6 Sobrecarga e vida útil de motores assíncronos**

Nesta seção estudaremos a relação entre a sobrecarga e a vida útil de motores elétricos.

## **8.7 Projeto e montagem de controle de posição com caixa de redução de velocidade**

O projeto consiste em ligar um motor elétrico com dois sentidos, usando um potenciômetro para controle da posição de um dispositivo qualquer (antena, coletor solar, radar, etc).

## Chapter 9

# Iluminação

*“Dentre todos os estudos das causas naturais e do raciocínio,  
a Luz é o que mais encanta o observador”*  
(Leonardo da Vinci)

Iniciaremos a parte de projetos com a iluminação, que é uma das principais utilizações da eletricidade. Para a realização do cálculo luminotécnico deverá ser realizado o levantamento das condições e dados do ambiente listados abaixo:

- a) dimensões do ambiente (comprimento, largura e pé-direito);
- b) altura do plano de trabalho (75cm para mesas de escritórios, por exemplo);
- c) altura de suspensão das luminárias (se fixadas ao teto, esse valor é nulo);
- d) altura de montagem (subtraindo-se a altura do plano de trabalho e a altura de suspensão da luminária do pé-direito);
- e) acabamentos internos (refletâncias das superfícies): teto, paredes e piso.

### 9.1 Conceitos de luminotécnica

A luz é a energia eletromagnética em forma de onda, de determinado comprimento de onda e frequência ( $3.7 \times 10^{14}$  até  $8.3 \times 10^{14}$  Hz). Na luminotécnica distinguem-se 05 (cinco) grandezas:

Intensidade luminosa  $I$  - A intensidade de irradiação medida numa determinada direção é chamada de intensidade luminosa. Sua unidade de medida é uma candela (cd).

Fluxo luminoso  $\phi$  - É a potência luminosa irradiada por uma fonte luminosa em todas as direções. É medido em lúmen (lm). Um lúmen é a energia luminosa irradiada por uma candela sobre uma superfície esférica de  $1 \text{ m}^2$  e cujo raio é de 1 m. Assim o fluxo luminoso originado por uma candela é igual à superfície de uma esfera unitária de raio ( $r = 1 \text{ m}$ ).

$$\phi = 4\pi r^2 = 12.57lm \quad (9.1)$$

Iluminamento  $E$  - É a intensidade luminosa uniforme por  $\text{m}^2$ .

Iluminamento (**lux**) = Fluxo luminoso (**lúmens**) / Área (**metros quadrados**)

Luminância  $B$  - A luminância de uma fonte luminosa ou de uma superfície luminosa estabelece a reação visual da vista. Sua unidade de medida é Stilb (sb). Quando a luz de uma fonte ou de uma superfície que reflete a luz, atinge a vista com elevada luminância, então ocorre o ofuscamento, sempre que a luminância é superior a 1 sb.

Luminância = Intensidade luminosa / área da lâmpada

Eficiência luminosa  $\eta$  - é a potência luminosa de uma fonte, em lúmen, referida a 1 W de potência absorvida. Sua unidade é o lm/W.

## 9.2 Níveis de iluminamento

A definição dos níveis de iluminamento é a primeira etapa do projeto luminotécnico. Nesta etapa é definida a iluminância necessária para o ambiente em função da tarefa visual que será desenvolvida no local. Estes níveis devem obedecer aos valores médios de iluminação recomendados pela NBR 5413 (Iluminância de Interiores) para cada tipo de atividade e em função da idade média dos usuários, precisão e velocidade exigidas pela tarefa e refletância do fundo da tarefa. A tabela 9.1 apresenta alguns níveis de iluminamento recomendados pela NBR 5413. Estes serão os iluminamentos mínimos para o projeto.

Table 9.1: Alguns níveis de iluminamento recomendados pela NBR 5413

Local	Lux
Sala de estar	150
Locais de leitura	500
Cozinhas	150
Quartos	150
Hall, escadas, garagens	100
Banheiros	150
Sala de aula	300
Escritórios	1000
Bancos	500
Quadras esportivas	200
Bancos	500
Fábricas em geral	500
Mercados	1000
Restaurantes	150

## 9.3 Escolha de lâmpadas e seus respectivos lúmens

Deve-se escolher uma lâmpada adequada ao ambiente. Por exemplo, uma lâmpada incandescente é indicada para o interior de uma residência, mas não para uma quadra desportiva, como as lâmpadas mistas ou de vapor de mercúrio, que por sua vez também são indicadas para exteriores.

Para projeto de sistemas de iluminação interna, deverão ser adotados equipamentos de iluminação de acordo com o tipo de ambiente e nível de iluminância necessário.

Os conjuntos de equipamentos poderão, no futuro, ser alterados e substituídos por equipamentos mais eficientes (como, por exemplo, nova tecnologia de lâmpadas fluorescentes), desde que venham a apresentar viabilidade econômica - ambiental.

## 9.4 Tipos de lâmpadas

## 9.5 Iluminação Interna

### 9.5.1 Residencial

- 100 W para cada compartimento até 6 m<sup>2</sup>
- 60 W para cada 4 m<sup>2</sup> inteiros.

Table 9.2: Características médias de lâmpadas

Tipo de Lâmpada	Temp cor(K)	Efici. lm/W	$P_{tip}$ (W)	Preço R\$	Vida (horas)	$\eta_{LB}$ lum
Incandesc.	2500	7	100	3,	3000	95
Halógena	3100	15	50	10,	2000	65
Mista	3100	25	250	25,	1000	80
Fluor.conv.	3300	38	40	5,	7500	70
Flu.compac.	4000	40	18	30,	10000	85
Flu.comp.EL	6000	30	9	9,	5000	80
Flu.tubular	3500	69	32	20,	14000	85
Mercúrio	5500	54	250	23,	18000	90
Sódio	2000	130	400	50,	20000	90
Metálica	3200	100	400	200,	12000	90

### 9.5.2 Cálculo luminotécnico

$k$  - Fator do local, que considera as dimensões do recinto

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

onde:

$a$  - largura do recinto (m);

$b$  - comprimento do recinto (m);

$H$  - altura ou pé direito da sala (m);

$h = H -$  altura do plano de trabalho = distância do teto ao plano de trabalho (m).

Teto: branco 80%; claro 50%; médio 30%

Paredes: brancas 80%; claras 50%; médias 30%

Piso: médio 30%; escuro 10%.

$u$  - Coeficiente ou fator de utilização

$\eta_{LB}$  - Eficiência da luminária. Ver Tabela 9.2, manuais de fabricantes ou o livro COTRIM, 'Instalações Elétricas'.

$\eta_R$  - Eficiência do recinto. Tabela 9.3.

$$u = \eta_{LB} \times \eta_R$$

$\phi$  - fluxo luminoso total necessário, em lúmens;

$d$  - fator de depreciação;

$E$  - Iluminamento mínimo, em luxes;

$A = a \times b$  - Área do recinto, em m<sup>2</sup>;

$$\phi = \frac{S \times E}{u \times d}$$

$\Phi$  = fluxo luminoso de uma lâmpada, em lúmens

$n$  - número mínimo de lâmpadas

$$n = \frac{\phi}{\Phi}$$

Table 9.3: Coeficiente  $\eta_R$  do recinto (valores da tabela), em função de  $k$  (linhas da tabela) e das refletâncias de teto, parede e piso em seqüência (colunas da tabela)

$k$	883	853	833	553	533	881	831	551	531	331
0,6	73	46	37	44	36	66	36	42	35	35
0,8	82	57	47	54	46	74	45	51	44	44
1,0	91	66	56	62	54	80	53	59	52	51
1,25	98	75	65	70	62	85	61	66	60	59
1,5	103	82	73	76	69	89	67	72	66	65
2,0	109	91	82	84	78	94	75	78	73	72
2,5	114	98	90	90	84	97	81	83	79	77
3,0	117	103	96	95	90	99	86	87	83	82
4,0	120	109	103	100	95	101	91	91	88	86
5,0	122	113	107	103	98	103	93	93	91	89

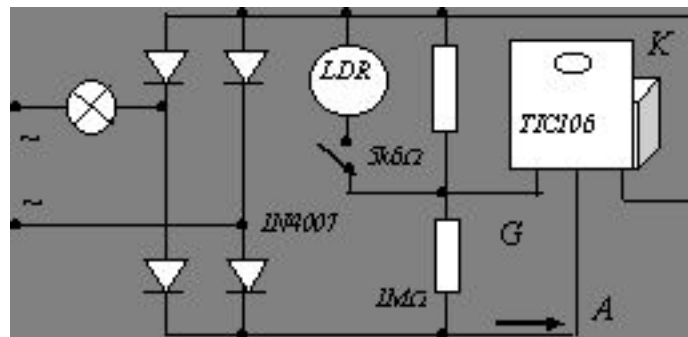


Figure 9.1: Esquema para uma fotocélula simples

### 9.5.3 Ligação de lâmpadas fluorescentes

Com ignitor ou starter

Com reator de partida direta

### 9.5.4 Ligação de dimmers e controles

### 9.5.5 Uma fotocélula simples

As fotocélulas estão presentes em todas as lâmpadas de iluminação pública, pátios, etc, mas pouca gente sabe como elas funcionam. O objetivo dessa experiência é ilustrar o funcionamento de uma fotocélula construindo uma delas com materiais fáceis de serem adquiridos, ao mesmo tempo em que aprendemos o conteúdo.

#### Tiristor

TIC106N	5 A	800 V	Gatilho (200 $\mu$ A, 1 V)
TIC116D	8 A	400 V	Gatilho (20 mA, 1,5 V)

A fotocélula que sugerimos utiliza um TIRISTOR. Este componente semicondutor possui três terminais (ANODO, KATODO e GATILHO). É uma chave para a corrente alternada, e muito usada em acionamentos e dimmers (dispositivo que regula a iluminação de um ambiente ou a velocidade de um motor elétrico).

O que o tiristor faz é controlar a passagem da corrente pela lâmpada. Disparando-o em diversos pontos do sinal senoidal da rede elétrica, é possível aplicar a uma carga potências diferentes (DIMMER). Assim, se o disparo for feito no início do semiciclo, todo semiciclo de potência poderá ser conduzido para a carga

e ela receberá potência máxima. Entretanto, se o disparo ocorrer no final do semiciclo, pequena parcela da energia será conduzida até a carga que operará com potência reduzida.

O modo como a fotocélula funciona é bastante simples. Quando nenhuma luz incide no LDR, sua resistência é alta e nenhuma corrente circulará pelo GATILHO do TIRISTOR. Isto impede a corrente principal (mais intensa) de fluir entre o ANODO e o KATODO (quer dizer, o TIRISTOR está 'desligado') e a lâmpada não acende.

- Quando a luz penetra no orifício do LDR, sua resistência diminui abruptamente e uma pequena intensidade de corrente começa a fluir pelo GATILHO do tiristor; e isso faz com que a corrente principal (que também passa pela lâmpada) circule do ANODO para o KATODO, e a lâmpada acende.

#### **Material**

- um LDR
- um Tiristor TIC106D
- um resistor de  $1\text{M } \Omega$
- um resistor de  $5\text{k}6 \Omega$
- quatro diodos 1N4007
- uma placa de sucata
- um tubo de filme escuro
- uma lâmpada até 100 W
- fio paralelo com flecha
- um soldador a estanho
- massa de modelar
- fita isolante

#### **Procedimento**

- Mesmo tratando-se de um circuito relativamente simples, com componentes de fácil aquisição no mercado eletrônico, recomenda-se ao aluno que tiver dúvidas, peça auxílio a um técnico mais experiente para suprir os detalhes.

- Monte a flecha, o soquete da lâmpada em série com a ponte de diodos, isolada com fita isolante. Meça a tensão CONTÍNUA com o multímetro colocado em Volts DC. A lâmpada deverá acender quando se fechar os contatos A-K que irão para o circuito eletrônico do tiristor.

- Os fios coloridos ajudam evitar possíveis confusões. Para isso, podemos pintar a sua cor no esquema.

- Observe cuidadosamente os terminais do TIRISTOR e monte o circuito, procurando a melhor disposição dos componentes na placa.

- Retire a capa dos fios (cabinho # 22) e raspe as extremidades dos componentes. Faça as conexões à placa de sucata usando solda a estanho.

- Tome bastante cuidado para não aquecer demais os componentes, usando o alicate de bico.

- Fure a tampa do tubo de filme, e fixe o LDR usando massa de modelar.

- Ligue o circuito nos terminais que vêm do retificador e cubra o LDR. A lâmpada acende? Agora descubra o LDR. Se não tiver sol acenda um fósforo! A lâmpada apaga?

- Quando você estiver satisfeito com o funcionamento do dispositivo, poderá instalar no pátio de sua casa.

#### **Lâmpada incandescente com diodo em série**

Muitas vezes precisamos menor quantidade de luz, e queremos que as lâmpadas durem mais. A ligação de um diodo em série reduz a tensão da lâmpada pela metade e a potência para a quarta parte.

## Dimmers

Vamos pesquisar um circuito simples e eficiente. Na seqüência, poderemos integra-lo com acionamento automático ou programado. Temos inúmeras possibilidades.

## 9.6 Resumo

### Integração com a luz natural

O projeto dos sistemas de iluminação interna deverão apresentar o esquema de ligação das luminárias, procurando-se a melhor divisão dos circuitos de maneira que possibilite maior flexibilidade de acionamento do sistema de acordo com a área ocupada de cada ambiente e de acordo com a disponibilidade de **luz natural**.

Em salas com duas ou mais fileiras de luminárias paralelas a janelas, deverão ser instalados no mínimo **interruptores de duas teclas**, permitindo-se o acionamento das fileiras na medida do necessário, desde que a iluminação natural não seja suficiente para atender os níveis mínimos de iluminação requeridos para a tarefa.

### Apresentação do projeto

O **memorial de cálculos** é a principal parte do projeto de iluminação. Ele deve incluir o método de cálculo utilizado, incluindo o nome e fabricante do software empregado, quando for o caso. Deverá ser apresentada uma planilha de cálculo contendo o nome da edificação referente ao projeto e para cada ambiente deverão ser fornecidas as seguintes informações:

- a) identificação do ambiente;
- b) área, em  $m^2$ ;
- c) tipo de iluminação empregada
- d) iluminância de projeto, em lux;
- e) número de luminárias adotado;
- f) potência instalada por unidade de área, em  $W/m^2$ ; e,
- g) iluminância estimada para o final do período de manutenção. Adotando-se normalmente  $d=0,80$ .



## Chapter 10

# Instalações elétricas

Antes de iniciarmos o estudo dos princípios aplicados ao projeto de instalações elétricas, é bom formularmos o nosso objetivo. Podemos subdividi-lo em quatro partes interligadas entre si:

- As necessidades e exigências de conforto da sociedade estão mudando rapidamente, haja visto a enorme influência que a energia elétrica exerce em todos os setores da atividade humana. Somos a cada dia que passa mais dependentes desta energia, no lar, no trabalho, nos locais de lazer, de compras, enfim, em toda parte. Podemos nos perguntar: ‘Qual a importância da eletricidade para a nossa vida? Quais as suas influências no que somos hoje e poderemos ser amanhã?’
- O projeto de instalações elétricas exige uma série de cuidados com a segurança, obedecendo certas normas que se desenvolveram ao longo da história. No Brasil, temos a NBR5410, que se originou da antiga NB-3, criada no início do século XX. No RS, temos o regulamento geral das instalações consumidoras (RIC), que é uma referência no tocante a instalações elétricas. E estas normas estão em contínua evolução, adaptando-se com novos materiais, e novas tecnologias de seu emprego. Quem conhece o antigo padrão AWG?
- As fontes de energia elétrica são limitadas, e ela não pode ser desperdiçada. Existem infinitas alternativas de projeto, que não podem ser desconsideradas, sob o risco de fracasso dos empreendimentos. E se esse empreendimento é a Vida no planeta, nós, os projetistas, temos uma grande parcela de responsabilidade. ‘Somos capazes de identificar pontos de desperdício de energia elétrica? Ou somos capazes de planejar uma instalação elétrica segundo o critério do desenvolvimento sustentável?’
- As tendências atuais apontam que nas instalações do futuro a eletrônica e a informática serão essenciais para a conservação da energia e do meio ambiente, exigindo projetos especiais. Temos como exemplos: a) sistema de interfone integrado ao telefone; b) sistema de segurança monitorado por câmaras de TV; c) tubulações para TV (antenas, a cabo, ...); d) sistema central de aquecimento combinando gás, eletricidade, e coletores solares; e) todas tomadas com aterramento para ligar microcomputadores; e, f) tubulações para redes de computadores.

Este capítulo tem por objetivo auxiliar o projetista, trazendo alguns princípios e algumas referências para melhorar a qualidade dos projetos elétricos.

### 10.1 Distribuição de tomadas

#### Tomadas de uso geral - TUG:

- a) No mínimo, uma tomada por cada compartimento;
- b) Salas e dormitórios: uma tomada 100 W a cada 5 m de perímetro. Ver a localização da cabeceira para lâmpadas de mesa, som e chave hotel.

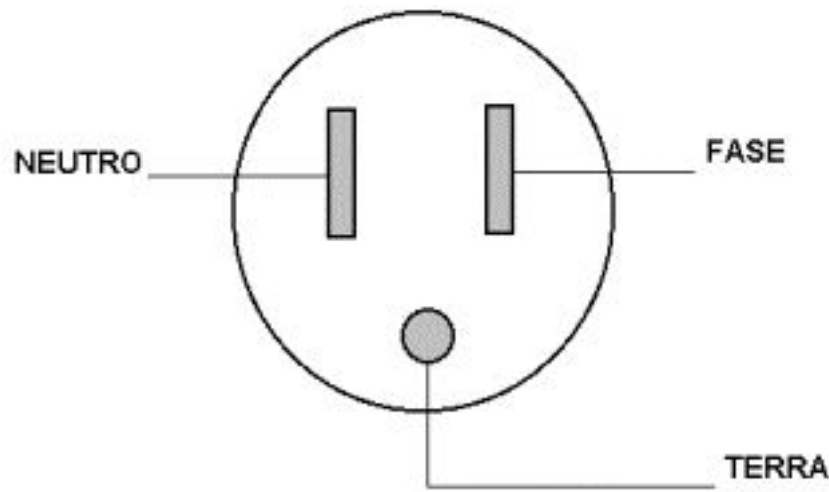


Figure 10.1: Pinagem de uma tomada de uso geral - TUG.

d) Copa, cozinha e áreas de serviço:

- no mínimo, uma tomada para cada 3.5 m de perímetro
- uma tomada em cada bancada com largura igual ou superior a 30 cm
- potência de 600 W para as 3 primeiras e 100 W para as restantes.

**Tomadas de uso específico - TUE:**

a) Chuveiro ou torneira elétrica: 5600 W

b) Motores elétricos - 1 HP = 746 Watts, 1 CV = 736 Watts

- Potência Aparente (VA) = Potência Ativa (W) × Fator de Potência
- Corrente elétrica = Potência aparente / Tensão

$n$  - rotação, em rpm

$f$  - frequência, em Hz

$p$  - número de polos (normalmente 2 ou 4)

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

- o rendimento è sempre menor que '100 %'
- Quando se dispõe de rede trifásica não se usa motor monofásico.
- Normalmente, a proteção e o acionamento são feitos em quadros de comando.

c) Aparelhos de solda elétrica - com transformador: convencionais ou com dispositivos eletrônicos para solda em corrente contínua;

- com motor elétrico (maiores potências).

d) Condicionadores de Ar: - Residências ou casas individuais: 1600 W

- Apartamentos: 2000 W
- Salas e escritórios: 1500 W / 15 m<sup>2</sup> de área
- Lojas e semelhantes: 5000 W / unidade consumidora

## 10.2 Divisão de circuitos

a) É preferível colocar todas as tomadas em circuito separado, pois a maioria dos “curto circuitos” são originários de defeitos nas tomadas. A carga das tomadas para uso geral é de 100 W.

b) Para copas, cozinhas, e áreas de serviço, obrigatoriamente deve existir um ou mais circuitos exclusivos para tomadas com a seguinte carga: 600 W por tomada até 03 (três) tomadas, e 100 W para as restantes.

Table 10.1: Potência de aparelhos de ar condicionado, alimentados em 220 volts. (1 BTU = 252 cal)

BTU/h	kcal/h	W	VA	Ampères
7100	1175	900	1100	5
8500	2125	1.300	1550	7
10000	2500	1.400	1650	7,5
12000	3000	1600	1900	8,5
14000	3500	1900	2100	9,5
18000	4500	2600	2860	13
21000	5250	2800	3080	14
30000	7500	3600	4000	18

Table 10.2: Cálculo da carga térmica, em 1000 Btu/hora, para 2 pessoas. Acrescentar 600 Btu/h para cada pessoa a mais. A - ambiente sob outro pavimento. B - ambiente sob telhado com forro. C - ambiente sob laje descoberta. I - Sombra o dia todo. II - Sol da manhã. III - Sol da tarde.

Área m <sup>2</sup>	A I	B I	C I	A II	B II	C II	A III	B III	C III
15	6	7	8	8	10	11	10	12	14
20	6	8	11	8	12	14	11	14	14
30	6	9	14	8	14	18	12	16	17
40	7	12	16	10	14	18	13	17	22
60	10	16	22	14	20	30	17	23	30
70	10	18	23	14	22	30	18	30	40
90	12	22	30	16	30	35	20	30	40

Em 220 Volts, o condutor mínimo para este(s) circuito(s) é 2,5 mm<sup>2</sup>.

c) Calculada a carga total da unidade, em watts, devemos dividi-la em circuitos cuja carga não seja superior ao limite recomendado pelo condutor. O limite recomendado para o fio 1,5 mm<sup>2</sup> é 1200 W.

d) Para cada circuito existe no quadro de distribuição um disjuntor, com valor especificado em projeto.

e) Circuitos independentes devem ser previstos para os aparelhos de potência igual ou superior a 1500 VA (aquecedores de água, fogões e fornos elétricos, máquinas de lavar roupa ou louça, chuveiros, etc) ou aparelhos de ar condicionado.

d) É permitida a alimentação de mais de um aparelho do mesmo tipo através de um mesmo circuito (dois chuveiros, três condicionadores de ar, etc). Entretanto, deve haver uma proteção junto a cada aparelho.

## 10.3 Dimensionamentos

$\Delta V$  - Queda de tensão, em Volts (V)

$$\Delta V = IR_{condutor}$$

$\Delta V\%$  - Queda de tensão percentual, em %.

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_{nominal}} 100$$

$\Delta V\% < 2\%$  nos circuitos de iluminação e tomadas.

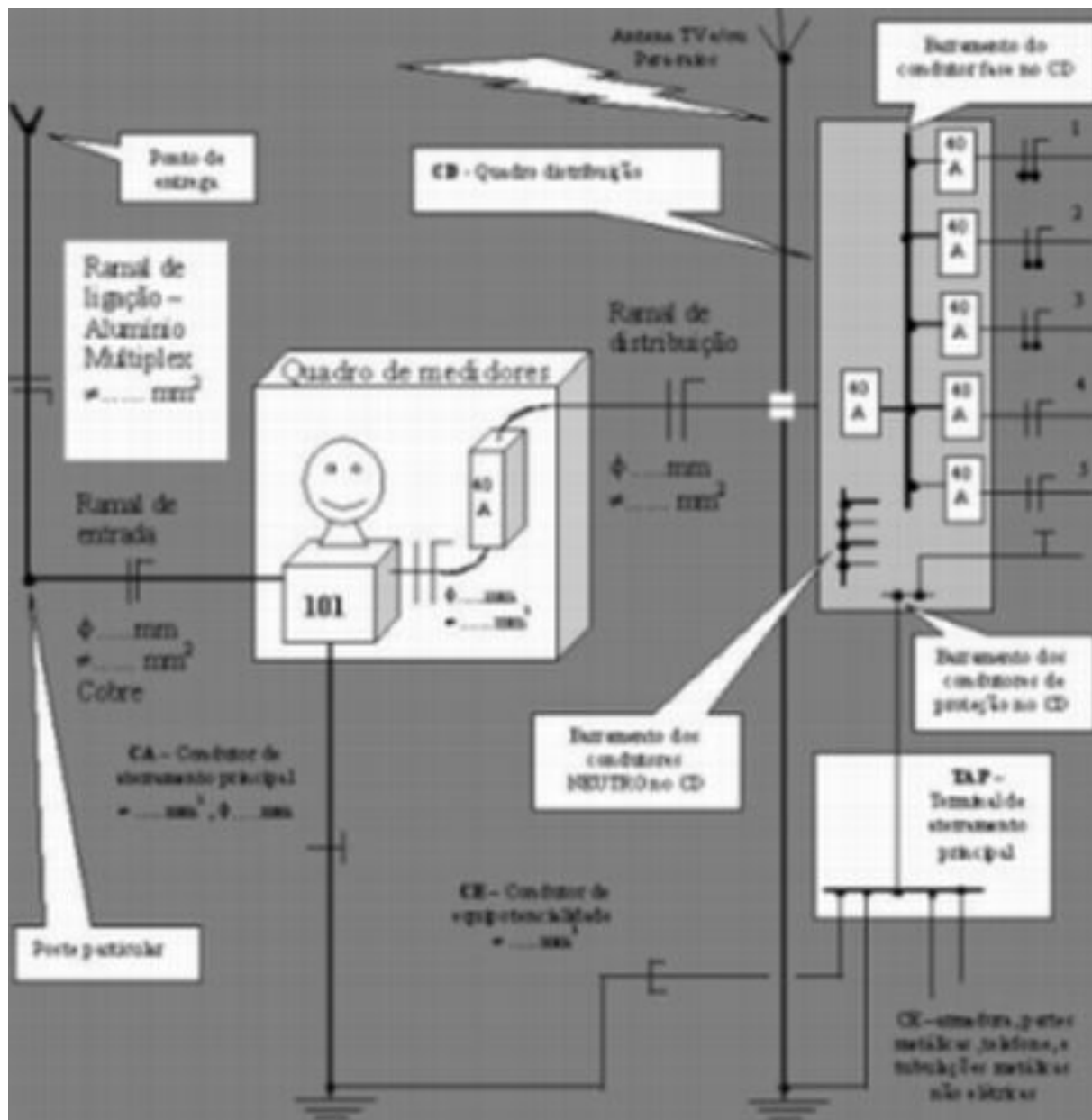


Figure 10.2: Diagrama unifilar estilizado.

Table 10.3: Capacidade de condução de corrente, em Ampéres, para condutores de cobre isolados com PVC 70°C, instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria (linha tipo B1).

Seção (mm <sup>2</sup> )	c/ capa (mm <sup>2</sup> )	2 cond. carreg.	3 cond. carreg.	4 cond. carreg.	6 cond. carreg.
1,5	8,55	17,5 A	15,5 A	14 A	12,3 A
2,5	10,75	24 A	21 A	19,2 A	16,8 A
4,0	13,85	32 A	28 A	25,6 A	22,4 A
6,0	18,1	41 A	36 A	32,8 A	28,7 A
10,0	27	57 A	50 A	45,6 A	40 A
16,0	36	76 A	68 A	60,8 A	54 A
25,0	57	101 A	89 A	80,8 A	71 A
35,0	71	125 A	110 A	100 A	88 A
50,0		151 A	134 A	121 A	106 A
70,0		192 A	171 A	153 A	135 A

Table 10.4: Eletrodutos de PVC, rosqueáveis

Bitola (mm)	pol.	Diam. ext.	Seção (mm <sup>2</sup> )	31% da Seção
16	3/8"	16,7	133	41
20	1/2"	21,1	240	74
25	3/4"	26,2	366	113
32	1"	33,2	607	188
40	1 1/4"	42,2	1040	322
50	1 1/2"	47,8	1372	424
60	2"	59,4	2222	1029
75	2 1/2"	75,1	3602	1116

## 10.4 Entrada de energia

A **carga instalada** de uma unidade consumidora é o somatório das potências de todos os circuitos. Ela deve ser expressa claramente no(s) quadro(s) de carga e no memorial descritivo, e subdividida nas seguintes partes:

- a* - carga de iluminação e tomadas (kW),
- b* - carga de aparelhos de aquecimento (kW),
- c* - carga de condicionadores de ar tipo janela (kW),
- d* - carga de ar condicionado central (kW),
- e* - potência aparente total de motores (kVA),
- f* - potência aparente total de máquinas de solda elétrica a transformador (kVA).

O cálculo da **demanda** deve ser feito por unidades consumidoras com carga superior a 15 kW (220/127V) ou 25 kW (380/220V). Serve para determinar a categoria de fornecimento e para o dimensionamento das entradas de serviço.

$$D(kVA) = a\lambda_a + b\lambda_b + 1,2c\lambda_c + d\lambda_d + e\lambda_e + f\lambda_f$$

$D(kVA)$  - demanda total, em kVA;

$\lambda_a$  a  $\lambda_f$  - fatores de demanda (Tabelas 10.5 a 10.11).

Fornecimento de energia elétrica poderá ser:

- **Tipo A (monofásico):** fornecimento a 2 fios (fase e neutro), carga instalada máxima de 15kW, não pode incluir motor monofásico > 3CV (HP) e nem máquina de solda a transformador
- **Tipo B (bifásico):** fornecimento a 3 fios (2 fases e neutro), 380/220V urbana e 440/220V rural, potência instalada entre 15 e 22kW (urbana) e até 25kW (rural). Não pode incluir motor monofásico > 3CV (HP) em 220V ou > 7,5 CV em 440V, nem máquina de solda a transformador
- **Tipo C (trifásico):** fornecimento a 4 fios (3 fases e neutro), 380/220V: potência instalada entre 22 e 75kW, não pode incluir motor monofásico > 3CV em 220V, nem motor trifásico > 25CV em 380V, nem máquina de solda a transformador.

As unidades consumidoras que não se enquadrarem nos tipos A, B, ou C serão atendidas em tensão primária de distribuição (13,8 kV na região de Santa Maria).

Condições gerais das entradas de energia:

- partir do poste (ou ponto) da rede da concessionária por ela determinado
- não cortar terrenos de terceiros nem passar sobre área construída
- entrar preferencialmente pela frente da unidade consumidora, ser perfeitamente visível e livre de obstáculos (ver RIC)
- não cruzar com condutores de ligações de edificações vizinhas
- respeitar distâncias horizontais (1,20m) e verticais (2,50m) mínimas da norma
- apresentar vão livre máximo de 30 m; se medição no corpo da edificação, então esta deverá estar no máximo a 15 m da via pública
- manter separação mínima de 20cm entre os condutores
- obedecer distâncias mínimas na vertical entre o condutor inferior e o solo, dadas pelas normas respectivas para instalações urbanas (NBR 5434) e rurais (NBR 5433)
- para o condutor neutro, utilizar a cor preta ou azul-clara
- em caso de uso de caixas de passagem subterrâneas, estas serão exclusivas para os condutores de energia elétrica e aterramento, não podendo ser utilizadas para os condutores de telefonia, TV a cabo, etc.
- o quadro onde estão os medidores deve ser colocado de tal maneira que permita o livre acesso ao empregado da companhia fornecedora para fazer a leitura, e ficar o mais próximo possível da divisa frontal (6,00 m para consumidor individual).
- quando o quadro de medidores for instalado em poste particular ou no muro, deve distar no máximo 1,5 m da divisa frontal do terreno.

Table 10.5: Carga mínima e fatores de demanda para iluminação e tomadas, exceto residências - Fonte RIC

Descrição	W/m <sup>2</sup>	Fat. demanda %
Bancos	50	86
Clubes	20	86
Igrejas	15	86
Lojas	30	86
Restaurantes	20	86
Auditórios	15	86
Barbearias	30	86
Garagens, áreas de serviço	5	86
Escolas	30	86 ate 12kW e 50 exced.
Escritórios	50	86 ate 20kW e 70 exced.
Hospitais	20	40 ate 50kW e 20 exced.
Hotéis	20	50 ate 12kW, 40 ate 100kW, e 30 exced.

Table 10.6: Fatores de demanda para iluminação e tomadas de residências. Carga mínima = 30 W/m<sup>2</sup> - Fonte RIC

Potência $P$ (kW)	Fator de demanda %
$0 < P \leq 1$	86
$1 < P \leq 2$	75
$2 < P \leq 3$	66
$3 < P \leq 4$	59
$4 < P \leq 5$	52
$5 < P \leq 6$	45
$6 < P \leq 7$	40
$7 < P \leq 8$	35
$8 < P \leq 9$	31
$9 < P \leq 10$	27
$10 < P$	24

Table 10.7: Fatores de demanda para aparelhos resistivos de aquecimento - Fonte RIC

N.apar.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F.D.%	100	75	70	66	62	59	56	53	51
N.apar.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
F.D.%	49	47	45	43	41	40	39	38	37
N.apar.	19	20	21	22	23	24	25	>25	
F.D.%	36	35	34	33	32	31	30	30	

Table 10.8: Fatores de demanda para ar condicionado tipo janela instalados em residências - Fonte RIC

Potência (CV)	Fator de demanda %
1 a 10	100
11 a 20	85
21 a 30	80
31 a 40	75
41 a 50	70
51 a 75	65
acima de 75	60

Table 10.9: Fatores de demanda para ar condicionado tipo janela instalados em escritórios - Fonte RIC

Potência (CV)	Fator de demanda %
1 a 25	100
26 a 50	90
51 a 100	80
acima de 100	70

Table 10.10: Cargas individuais para motores (Fator de Potência) - Fonte anexo G do RIC

P(CV)	S(kVA)	P(CV)	S(kVA)	P(CV)	S(kVA)
1/6	0,45	1 1/2	2,00	15	12,7
1/4	0,63	2	2,60	20	16,4
1/3	0,76	3	3,80	25	20,3
1/2	1,01	5	5,40	30	24,0
3/4	1,24	7 1/2	7,40	40	30,6
1	1,43	10	9,20	50	40,8

Table 10.11: Fatores de demanda para motores - Fonte anexo G do RIC

Número de motores	Fator de demanda %
1	100
2	90
3 a 5	80
mais de 5	70



Table 10.12: Dimensionamento da entrada de serviço para consumidores alimentados em 220/127 V (Anexo J do RIC-BT)

C-kW ou D(kVA)	Tipo de Cons.	Fio terra mm <sup>2</sup>	Disj. Prot. A	R.Lig. Al mm <sup>2</sup>	R.Ent. Cobre mm <sup>2</sup>	Elet. PVC mm
$C < 10\text{kW}$	A1	6,0	40	D-10	6,0	25
$C < 15\text{kW}$	B1	10,0	50	T-10	10,0	25
$D < 10\text{kVA}$	C1	6,0	30	Q-10	6,0	25
$10 < D < 15$	C2	10,0	40	Q-10	10,0	32
$15 < D < 19$	C3	10,0	50	Q-10	10,0	32
$19 < D < 27$	C4	10,0	70	Q-16	25,0	40
$27 < D < 38$	C5	10,0	100	Q-25	35,0	40
$38 < D < 47$	C6	16,0	125	Q-35	50,0	50
$47 < D < 57$	C7	25,0	150	subter.	70,0	60
$57 < D < 66$	C8	25,0	175	subter.	95,0	60
$66 < D < 76$	C9	35,0	200	subter.	120,0	75
$76 < D < 86$	C10	50,0	225	subter.	150,0	100
$86 < D < 95$	C11	50,0	250	subter.	185,0	100
$95 < D < 115$	C12	70,0	300	subter.	240,0	100

Table 10.13: Dimensionamento da entrada de serviço para consumidores alimentados em 380/220 V (Anexo J do RIC-BT)

C-kW ou D(kVA)	Tipo de Cons.	Fio terra mm <sup>2</sup>	Disj. Prot. A	R.Lig. Al mm <sup>2</sup>	R.Ent. Cobre mm <sup>2</sup>	Elet. PVC mm
$C < 15\text{kW}$	A2	6,0	40	D-10	6,0	25
$C < 25\text{kW}$	B2	10,0	50	T-10	10,0	25
$D < 19\text{kVA}$	C13	6,0	30	Q-10	6,0	25
$19 < D < 26$	C14	10,0	40	Q-10	10,0	32
$26 < D < 32$	C15	10,0	50	Q-10	10,0	32
$32 < D < 46$	C16	10,0	70	Q-16	25,0	40
$46 < D < 66$	C17	10,0	100	Q-25	35,0	40
$66 < D < 82$	C18	16,0	125	Q-35	50,0	50
$82 < D < 99$	C19	25,0	150	subter.	70,0	60
$99 < D < 115$	C20	35,0	200	subter.	95,0	75



# Chapter 11

## Sistemas de medição e controle

### 11.1 Medidas em circuitos lineares

Tendo-se os sinais de tensão e corrente (que está multiplicada pelo fator  $1 / 1$ ), dados nas Fig.1 e Fig.2, calcular os valores das seguintes perguntas, considerando-se que o erro de cada leitura com uma régua milimetrada seja  $\pm .9000E + 00$  mm.

- a - As equações das tensões e correntes, com amplitude, frequência, e ângulo de fase,
- b - O valor médio (lido num instrumento de BMIP com retificador) e eficaz da tensão,
- c - O valor médio (lido num instrumento de BMIP com retificador) e eficaz da corrente,
- d - O fator de potência da carga,
- e - A potência média total dissipada (ou gerada?) no sistema A ou B,
- f - O circuito equivalente série para a carga, no sistema A ou B,
- g - O circuito equivalente paralelo da carga,

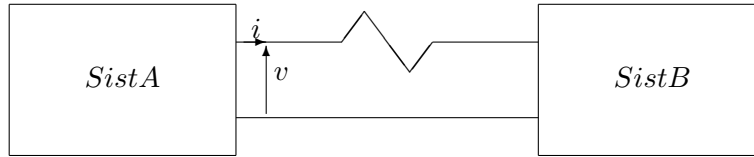


Figure 11.1: Representação de uma linha monofásica.

#### Solução

Considerando os sinais de tensão e corrente (multiplicada pelo fator  $1 / 1$ ), dados nas Fig.1 e Fig.2, com erro de leitura de  $\delta l = \pm .9000E + 00$  mm.

- a - As equações das tensões e correntes, com amplitude, frequência, e ângulo de fase,
- A característica fundamental de uma periódica é o período.

$$T \pm \delta T = 55.0000000 \pm .9000E + 00mm = .5000E - 01 \pm 8.181818E - 004s. \quad (11.1)$$

- A frequência (inverso do período) é  $.5000E + 02$  Hz, e o seu erro:

$$\delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial T}\right)^2 (\delta T)^2} = 3.272727E - 001Hz. \quad (11.2)$$

- O ângulo de fase da tensão é:

$$\phi_v \pm \delta \phi_v = .3600E + 02 \pm 5.8909090^\circ \quad (11.3)$$

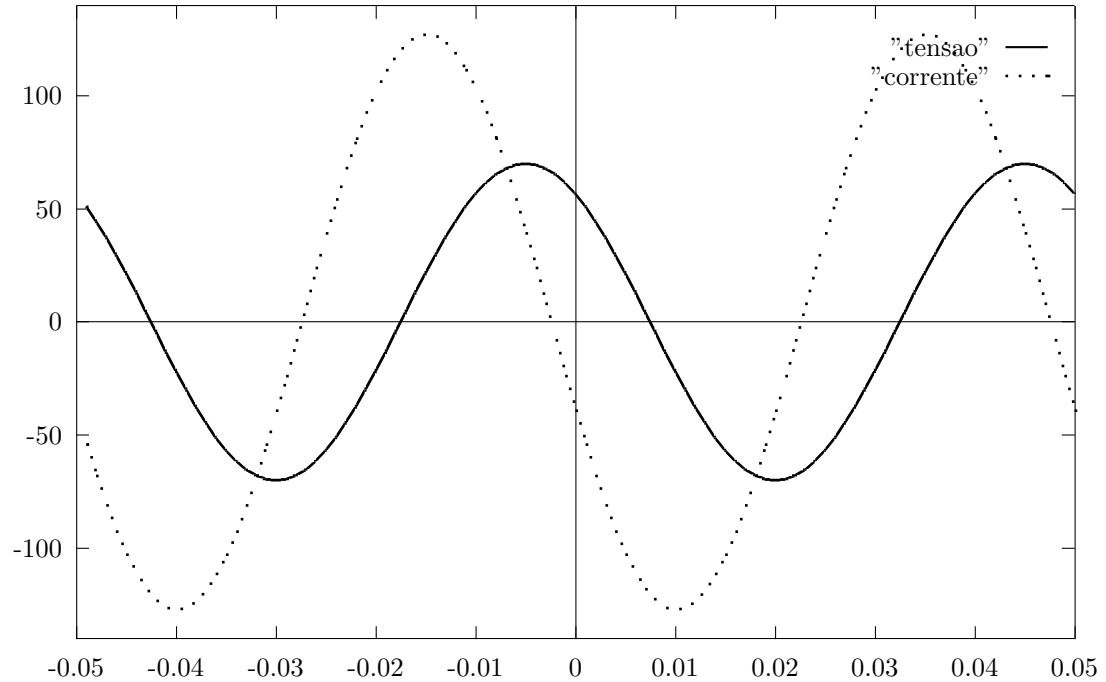


Figure 11.2: Curvas de tensão e corrente (multiplicada pelo fator  $1 / 1$ ), em função do tempo (em segundos), adquiridas experimentalmente.

- O ângulo de fase da corrente é:

$$\phi_i \pm \delta\phi_i = .1080E + 03 \pm 5.8909090^\circ \quad (11.4)$$

- As amplitudes da tensão e da corrente são:

valor	pico	eficaz	médio
$V$ (V)	$.7000E + 02 \pm 1.5039470$	$49.4974700 \pm 1.0634520$	$44.9977000 \pm 9.667741E - 001$
$I$ (A)	$.1270E + 03 \pm 1.5039470$	$89.8025700 \pm 1.0634510$	$81.6386900 \pm 9.667740E - 001$

d - O fator de potência da carga pode ser calculado com os

- ângulo entre a tensão e a corrente.

$$\phi \pm \delta\phi = \phi_v - \phi_i \pm \delta\phi = -72.0000000 \pm 5.8909090^\circ. \quad (11.5)$$

- valor do fator de potência.

$$fp \pm \delta fp = \cos\phi \pm \delta\phi \sin\phi = 3.090170E - 001 \pm -1.955672E - 001 \quad (11.6)$$

e - A potência média total

- a carga está situada no sistema B ,

- a carga é resistiva - capacitiva ,

- e a potência ativa é:

$$p \pm \delta p = VI fp \pm \sqrt{(VI \delta fp)^2 + (V fp \delta I)^2 + (I fp \delta V)^2} = 1373.5810000 \pm 435.9524000W. \quad (11.7)$$

- f - O circuito equivalente série para a carga  
 - o módulo e ângulo da impedância são:

$$z_m \pm \delta z_m = \frac{V}{I} \pm \sqrt{(\delta V/I)^2 + (V/I^2)(\delta I)^2} = 5.511811E - 001 \pm 1.352180E - 002\Omega. \quad (11.8)$$

$$\phi_z \pm \delta \phi_z = \phi \pm \delta \phi = -72.0000100 \pm 11.7818200^\circ. \quad (11.9)$$

- os valores de R e X:

$$R \pm \delta R = z_m \cos \phi_z \pm \sqrt{(z_m \sin \phi_z)^2 (\delta \phi)^2 + (\cos \phi_z)^2 (\delta z_m)^2} = 1.703243E - 001 \pm 1.078739E - 001\Omega. \quad (11.10)$$

$$X \pm \delta X = z_m \sin \phi_z \pm \sqrt{(z_m \cos \phi_z)^2 (\delta \phi)^2 + (\sin \phi_z)^2 (\delta z_m)^2} = -5.242044E - 001 \pm 3.731037E - 002\Omega. \quad (11.11)$$

- g - O circuito equivalente paralelo da carga,  
 - o módulo e ângulo da admitância são:

$$y_m \pm \delta y_m = \frac{I}{V} \pm \sqrt{(\delta I/V)^2 + (I/V^2)(\delta V)^2} = 1.8142860 \pm 4.450881E - 002\Omega^{-1}. \quad (11.12)$$

$$\phi_y \pm \delta \phi_y = -\phi \mp \delta \phi = 72.0000100 \pm 11.7818200^\circ. \quad (11.13)$$

- os valores de G e B:

$$G \pm \delta G = y_m \cos \phi_y \pm \sqrt{(y_m \sin \phi_y)^2 (\delta \phi)^2 + (\cos \phi_y)^2 (\delta y_m)^2} = 5.606451E - 001 \pm 3.550813E - 001\Omega^{-1}. \quad (11.14)$$

$$B \pm \delta B = y_m \sin \phi_y \pm \sqrt{(y_m \cos \phi_y)^2 (\delta \phi)^2 + (\sin \phi_y)^2 (\delta y_m)^2} = 1.7254880 \pm 1.228120E - 001\Omega^{-1}. \quad (11.15)$$

## 11.2 Medição de tensão, corrente, e potência não senoidais

Os sinais de tensão e corrente vistos na Fig.1 foram adquiridos experimentalmente. Fazer uma análise das curvas, determinando:

- a - O valor da tensão e da corrente média (lido num instrumento de BMIP com retificador);
- c - A tensão e da corrente eficaz, calculada numericamente;
- c - As componentes harmônicas da amplitude da tensão e da corrente até a 6a. ordem;
- d - A tensão e a corrente eficaz, calculadas usando as componentes harmônicas;
- e - O valor da potência (lido num instrumento eletrodinâmico);
- f - As componentes harmônicas, e o valor total, da potência ativa e reativa até a 6a. ordem;

## 11.3 Medição de R,L com V,I,W

Considere-se o circuito de medição apresentado na Fig.1. Os instrumentos usados, com suas leituras e características são:

### 11.3.1 Divisor resistivo com osciloscópio digital - V

Resistência série ou total do divisor:  $.4681E + 05\Omega$

Resistência paralelo com o osciloscópio:  $.8100E + 03\Omega$

Classe dos resistores do divisor resistivo: 5.00 %

Escala de tempo do osciloscópio:  $.4431E-02$  segundos/div

Escala de tensão do osciloscópio:  $.3360E+01$  Volts/div

Período lido no osciloscópio:  $.3700E+01$  divisões

Tensão pico a pico lida no osciloscópio: 4.80 divisões

Erro de linearidade do osciloscópio: 1.00%

Impedância de entrada do osciloscópio:  $.3800E + 06\Omega$

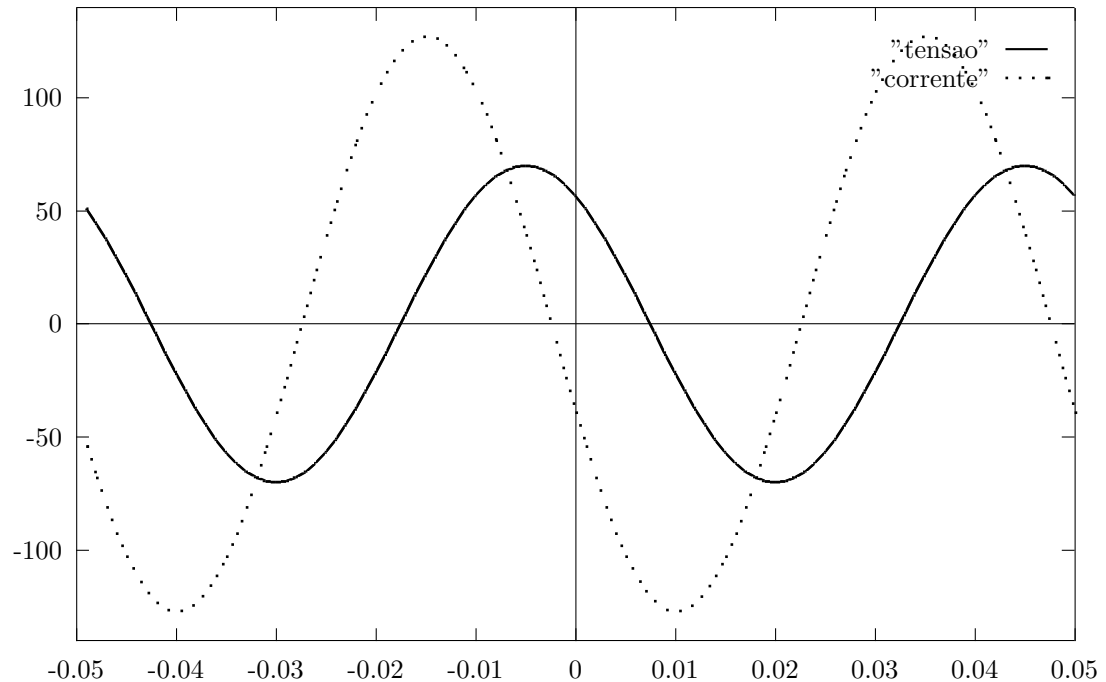


Figure 11.3: Curvas de tensão e corrente em função do tempo (em segundos). A corrente está multiplicada pelo fator  $1 / 1$

### 11.3.2 Resistor derivação ou shunt com um voltímetro eletrônico - I

Dígitos do voltímetro eletrônico: 4

Leitura do voltímetro eletrônico: 6.368mV

Erro linearidade do voltímetro eletrônico: .50%

Impedância de entrada do voltímetro eletrônico:  $.1000E + 05\Omega$

Final de escala de corrente do shunt:  $.9100E + 02A$

Final de escala de tensão do shunt:  $.1610E - 01V$

Classe do shunt: 1.90%

### 11.3.3 Wattímetro analógico - W

Tensão nominal do wattímetro: 713.0V

Corrente nominal do wattímetro: 70.40A

Classe do wattímetro: 1.30%

Resistência da bobina de corrente do wattímetro:  $.011\Omega$

Resistência da bobina de tensão do wattímetro:  $.3100E + 04\Omega$

Indutância da bobina de tensão do wattímetro:  $.6200E - 01H$

Leitura no wattímetro: 9.82divisões

Sabendo-se que a carga é indutiva, sendo representada por um resistor e um indutor associados em paralelo, determinar os valores reais e as suas tolerâncias:

- A resistência e a indutância da carga
- As potências ativa e reativa absorvidas pela carga, e fornecidas pela fonte.

Table 11.1: Aferição de um voltímetro.

Leitura	$t$ [s]	$v(t)$ [V]	$i(t)$ [A]
1	.40	30.00	.110
2	.40	60.00	.335
3	.40	90.00	.676
4	.80	30.00	.441
5	.80	60.00	1.342
6	.80	90.00	2.702
7	1.20	30.00	.992
8	1.20	60.00	3.019
9	1.20	90.00	6.080
10	1.60	30.00	1.764
11	.9259E-02	163.87	5.13

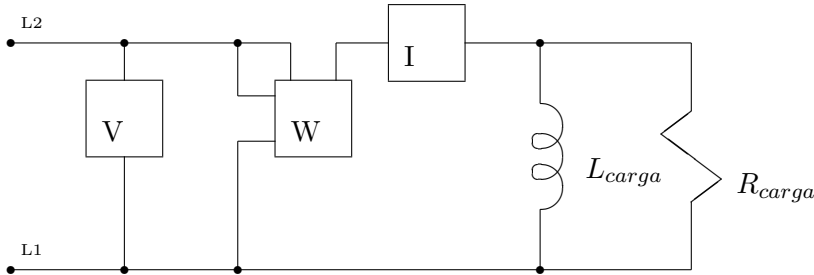


Figure 11.4: Circuito para medição de uma linha monofásica.

11.4 Aferição de sensores e instrumentos

Esta análise tem por objetivo consolidar os conhecimentos adquiridos sobre aferição e calibração de sensores e instrumentos elétricos de medição. Vamos aferir: um voltímetro, um wattímetro, um transdutor de corrente-tensão, e um transdutor de temperatura-tensão, usando apenas 05 (cinco) pontos. Acreditamos que, realizando estes exercícios corretamente, teremos condições de aferir outros sensores ou instrumentos.

Deseja-se obter para cada instrumento ou sensor aferido:

- a curva de aferição (representada por uma equação arbitrada); e,
- a classe de exatidão, igual a três vezes o desvio padrão.

11.4.1 Aferição de voltímetro analógico

Erro de linearidade do padrão: .1010E+01%

Erro de resolução do padrão: .9115E+01V

O voltímetro possui curva de aferição:

$$V = kLeitura \tag{11.16}$$

onde:  $k = .....p.u. \pm ..... \%$ .

11.4.2 Aferição de wattímetro

Erro de linearidade do voltímetro: .1036E+01%

Leitura	V padrão	V aferido
1	61.48	64.68
2	114.52	111.10
3	182.17	182.64
4	254.88	227.85
5	298.45	323.67

Erro de resolução do voltímetro: .1182E+01V

Erro de linearidade do amperímetro : .1172E+00%

Erro de resolução do amperímetro : .1101E+01A

Leitura	V pad	Ipad	Waf
1	38.71	4.342	164.90
2	82.66	7.743	639.27
3	131.69	11.297	1568.80
4	172.79	16.609	2813.93
5	203.87	18.135	4579.88

O wattímetro possui curva de aferição:

$$W = kLeitura_{div} \quad (11.17)$$

onde:  $k = .....pu \pm ....$

### 11.4.3 Aferição de um transdutor analógico de corrente-tensão

Erro de linearidade do amperímetro: .4227E+00%

Erro de resolução do amperímetro: .1087E+02A

Erro de linearidade do analógico: .4662E+00%

Erro de resolução do analógico: .1521E+01V

Leitura	Amper	Volt
1	30.543	4.594
2	54.540	9.917
3	98.164	14.536
4	120.862	20.641
5	154.343	25.011

O transdutor possui curva de aferição:

$$V = k_0 + k_1 I + k_2 I^2 \quad (11.18)$$

onde:

$$k_0 = ..... \pm .....;$$

$$k_1 = ..... \pm .....;$$

$$k_2 = ..... \pm .....;$$



#### 11.4.4 Aferição de um transdutor digital de temperatura-tensão

Erro de linearidade do termômetro: .6892E+00%

Erro de resolução do termômetro: .2062E+01° C

Erro de linearidade do digital: .1859E+00%

Erro de resolução do digital: .3894E+00V

Leitura	Term	Vdig
1	19.69	1.58
2	42.14	3.37
3	58.70	4.71
4	74.97	5.92
5	94.66	8.68

O transdutor possui curva de aferição:

$$V = k_0(1 - e^{k_1(T-T_0)}) \quad (11.19)$$

onde:

$$k_0 = \dots \pm \dots;$$

$$k_1 = \dots \pm \dots$$

### 11.5 Pontes de corrente alternada

As medidas de indutância, de capacitância, e de algumas outras grandezas podem ser realizadas convenientemente e acuradamente por circuitos CA em ponte. O equilíbrio é assegurado por ajustamentos de um ou mais braços da ponte, minimizando-se a tensão no detetor eletrônico.

#### 11.5.1 Características dos Componentes das Pontes

##### Bobina com núcleo de ar

Uma bobina tem indutância de 10 mH, resistência de  $50\Omega$  e uma capacitância distribuída de 50 pF. Determine a resistência série e a indutância equivalente da bobina, nas frequências de 1000 Hz, 10000 Hz, e 100000 Hz.

##### Resistor em alta frequência

Um resistor de  $2000\Omega$  tem uma indutância série de  $6\mu H$  e uma capacitância em derivação de 25 pF.

- Determine a corrente e seu ângulo de fase, com tensão de 10 V a 100000 Hz aplicados ao resistor. Expresse o resultado como número complexo nas formas polar e cartesiana, usando a tensão como referência.
- Determine a resistência série aparente e a reatância nesta frequência.

##### Capacitor em corrente alternada

Os fios de ligação às placas de um capacitor de 100 pF têm resistência de  $0,5\Omega$  e indutância de  $0,3\mu H$ . As perdas no dielétrico, na frequência de operação de 10 MHz são equivalentes a uma fuga de  $50000\Omega$ . Determine a capacitância equivalente e o fator de dissipação do capacitor nesta frequência.

### 11.5.2 Análise das Pontes CA

Usando o algoritmo "pontes.exe", digitar o número 169256 e ajustar  $R$  ou  $C$  nas duas pontes seguintes, para determinar os elementos desconhecidos. O algoritmo simula uma ponte real, onde os valores de  $R$  ou  $C$  da década devem ser informados manualmente a cada passo, até zerar o detetor.

Fazer o diagrama fasorial, e comentá-lo, após o ajuste de cada ponte, mostrando as amplitudes e os ângulos das tensões e correntes nos componentes, usando a tensão de alimentação  $A-B$  de 100 V como referência.

### 11.5.3 Ponte de Maxwell

Esta ponte tem a notável característica, que permite a medição de indutância em função da capacitância. O diagrama do circuito é mostrado na Fig.1.

As pontes de Hay e Owen são modificações da ponte de Maxwell. A ponte Owen tem a vantagem de ter os ajustamentos independentes de  $R$  e  $L$  e de ser de leitura direta para a indutância.

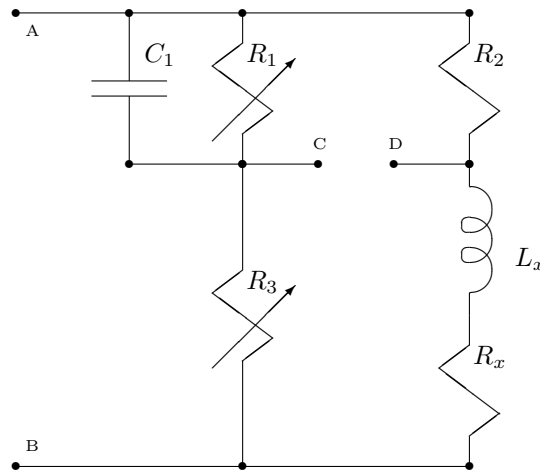


Figure 11.5: Ponte de Maxwell.

### 11.5.4 Ponte de Schering

A ponte de Schering é uma das pontes mais importantes para medição de capacitância. Podemos ver o seu esquema básico na Fig.2.

## 11.6 Medição das perdas e da curva de saturação

Os materiais magnéticos são componentes essenciais de muitas espécies de equipamento elétrico: motores, geradores, transformadores e outros. O conhecimento das perdas e da curva de saturação é um assunto de grande importância tanto para o fabricante como para o usuário. As medições das perdas e da curva de saturação são feitas normalmente pelo quadro de Epstein. Vamos usar o modelo 28 cm x 3 cm da A.S.T.M..

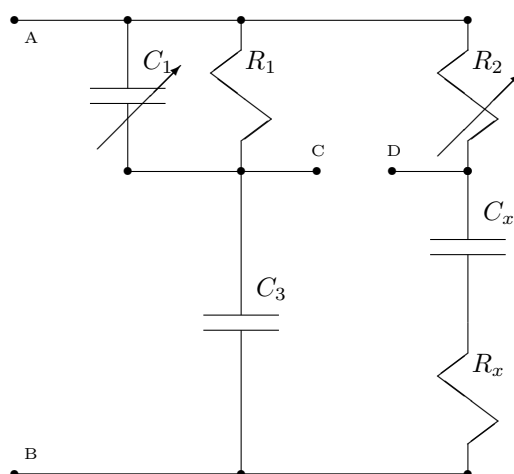


Figure 11.6: Ponte de Schering.

### 11.6.1 Perdas por histerese e por correntes induzidas de Foucault.

A energia dissipada no núcleo pode ser dada pela equação:

$$W = W_h + W_c = K_S B^\beta + K_C f B^2 \quad (11.20)$$

onde  $K_S$  é o coeficiente e  $\beta$  é o expoente da perda por histerese, e  $K_C$  o coeficiente de perdas por correntes induzidas de Foucault.

Usando os dados da Tab.I, obtidos com o quadro de Epstein, calcular os coeficientes de (1). Sugestão: fazer a otimização dos parâmetros para minimizar o erro quadrático médio.

Table 11.2: Medição das perdas  $W$ , variando a frequência  $f$  e a indução de pico  $B$ .

i	$B$ (T)	$f$ (Hz)	$W$ (W/kg)
1	.40	30.00	.110
2	.40	60.00	.335
3	.40	90.00	.676
4	.80	30.00	.441
5	.80	60.00	1.342
6	.80	90.00	2.702
7	1.20	30.00	.992
8	1.20	60.00	3.019
9	1.20	90.00	6.080
10	1.60	30.00	1.764

### 11.6.2 Curva de saturação ou de magnetização sem histerese.

#### Traçado da curva $B - H_{AN}$ .

A curva de magnetização sem histerese (anhysteretic curve), é uma função que relaciona  $B$  e  $H_{AN}$ . Uma das mais importantes e precisas é a equação de Langevin:

$$H_{AN} = \left[ \frac{B}{\mu_0} - M_S \left( \coth \lambda - \frac{1}{\lambda} \right) \right] \quad (11.21)$$

onde  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  H/m, e

$$\lambda = \frac{H_{AN}(1 - \alpha) + (B/\mu_0)}{a} \quad (11.22)$$

Pode-se resolver (2) e (3) usando o método de Newton. Com os parâmetros  $M_S = .17571E + 07$  A/m,  $a = .23020E + 04$  A/m, e  $\alpha = .23112E - 02$ , traçar a curva de saturação, quando  $B$  varia desde 0 T até 2.0 T.

Vemos que a curva de saturação possui três parâmetros:  $M_S$ ,  $a$ , e  $\alpha$ , que precisam ser ajustados experimentalmente.

#### Medição e determinação dos parâmetros de Langevin.

Ajustar a curva de Langevin, e os parâmetros do modelo de Steinmetz, quando as leituras do quadro de Epstein são dadas na Tab. II. Os dados são: a) massa da amostra = 1.20kg; b) peso específico do ferro = 7500.00kg/m<sup>3</sup>; e c) comprimento do caminho médio = .94m.

Table 11.3: Medição das perdas  $P$ , variando a frequência  $f$ , a tensão eficaz  $V$  e a corrente de pico  $I$ .

i	$f$ (Hz)	$I$ (A)	$V$ (V)	$P$ (W/kg)
1	30.00	.47	3.97	.19
2	60.00	.49	7.94	.41
3	90.00	.51	11.90	.67
4	120.00	.53	15.87	.95
5	30.00	1.05	7.94	.56
6	60.00	1.09	15.87	1.24
7	90.00	1.13	23.81	2.05
8	120.00	1.17	31.74	2.98
9	30.00	1.92	11.90	1.06
10	60.00	1.98	23.81	2.39
11	90.00	2.04	35.71	4.00
12	120.00	2.10	47.61	5.89
13	30.00	3.52	15.87	1.66
14	60.00	3.60	31.74	3.81
15	90.00	3.69	47.61	6.46
16	120.00	3.77	63.48	9.60
17	30.00	7.75	19.84	2.36
18	60.00	7.85	39.68	5.49

Sugestão: fazer uma análise gráfica, e depois fazer a otimização dos parâmetros para minimizar o erro quadrático médio.

## 11.7 Circuito equivalente dos transformadores para instrumentos

Os transformadores para instrumentos, de tensão e de corrente, são elementos essenciais na medição elétrica ou eletrônica. Nesta prova, vamos determinar o circuito equivalente dos transformadores para instrumentos, usando os conceitos adquiridos e consolidados nas provas anteriores, mas de uma forma mais exata. Vamos determinar as impedâncias do circuito equivalente, adquirindo-se as curvas de tensão e corrente do transformador bem saturado, e alimentado na frequência industrial, mas distorcida (Fig. 1).

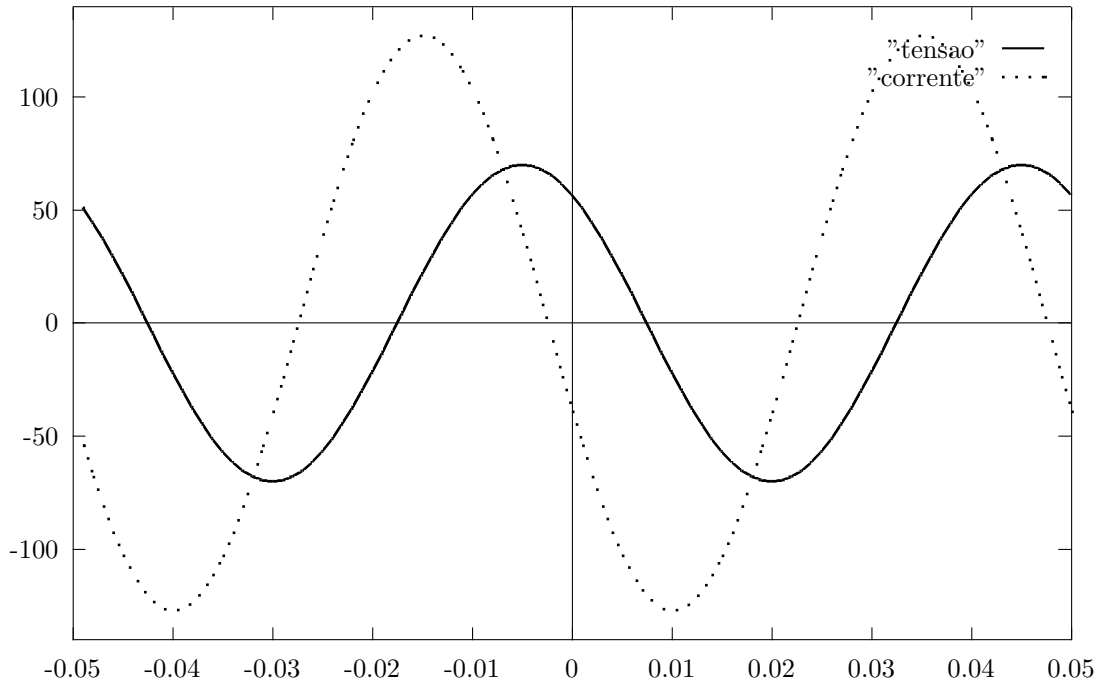


Figure 11.7: Curvas de corrente no primário e tensão no primário e no secundário (referida ao primário) em função do tempo (em segundos). Desprezar a corrente no secundário. O transformador possui 2569 espiras no primário e 137 no secundário.

Calcular o circuito equivalente da Fig.2 para cada componente harmônica  $n$  da tensão e corrente, e depois os parâmetros de Steinmetz e Langevin (ver prova 6).

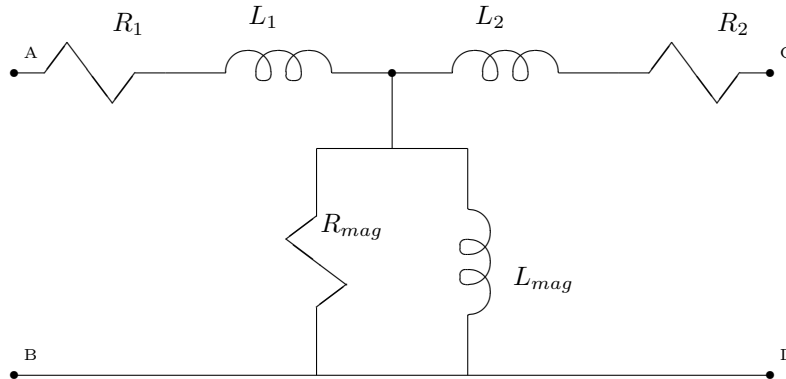


Figure 11.8: Circuito equivalente do transformador.

## 11.8 Projeto e especificação de transformadores para instrumentos

Após revermos a teoria geral do transformador, podemos analisar os transformadores para instrumentos, determinando os fatores de correção da relação FCR e os ângulos de defasagem entre as tensões ou correntes do primário ao secundário. Vamos abordar alguns exemplos, na forma de problemas.

### 11.8.1 Projeto de transformadores

#### Bobina com núcleo de ferro

Uma bobina com núcleo magnético de ferro laminado está ligada a uma rede de corrente alternada com a tensão  $U = 110$  V, e a frequência  $f = 60$  Hz. Tal bobina absorve a potência de  $P = 66$  W, e nela circula a corrente de  $I = 2$  A. A sua resistência é  $R = 1.5\Omega$  (do cobre). Determinar:

- A potência aparente;
- O fator de potência;
- A potência reativa;
- A corrente ativa;
- A corrente reativa;
- As perdas no cobre;
- As perdas no ferro;
- A queda de tensão puramente resistiva;
- A f.e.m. de autoindução;
- A resistência ativa, incluindo as perdas no ferro;
- A reatância;
- A indutância;
- A impedância total;
- A corrente de excitação devida às perdas no ferro;
- A corrente magnetizante  $I_m$ ; e
- O diagrama fasorial.

#### Projeto de um transformador

Considere o núcleo apresentado na Fig.1. Considere que o material é M45, na indução de 1 T, e que o enrolamento suporta 2 A/mm<sup>2</sup>. Os outros dados são:

- $a = 5$  cm,  $b = 6$  cm,  $c = 2.2$  cm,  $d = 3.2$  cm, e  $e = 1.6$  cm;
- Fator de empilhamento do núcleo = 0.85;
- Fator de ocupação da janela = 0.40

Determinar:

- A potência nominal do transformador;
- Projetar um transformador com relação de 10 / 1;
- Calcular o circuito equivalente do transformador; e
- Analisar a possibilidade de utilizá-lo como TP ou TC, calculando os erros de relação e de defasagem, relacionando com as especificações, para determinar a classe do transformador.

### 11.8.2 Projeto de TP e TC

#### FCR e $\beta$ do TC

Um TC com relação nominal 600/5 tem 2 espiras no primário e 237 no secundário. A carga que está sendo usada no secundário tem ângulo de fase de  $55^\circ$ . Uma força magnetomotriz de 10 Ae, e defasada de  $15^\circ$  do fluxo é necessária quando a corrente secundária está no valor nominal de plena carga com a carga

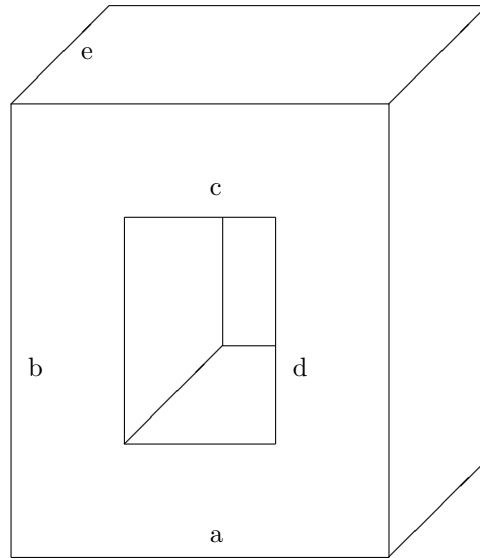


Figure 11.9: Núcleo do transformador.

particular usada nesse ensaio. Desenhe o diagrama fasorial e com base no mesmo calcule o FCR e o erro do ângulo de fase.

### Escolha do TC

Um engenheiro deve escolher um tipo de transformador de corrente (TC A ou TC B) e um tipo de wattímetro (WA ou WB), com as características dadas abaixo. Quais os dois instrumentos que você escolheria para medir o fluxo de potência em uma linha trifásica de 100 kW, FP 0,866 indutivo, em 380 V?

TC A: 250/5;  $\beta = 24'$ ; FCR=1.005

TC B: 500/5;  $\beta = 15'$ ; FCR=1.0015

WA: 440 V FE; 5 A FE;  $\alpha = 8'$ .

WB: 480 V FE; 2,5 A FE;  $\alpha = 2'$ .

## 11.9 Medidores de energia, demanda e fator de potência

Nesta seção vamos consolidar os conhecimentos sobre medidores de energia, demanda e de fator de potência. Vamos abordar alguns exemplos, na forma de problemas, incluindo uma revisão de circuitos trifásicos, pois estes medidores são normalmente trifásicos.

### 11.9.1 Medição do fator de potência em circuitos trifásicos

Com as tensões de um sistema trifásico e as leituras de  $W_A = 150.00$  W e  $W_B = 230$  W, qual é a potência lida no wattímetro  $W_C$  (Corrente da fase C e tensão AB)? Qual é a potência reativa total? Qual é o fator de potência?

### 11.9.2 Método dos dois wattímetros

Um sistema trifásico 3 fios, 380 V, 60 Hz, fornece corrente a uma carga equilibrada de 50 A e  $FP = 0.8$  capacitivo. A bobina de corrente do wattímetro está ligada na fase A e a sua bobina de tensão é ligada

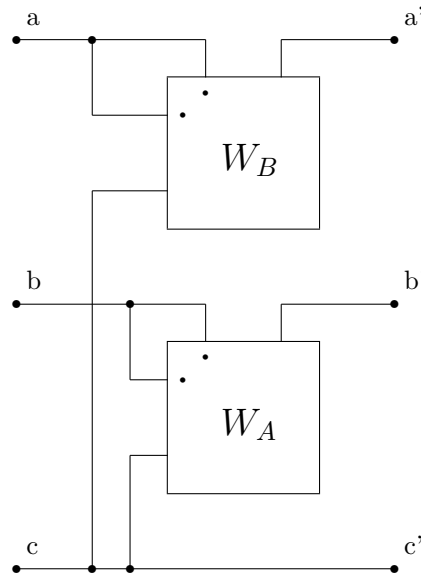


Figure 11.10: Ligação de dois wattímetros.

entre A e B. Pergunta-se:

- Diagrama fasorial mostrando os ângulos de defasagem das tensões e correntes.
- Potência ativa do circuito.
- Potência reativa do circuito.
- Leitura do wattímetro.
- Leitura de um varímetro ligado conforme o wattímetro anterior.

### 11.9.3 Sistema trifásico a quatro fios

Desenhar o diagrama fasorial e determinar o fator de potência de um sistema trifásico onde

- $V_{AN} = 100.00$  V com ângulo de  $0.00^\circ$
- $V_{BN} = 100.00$  V com ângulo de  $-120.00^\circ$
- $V_{CN} = 100.00$  V com ângulo de  $120.00^\circ$
- $I_{AN} = 4.00$  A com ângulo de  $-45.00^\circ$
- $I_{BN} = 2.00$  A com ângulo de  $-120.00^\circ$
- $I_{CN} = 5.00$  A com ângulo de  $180.00^\circ$ .

### 11.9.4 Medição de energia, demanda e FP

#### Aferição de um medidor de energia

Um medidor de energia possui  $k_c = 2.4$  Wh/rotação.

- Durante o intervalo de 192.93 s, com fator de potência unitário na carga, o medidor apresentou 42 revoluções, e o wattímetro padrão mediu 100.00 W.
- Durante o intervalo de 200.00 s, com carga indutiva, o medidor apresentou 50 revoluções, e o wattímetro padrão mediu 50.00 W.
- Durante o intervalo de 160.00 s, com carga leve, o medidor apresentou 20 revoluções, e o wattímetro padrão mediu 10.00 W.

Calcular e analisar o consumo mensal (30 dias) de uma carga que usa este medidor, e que tem a seguinte curva de carga típica:



- 10000 W, com FP 0.85 indutivo, ligado 20 % do período;
- 2000 W, com FP 0.65 indutivo, ligado 40 % do período;
- 500 VAr capacitivos, conectado permanentemente à rede.

### Medição industrial

Um consumidor possui as seguintes cargas:

a. Um motor assíncrono, 10 HP (potência útil no eixo), com rendimento de 85 %,  $FP = 0.90$  indutivo, ligado em triângulo, e regime de funcionamento das 12:00 às 22:00 horas, intermetentemente em 10 minutos (trabalha 10 e folga 10 minutos);

b. Outras cargas de potência nominal total de 3 kVA, fator de potência 0.87 indutivo, operando das 08:00 às 23:00 horas.

Determinar:

- o consumo mensal de energia ativa;
- o consumo mensal de energia reativa;
- o fator de potência;
- a demanda; e
- o fator de carga.

## 11.10 Medição em circuitos trifásicos com transformadores para instrumentos

Sabendo-se que a tensão  $AB$  está adiantada  $130.0^\circ$  da tensão  $CB$ , determinar o fluxo de potência ativa e reativa pela linha, e desenhar o diagrama fasorial das tensões e correntes.

Dados:

- TP: relação nominal  $.2300\text{E}+06 / .1100\text{E}+03$ , classe  $.6000\text{E}+00$ ,  $fcr = 1.10012$ , e  $\gamma = 0.41666$ .
- TC: relação nominal  $.1000\text{E}+03 / .5000\text{E}+01$ , classe  $1.2000\text{E}+01$ ,  $fcr = 0.90512$ , e  $\beta = -0.24613$ .
- $V_1 = 98.00 \pm 1.50 \text{ V}$ ,  $V_2 = 83.50 \pm 1.10 \text{ V}$ , e  $V_{ab}$  está  $235.00 \pm 2.50^\circ$  adiantada de  $V_{cb}$ .
- $W_1 = 198.00 \pm 2.50 \text{ W}$ ,  $W_2 = -283.60 \pm 3.10 \text{ W}$ ,  $\alpha_W = -0.10012^\circ$ .
- $VAr_1 = -78.00 \pm 0.90 \text{ VAr}$ ,  $VAr_2 = 180.30 \pm 2.00 \text{ VAr}$ ,  $\alpha_{VAr} = 0.24403^\circ$ .

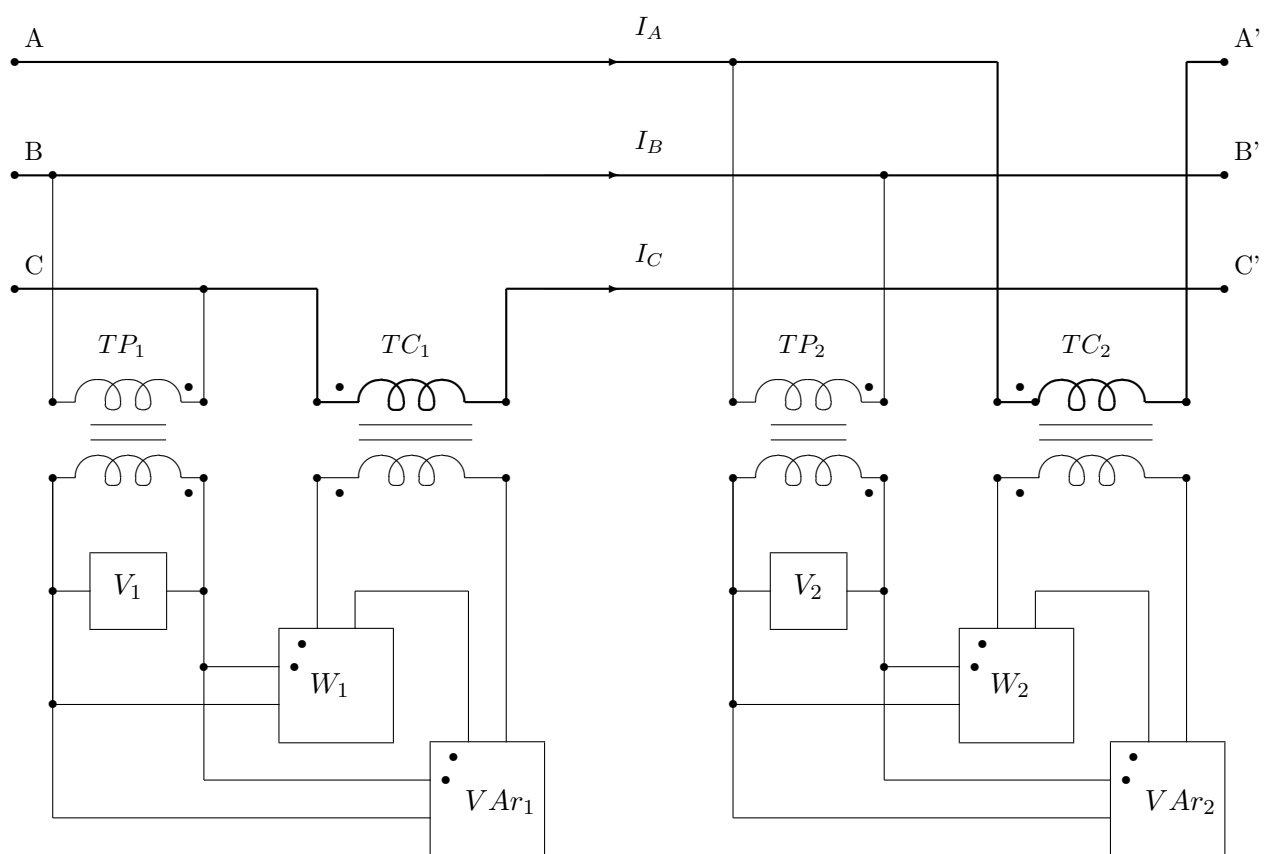


Figure 11.11: Quadro de medição com dois elementos, a três fios.

Leitura	$t$ [s]	$v_1(t)$ [V]	$v_2(t)$ [V]	$i(t)$ [A]
1	.0000E+00	20.3035	-17.9115	110.3269
2	.1667E-03	15.6865	-20.7209	108.0910
3	.3333E-03	10.7289	-23.3461	105.1092
4	.5000E-03	5.4019	-25.8076	101.3308
5	.6667E-03	-.3270	-28.1457	96.7222
6	.8333E-03	-6.4854	-30.4121	91.2683
7	.1000E-02	-13.0882	-32.6604	84.9736
8	.1167E-02	-20.1276	-34.9368	77.8632
9	.1333E-02	-27.5665	-37.2706	69.9822
10	.1500E-02	-35.3324	-39.6672	61.3955
11	.1667E-02	-43.3148	-42.1032	52.1860
12	.1833E-02	-51.3664	-44.5251	42.4528
13	.2000E-02	-59.3074	-46.8508	32.3090
14	.2167E-02	-66.9336	-48.9752	21.8779
15	.2333E-02	-74.0276	-50.7784	11.2905
16	.2500E-02	-80.3723	-52.1360	.6815
17	.2667E-02	-85.7651	-52.9310	-9.8148
18	.2833E-02	-90.0324	-53.0652	-20.0677
19	.3000E-02	-93.0431	-52.4700	-29.9543
20	.3167E-02	-94.7187	-51.1152	-39.3628
21	.3333E-02	-95.0405	-49.0140	-48.1953
22	.3500E-02	-94.0526	-46.2252	-56.3712
23	.3667E-02	-91.8602	-42.8507	-63.8282
24	.3833E-02	-88.6236	-39.0296	-70.5248
25	.4000E-02	-84.5476	-34.9292	-76.4400
26	.4167E-02	-79.8684	-30.7320	-81.5740
27	.4333E-02	-74.8377	-26.6230	-85.9467
28	.4500E-02	-69.7062	-22.7753	-89.5970
29	.4667E-02	-64.7076	-19.3369	-92.5798
30	.4833E-02	-60.0435	-16.4196	-94.9638
31	.5000E-02	-55.8725	-14.0909	-96.8283
32	.5167E-02	-52.3018	-12.3698	-98.2593
33	.5333E-02	-49.3833	-11.2263	-99.3460
34	.5500E-02	-47.1145	-10.5852	-100.1771
35	.5667E-02	-45.4431	-10.3338	-100.8367
36	.5833E-02	-44.2755	-10.3325	-101.4013
37	.6000E-02	-43.4869	-10.4268	-101.9363
38	.6167E-02	-42.9348	-10.4616	-102.4933
39	.6333E-02	-42.4707	-10.2933	-103.1085
40	.6500E-02	-41.9528	-9.8020	-103.8007
41	.6667E-02	-41.2557	-8.8999	-104.5710
42	.6833E-02	-40.2780	-7.5373	-105.4024
43	.7000E-02	-38.9461	-5.7044	-106.2606
44	.7167E-02	-37.2158	-3.4296	-107.0956
45	.7333E-02	-35.0692	-.7739	-107.8430
46	.7500E-02	-32.5105	2.1768	-108.4271
47	.7667E-02	-29.5587	5.3218	-108.7635
48	.7833E-02	-26.2402	8.5568	-108.7623
49	.8000E-02	-22.5808	11.7841	-108.3317
50	.8167E-02	-18.5995	14.9219	-107.3816
51	.8333E-02	-14.3035	17.9115	-105.8269
52	.8500E-02	-9.6865	20.7209	-103.5910
53	.8667E-02	-4.7289	23.3461	-100.6092
54	.8833E-02	.5981	25.8076	-96.8308
55	.9000E-02	6.3269	28.1457	-92.2222



# Part III

## Análises



## Chapter 12

# Análise eletromagnética

Antes de iniciarmos a análise eletromagnética propriamente dita, precisamos definir as variáveis que utilizaremos.

A densidade de corrente  $\vec{J}$  é:

$$\vec{J} = \frac{I}{\vec{S}} \quad (12.1)$$

onde:

$\vec{S}$  - vetor normal (ou ortogonal unitário) à superfície  $S$

$$\vec{S} = S\vec{n}$$

$I$  - intensidade de corrente elétrica que tem direção ortogonal ao plano formado pela seção transversal  $S$ .

Exemplos

1. Calcular a corrente de um fio circular de  $4 \text{ mm}^2$ , se a densidade de corrente é  $J = 10 \text{ A/mm}^2$ .

### 12.0.1 Exercícios

Os exercícios seguintes fazem parte de um curso de análise eletromagnética com 30 encontros ou aulas.

#### Sistemas de coordenadas

Fazer a conversão de coordenadas para os seguintes números: Complete a tabela, enumerando suas re-

Sist.inic.	a	b	c	Sist.final	a	b	c
Carteziana	8.70	-16.50	5.60	Cilíndrica			
Carteziana	-9.10	15.00	36.20	Esférica			
Esférica	44.10	-12.50	38.90	Cilíndrica			

spostas, de 01(um) a 09(nove). Obs.: Todos os ângulos são dados em radianos, e as respostas devem ir de -90 a 270 graus.

#### Operações com vetores

Com os vetores:

$$\vec{A}(-.1, -4.3, -.6)$$

$$\vec{B}(-1.8, .5, 2.6)$$

$$\vec{C}(1.4, -2.1, 2.8)$$

$$\vec{D}(2.0, -1.9, 1.3)$$

Calcular:

a)  $(\vec{A} \times \vec{B}) \cdot (\vec{D} \times \vec{C})$

b) O módulo de  $(\vec{A} + \vec{C}) \times (\vec{D} - \vec{B})$

c) O ângulo da projeção de  $\vec{B}$  no plano  $xy$ , com o eixo  $x$ , de -90 a 270 graus.

d) O ângulo de  $\vec{C}$  com o eixo  $z$ , em graus.

e) O ângulo de  $\vec{A}$  com  $\vec{D}$ , em graus.

### Equações diferenciais e gradiente

Determinar o vetor da aceleração

$$\vec{a} = \dots \vec{i} + \dots \vec{j}$$

no instante de tempo  $t = .7500\text{E-}02$  s; com velocidade angular constante  $\omega = 118.8$  rad/s.

O corpo segue a trajetória  $r = .4870\text{E}+02\phi$  metros.

Supor que a temperatura de certa região do espaço seja descrita pela equação

$$f(x, y, z) = A\left(\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} + \frac{z^2}{4}\right)^\circ\text{C}.$$

Encontrar a taxa de variação da temperatura no ponto  $(3.4, -3.2, 2.1)$  com a direção  $(-4.7, -1.2, 2.4)$  ( $1/\sqrt{6}$ ).

O valor de  $A = -50.00^\circ\text{C}/\text{m}^2$ .

### Fluxo da integral de superfície

Se a densidade de corrente é:  $\vec{J}(-1, -4.3, -.6)$  A/mm<sup>2</sup>, encontre a corrente  $I$  através de um triângulo com vértices, em centímetros,

$(-3.1, .8, 4.3)$ ,  $(2.3, -3.6, 4.7)$ , e  $(3.4, -3.2, 2.1)$  cm.

Qual é o fluxo magnético em uma superfície circular centrada na origem, e disposta no plano  $xz$ , com raio 2.6 cm, com indução magnética, em Tesla,

$$\vec{B} = .5\cos(215.6t)\vec{i} + .5\sin(215.6t)\vec{j} + .5\vec{k}$$

no instante de tempo  $t = .027$  segundos.

### Integrais de volume, superfície e linha

Um sólido  $Q$  é delimitado pelo cone  $z = \sqrt{x^2 + y^2}$  e pelo plano  $z = 5.3$ . A densidade em  $P(x, y, z)$  é igual a  $.1400\text{E}+01$  vezes o quadrado da distância da origem a  $P$ . Calcule a sua massa.

Dado o vetor

$$\vec{A} = r\cos\phi\vec{i}_r - r\sin\phi\vec{i}_\phi$$

em coordenadas cilíndricas, calcule o fluxo deste vetor num volume limitado pelos planos  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = -6.0$  e  $z = 2.6$ , e pelo cilindro  $r = 6.0$ .

Qual é o trabalho realizado para deslocar 9.3 metros na direção do eixo  $x$ , um corpo sujeito a uma força

$$\vec{F} = .750\text{E} + 04y\vec{i} + .210\text{E} + 04x\vec{j} + .970\text{E} + 04\vec{k}\text{N},$$

a partir de  $(2.70, 6.70, 6.28)$  m, ao longo do caminho,  $z = x^3 - 2y$ , e  $y^2 = (x + 4)^2$ .



## Divergente

Calcular para o ponto  $P(-1, -4.3, -6)$ , a divergência de cada um dos seguintes campos:

- (a)  $\vec{F}_1 = xze^{2y}(z\vec{i} + xz\vec{j} + x\vec{k})$ ;  
 (b)  $\vec{F}_2 = (x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k})/\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ ;  
 (c)  $\vec{F}_3 = 0.2\vec{i} - 0.6\vec{j} + 0.35\vec{k}$ ;  
 (d)  $\vec{F}_4 = xy^2z^3(\vec{i} + 2.0\vec{j} + 3.0\vec{k})$ .

Dado  $\vec{E} = -6.2y\vec{i} + 1.6x\vec{j} + 8.5\vec{k}$  V/m, determine o trabalho necessário para deslocar uma carga de  $-4.7$  C desde  $P_1(2.3, -3.6, 4.7)$  até  $P_2(3.4, -3.2, 2.1)$

## Gradiente e rotacional

Encontre o vetor unitário ortogonal ao plano  $10.00x - 18.60y + 9.10z = 4.50$ .

Resposta:  $\vec{u} = \dots\vec{i} + \dots\vec{j} + \dots\vec{k}$ .

Calcular o vetor de campo elétrico  $\vec{E}$  no ponto  $P(.80, 35.40, 5.90)$  m.

Resposta:  $\vec{E} = \dots\vec{i} + \dots\vec{j} + \dots\vec{k}$ . V/m.

Seja a função potencial vetor magnético  $\vec{A} = V \times 10^{-2}\vec{k}$  Wb/m, onde  $V$  pode ser visto no mesmo gráfico da figura 12.1.

Qual é a indução magnética no ponto  $x = 2.5$  m,  $y = -15.0$  m, e  $z = 8.0$  m?

Resposta:  $\vec{B} = \dots\vec{i} + \dots\vec{j} + \dots\vec{k}$ . tesla.

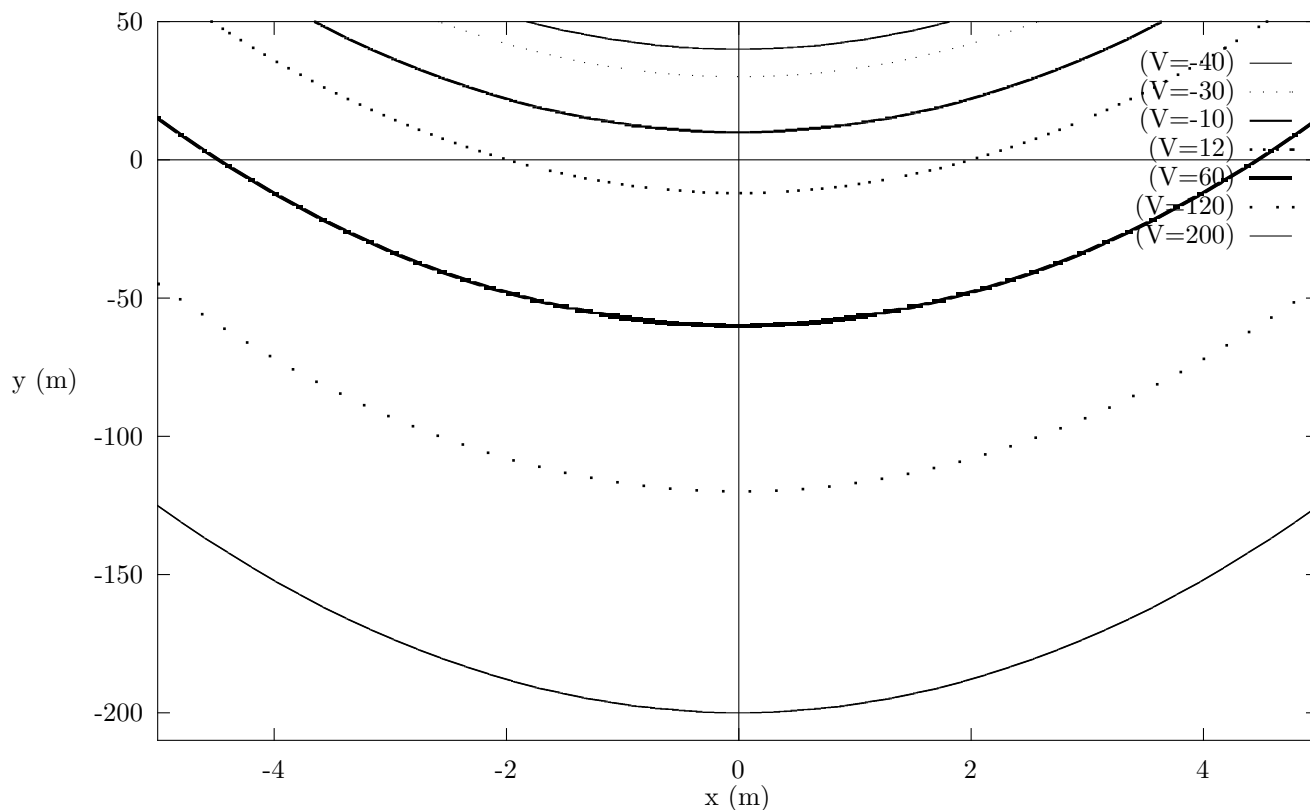


Figure 12.1: Linhas Equipotenciais

### Lei de Coulomb e Campo Elétrico

Um longo fio cilíndrico, reto, de diâmetro muito pequeno, é colocado no espaço livre, e possui uma carga  $Q$  por unidade de comprimento. Usando a lei do inverso do quadrado das distâncias, entre um ponto distante  $x$  do centro do fio, que é muito maior que o diâmetro do fio, definir qual é a forma das superfícies equipotenciais, e qual é a diferença de potencial entre dois pontos distantes  $x_1$  e  $x_2$  do fio condutor? Se  $Q = -.1000E-09$  coulomb por metro,  $x_1 = .40$  cm e  $x_2 = 15.70$  cm, qual é a diferença de potencial entre os dois pontos?

Qual a força necessária para mover uma carga elétrica de  $-.4300E-07$  C num campo elétrico uniforme de  $.8000E+03\vec{j}$  V/m. Digitar a amplitude.

Qual o trabalho realizado pela força da questão anterior, para mover a carga da origem até o ponto  $P(x, y, z) = (4.3, 2.3, -3.6)$  m.

### Capacitor esférico

Se a densidade de carga elétrica é:  $\rho = .4000E-09/r^2$  C/m<sup>3</sup>, em uma casca esférica com raios  $r_1 = 5.3$  cm e  $r_2 = 5.9$  cm, qual é a intensidade do campo elétrico na superfície externa da casca? A constante dielétrica é 1.5.

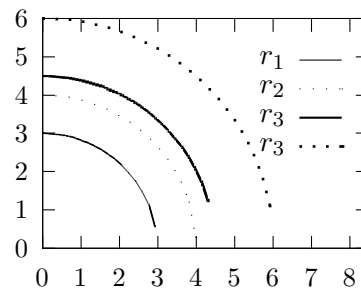


Figure 12.2: Detalhe da seção transversal.

Um condutor tipo cabo coaxial, cuja seção transversal com duas camadas condutoras e isolantes, é apresentada na figura 12.2. A constante dielétrica do isolante é 1.5. A rigidez dielétrica do isolante é 880.000000kV/cm.

As dimensões dos raios são:  $r_1 = 3.1$  mm,  $r_2 = 13.9$  mm,  $r_3 = 16.8$  mm,  $r_4 = 29.1$  mm.

Qual a máxima carga linear do cabo? Sugestão: ver onde o campo elétrico é máximo.

Qual a tensão de deste equipamento? Sugestão: integrar o campo elétrico.

Qual a capacitância por metro de cabo?

### Dielétricos

Um Um dispositivo constitui-se de duas placas condutoras planas paralelas, alimentadas com tensão senoidal de 2 V e corrente de 0.5 A eficaz, em 1 kHz. Inserindo-se uma folha de papel entre as placas a corrente passa para 2.3 A sob a mesma tensão e frequência. O que se pode concluir com estes dados? Qual é a constante dielétrica deste papel?

Dado que  $\vec{E}_1 = 2\vec{i} - 3\vec{j} + 5\vec{k}$  V/m, chegando no plano  $4x - 3y + z = 2$ , para a interface dielétrica sem cargas livres, encontre  $\vec{D}_2 = \dots\vec{i} + \dots\vec{j} + \dots\vec{k}$ .

Um capacitor a ar com capacitância 0.005 microfarad é conectado a uma linha de corrente contínua de 500 volts, desconectado, e então imerso num óleo com constante dielétrica 2.5 . Calcular a energia armazenada no capacitor antes e depois da imersão no óleo. Respostas: Antes ... J, e depois ... J.

## Constante Dielétrica

Um capacitor de placas planas paralelas de 8.0 nF tem uma área de  $1.51 \text{ m}^2$  distantes de 1.0 mm, com um isolante de constante 2.5. Determinar:

- A intensidade do vetor indução elétrica;
- A intensidade do vetor polarização elétrica;
- A intensidade do campo elétrico.

Dois cilindros têm placas formadas por círculos de 8.0 cm de raio, separados pela distância de 1.0 mm. Que cargas aparecem nas placas se entre elas for aplicada a diferença de potencial de 100 V ?

A constante dielétrica da Ebonite é 2.8, e sua rigidez dielétrica vale  $18.106 \text{ V/m}$ . Qual a menor área que podem ter as placas de um capacitor plano de  $7.0\text{E-}2$  microfarad, usando a ebonite como dielétrico, para que este suporte uma diferença de potencial de 4000 V.

## Seleção de dielétricos

Calcule a capacitância de um capacitor constituído por dois cilindros concêntricos de raios  $a$  e  $b$  ( $a < b$ ) e de altura  $h$ . O dielétrico entre os dois cilindros possui constante dielétrica igual a 3.0.

Um capacitor de placas paralelas com área de  $0.30 \text{ m}^2$  e separação de 5.5 mm, contém três dielétricos com interfaces normais  $\vec{D}$  e  $\vec{E}$ , como segue:  $\eta_{r1} = 3.0$ ,  $d_1 = 1.0 \text{ mm}$ ;  $\eta_{r2} = 4.0$ ,  $d_2 = 2.0 \text{ mm}$ ;  $\eta_{r3} = 6.0$ ,  $d_3 = 2.5 \text{ mm}$ . Encontre a capacitância.

## Otimização de dielétricos

A figura mostra, simplificada, o problema do isolamento de um transformador de energia elétrica, entre as bobinas de AT e BT com um cilindro isolante dividindo o canal de dispersão de fluxo em dois canais de óleo.

Sendo ( $\rho$  as constantes dielétricas, respectivamente, do óleo e do papelão (cilindro) e  $V_p$  a tensão de prova (ensaio), pode-se calcular os gradientes de potencial  $E_{\text{óleo}}$  e  $E_p$  no óleo e papelão, admitindo-se que o campo, entre AT e BT seja uniforme.

A tensão aplicada entre BT e AT deverá ser igual à soma das tensões nos canais de óleo e no cilindro de papelão.

Assim, determinam-se os gradientes de potencial no óleo e no papelão. Estes gradientes não podem ser superiores aos gradientes de ruptura do óleo e/ou do papelão nas condições de sobretensões de ensaio, e conseqüentemente de operação.

Utiliza-se um coeficiente de segurança que depende do projeto. Vamos adotar 1.8.

Observa-se pelas expressões que o gradiente será maior no material com menor constante dielétrica.

Qual a tensão de ensaio do transformador, em kV?

## Distribuição de cargas elétricas

Três cargas puntiformes de valor 1.0, 2.0 e 3.0 C estão situadas nos nós de um triângulo equilátero com 1 m de lado. Calcular o trabalho realizado para deslocar estas cargas para um triângulo equilátero com  $1/2$  m de lado, como se mostra na figura.

Sejam três fios retos, infinitos, e paralelos, conforme mostra-se na figura. Uma bateria foi conectada conforme a figura, e depois retirada do sistema. Considere que cada fio tenha seção  $25 \text{ mm}^2$ , a distância entre os seus centros seja igual a 0.5 m, e a fonte CC seja de 120 V. Qual o valor de  $x$ , e a quantidade de carga  $q$  acumulada por metro de linha?

Sejam quatro cargas puntiformes distribuídas nos pontos  $P_1(0,0,0)$ ;  $P_2(3,0,0)$ ;  $P_3(0,2,0)$ ;  $P_4(2,3,0)$ . As cargas 1 e 4 foram conectadas ao terminal positivo de uma bateria de 12 V, enquanto as cargas 2 e 3 foram conectadas ao terminal negativo. Qual é a carga "acumulada em cada ponto"?

### Triângulos para Elementos Finitos

Sejam os vetores  $\vec{A} = e$  e  $\vec{B} =$ . Qual a área de um triângulo tendo os vetores  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  como dois lados?

Sendo conhecidas as coordenadas cartesianas e os potenciais de três pontos, determinar o campo elétrico médio no triângulo.

	1	2	3
Coordenadas (m)	-1.70	36.00	-7.80
Potencial (V)	80.	100.	50.

### Introdução à magnetostática

Quantas espiras são necessárias para produzir uma indução de 1 T num entreferro de 3.7 mm , quando pelo condutor se delocam 3.8 A.

Um núcleo laminado possui comprimento médio de 12.6 cm, e permeabilidade relativa 4890.00. Qual o número de espiras necessário para produzir uma indução de 1.3 T, quando pelo condutor se delocam 1.0 A.

### Leis de Ampère e Biot-Savart

Calcular a intensidade do campo magnético no centro do sistema de coordenadas, se uma bobina retangular com uma única espira está colocada no plano  $xy$ , passando 47.8 ampère nos lados colocados em  $x = -17.3$  cm,  $x = -2.8$  cm,  $y = -12.5$  cm, e  $y = 3.2$  cm.

Helmholtz, ligou duas bobinas circulares com mesmo raio, em série, dispostas com os seus eixos em comum, e observou que a intensidade do campo magnético no eixo, e na metade entre as duas bobinas possui gradiente nulo num trecho ao longo do eixo. Considerando  $N = 167$  espiras,  $i = 13.4$ A, calcular o campo quando o raio  $a = .6$  m. As duas bobinas estão associadas para superposição do campo. A distância entre as duas bobinas é igual ao raio.

### Força magnética

Dois condutores paralelos estão afastados 5.5 cm, a uma diferença de tensão 80 V eficaz, na frequência de 60 Hz, e ângulo de fase 0.0 graus. O primeiro condutor é percorrido por uma corrente alternada, de 5.8 A, com ângulo de fase 55.3 graus. O segundo condutor é percorrido por 8.9 A, com ângulo de fase 173.7 graus, tomando o mesmo sentido das correntes no circuito. Qual a intensidade e o sentido das forças atuando em cada condutor? (obs: se for atração: digitar valor positivo, se for repulsão: digitar valor negativo.) Resposta: primeiro condutor: ..... N, segundo condutor: ..... N.

Duas bobinas são dispostas uma ao lado da outra, com seus eixos alinhados, colocadas no ar. As duas bobinas são percorridas por uma corrente  $I$ , de forma que a força entre elas é de repulsão. Completar a tabela com o sinal da energia (1 = fornece energia; 0 = não troca energia; -1 = recebe energia). Um agente externo realiza força em sentido contrário à força magnética.

Caso	$Bob_1$	$Bob_2$	$F_{externa}$
Inverte $I_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
Aproxima $Bob_2$	$R_6$	$R_7$	$R_8$

## Indutâncias própria e mútua

Deduzir a equação da indutância por metro de comprimento, para uma linha de transmissão constituída por um cabo coaxial com raio interno  $a$  e raio externo  $b$ , com corte esquematizado na figura.

Calcular a indutância mútua entre um fio infinito e o circuito retangular da figura.

## Materiais Magnéticos

Considerando  $\vec{H} = 1400.0\vec{i} - 4500.0\vec{j}$  A/m, e o tensor de relutividade igual a

$$||\nu|| = \begin{bmatrix} \eta & -\xi \\ \xi & \eta \end{bmatrix}$$

onde  $\eta = .700E+04$  m/H, e  $\xi = .610E+03$  m/H.

Determinar o vetor de magnetização  $\vec{M} = ..... \vec{i} + ..... \vec{j}$  A/m.

Considerando que a curva de saturação seja representada pela função de Langevin, com parâmetros

$M_S = .308E+06$  A/m,  $a = .108E+03$  A/m, e  $\alpha = .935E-03$ ,

calcular para a indução de .28 tesla:

a) o campo magnético  $H$  [A/m]; e,

b) a permeabilidade relativa diferencial  $\mu_r$ .

## Curva de histerese magnética

Considerando que a energia dissipada por histerese seja a equação:

$$W = W_h + W_c = K_S B^\beta + K_C f B^2$$

onde  $K_S = 3.70$  W/kg (em 50.0 Hz) é o coeficiente de Steinmetz,  $\beta = 1.600$  é o expoente da indução, e  $K_C = .216E-02$  J s / kg T<sup>2</sup> é o coeficiente de perdas por correntes induzidas de Foucault. Determinar a potência dissipada em .00378 m<sup>3</sup> de material magnético; quando está operando em 68.10 Hz, com indução de pico igual a .80 T. A densidade do ferro é 7.652 kg/litro.

Considerando a curva de histerese dada na tabela determinar a densidade de energia magnética absorvida pelo material, em J/m<sup>3</sup>, para passar do ponto 1 ao ponto 8.

Table 12.1: Curva de Histerese

Ponto	Indução (T)	H (A/cm)
1	.00	.00
2	.28	4.86
3	.73	9.60
4	.55	3.88
5	.37	-.58
6	.55	3.15
7	.83	7.07
8	1.10	9.82

Ponto	Indução (T)	H desmag. (A/cm)
1	0.65	4.0
2	0.59	12.0
3	0.52	20.0
4	0.43	28.0
5	0.31	36.0
6	0.14	44.0

### Ímã permanente

A curva de desmagnetização de uma amostra de ímã-permanente, após imantado, é apresentada na tabela.

A densidade de fluxo usada no entreferro de um instrumento de medida é escolhida para 0.09 weber por metro quadrado. O comprimento do entreferro único é 0.12 cm, e a área do entreferro é 10 centímetros quadrados. Para obter a permanência necessária, a relação da área do entreferro dividido pelo seu comprimento é igual a 300 vezes a área do ferro dividida pelo seu comprimento. Considerando que o fluxo de dispersão seja igual ao fluxo útil no entreferro, calcule o comprimento necessário e a seção transversal do ímã permanente.

### Leis de Faraday e Ohm

Qual é a tensão induzida num enrolamento com 1 cm<sup>2</sup> de seção, quando a indução magnética varia uniformemente de 2.5 T para 1.0 T em 1 ms?

O elemento de aquecimento de uma certa torradeira elétrica consiste de uma tira de certa qualidade de Nicromo, cujo comprimento é .9 m e a seção reta mede 10.90 mm por 1.20 mm, com uma condutividade de 0.92E+04 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )<sup>-1</sup>. Determine a energia dissipada num dia, em kWh, quando ligamos uma fonte de 120 V cc.

### Circuitos Magnéticos em CA

O núcleo magnético representado na figura foi alimentado com tensão senoidal eficaz de 58.80 V, em 52.60 Hz, e a corrente eficaz circulante é 25.70 A. O enrolamento possui 929 espiras, profundidade  $e = 1.6$  cm, e entreferro  $g = 1.9$  mm. Pergunta-se:

- O fluxo magnético circulante de pico.
- A indução magnética de pico no ar.
- A indução magnética de pico no ferro.
- A força magneto motriz de pico.
- O campo magnético de pico no ar.
- O campo magnético de pico no ferro.
- A permeabilidade magnética relativa do ferro.
- A máxima energia magnética armazenada.
- A indutância nos terminais do enrolamento.

### Equações de Maxwell

Suponha que exista um campo oscilante na superfície superior de uma arruela metálica.

- Calcule a profundidade de penetração  $\gamma$ .
- Calcule a potência média dissipada por efeito Joule na peça.

Dados:  $R_i = 1.0$  cm,  $R_e = 1.7$  cm,  $B_0 = 1.0$  T,  $\sigma = .57\text{E}+08$  ( $\Omega \cdot \text{m}$ )<sup>-1</sup>,  $f = 64.80$  Hz,  $e = 1.70$  mm, e  $\mu_r = 1.60$ .

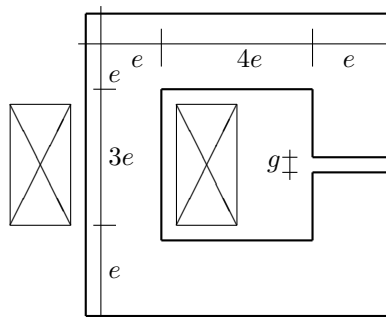


Figure 12.3: Circuito magnético em CA

### Correntes induzidas

O disco de cobre abaixo, se encontra sob a ação da indução  $\vec{B}(r, t) = B_0(r/R)\text{sen}\omega t$ . Calcule:

- a densidade de corrente induzida  $J(r, t)$ ;
- a corrente induzida  $I(t)$  no disco ( $B_0 = 0,5 \text{ T}$ , ( $= 5,8.107 ((.m)^{-1}$ ,  $R = 1 \text{ cm}$ ,  $e = 1 \text{ mm}$ ,  $F = 50 \text{ Hz}$ ))
- a potência média dissipada no disco por efeito joule com os dados numéricos acima.

### Dimensionamento de um cabo de energia

Calcular a seção e o número de fios  $n$  de cada condutor de um cabo trifásico, usado para transmitir 80 MW em 130 kV, com mínimo custo, sabendo-se que o preço da energia elétrica é 58 U\$/MWh, e o preço de fabricação do cabo é  $5.0(0.5n + 1) \text{ U\$/m/mm}^2$ , e, devido ao efeito pelicular, a corrente se distribui em cada fio pela equação  $J = J_{max}(e^{r/\gamma} - 1)$ , onde:  $n$  = número de fios de cada condutor do cabo,  $\sigma = 6.1\text{E}+7 (\Omega\text{m})^{-1}$ , e  $\gamma = 2.3 \text{ mm}$ .

### Circuito do medidor de energia

Aplicando-se 220 V, tensão senoidal eficaz, e a corrente de 35 A, atrasada da tensão de 23 graus elétricos, resulta no fluxo de tensão  $\phi_V$  e no fluxo de corrente  $\phi_I$ . A frequência  $f$  é 60 Hz. Determinar a amplitude e a defasagem de cada fluxo em relação à tensão.

### Energia eletromagnética num solenóide

O objetivo do solenóide da figura 12.4 é elevar a peça móvel  $P$ , cuja massa é  $m$ . Considere que o fluxo nos entreferros (1) e (2) sejam uniformes.

Calcule a força resultante nas direções axial e radial.

Dados:  $L = R_3 - R_2$ ,  $R_1 = 1 \text{ cm}$ ,  $R_2 = 3 \text{ cm}$ ,  $R_3 = 3.2 \text{ cm}$ ,  $e = 3 \text{ mm}$ ,  $nI = 2000 \text{ Ae}$ ,  $m = 25 \text{ kg}$ , e  $z = 2 \text{ cm}$ .

### Circuito RLC passo-a-passo no tempo

Quando um capacitor de  $200 \mu\text{F}$  é descarregado sobre o quadro de Epstein, com resistência série equivalente de  $1.5 \Omega$ , observa-se a curva tempo-corrente no gráfico da figura 12.5. Determinar os parâmetros da curva de saturação  $M_S$ ,  $a$  e  $\alpha$ . O comprimento do caminho magnético é  $L_m = 94 \text{ cm}$ , a seção é  $S_m = 105.0\text{E}-6 \text{ m}^2$ , e  $N = 700$  espiras.

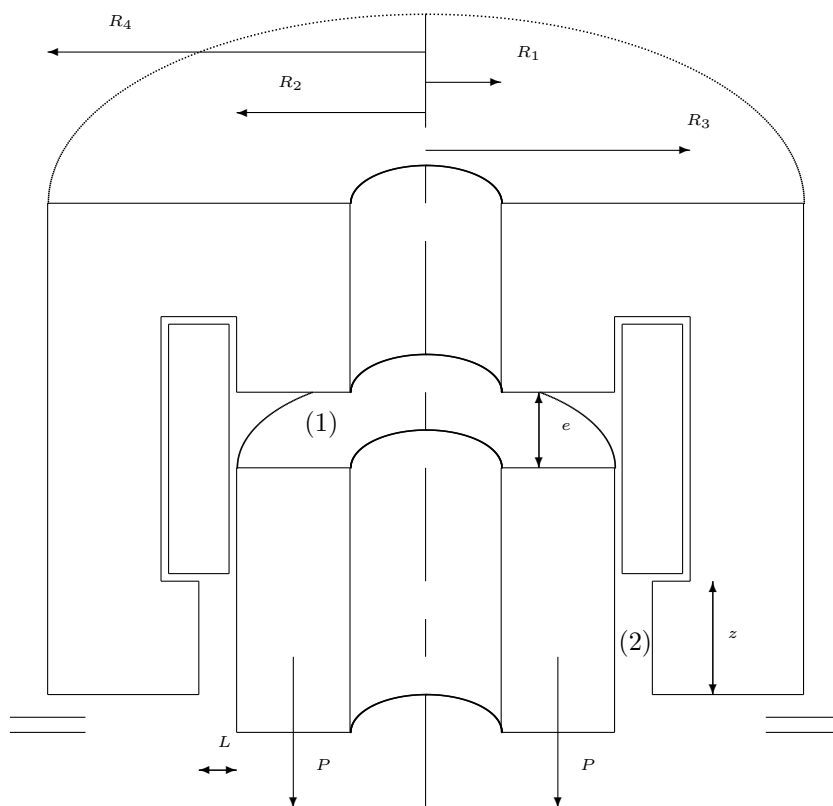


Figure 12.4: Diagrama do solenóide

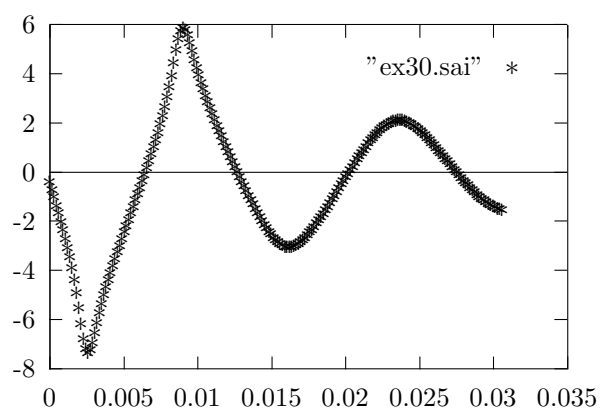


Figure 12.5: Curva de corrente x tempo



## Chapter 13

# Análise de viabilidade econômica e ambiental

*“A importância da conservação ambiental no mundo globalizado alcança patamares cada dia mais elevados nas empresas.”*  
(CREA-RS em Revista, Setembro 2004, n.1, p.17)

A engenharia era definida, até alguns anos atrás, como técnica x custo (ou lucro?). No outro capítulo veremos que hoje não é bem assim - entra os aspectos ambientais e políticos. Mas entretanto, e certamente, um investimento não pode ser um déficit.

Um sistema em equilíbrio ecológico pode ser projetado e construído sem cálculos avançados, usando apenas a experiência, um lápis e um pequeno pedaço de papel. Entretanto, muito tempo poderá ser ganho fazendo-se a sua otimização com o auxílio do computador, como veremos nesta seção.

### 13.1 O equilíbrio ecológico

Para tanto, inicialmente, vamos rever a teoria sobre ajuste de curvas pelo método dos mínimos quadrados, que é a base do algoritmo de Lawson-Hanson, visto a seguir.

#### 13.1.1 Introdução ao Método dos Mínimos Quadrados

Utiliza-se o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) quando se deseja encontrar, através de tabelas de valores normalmente obtidos em experiências práticas, uma função que melhor se aproxime desses valores. O problema do ajuste de curvas no caso em que temos uma tabela de valores  $(x_1, f(x_1)), (x_2, f(x_2)), \dots (x_m, f(x_m))$  pertencentes a um intervalo  $[a, b]$ , consiste em:

- "escolher"  $n$  funções  $g_1(x), g_2(x), \dots g_n(x)$  contínuas em  $[a, b]$ . A escolha das funções  $g(x)$  pode ser feita observando se o gráfico dos pontos tabelados ou baseando se em fundamentos teóricos que envolvam o experimento físico que nos ofereceu os dados tabelados.

- obter  $n$  constantes  $\alpha_1, \alpha_2, \dots \alpha_n$  tais que a função  $f(x)$  se aproxime ao máximo de  $\phi(x)$ , dada por:

$$\phi(x) = \alpha_1 g_1(x) + \alpha_2 g_2(x) + \dots + \alpha_n g_n(x) \quad (13.1)$$

O Método dos Mínimos Quadrados consiste em encontrar  $\alpha_j$ 's de tal forma que a soma dos quadrados dos desvios entre a função original real  $f(x)$  e a aproximada  $\phi(x)$ , denominada  $F$  seja mínima. Isto é:

$$(f(x_k) - \phi(x_k))^2 = F \quad (13.2)$$

e, substituindo a função aproximada  $\phi(x_k)$

$$F = \sum [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x) - \alpha_2 g_2(x) - \dots - \alpha_n g_n(x)]^2 \quad (13.3)$$

Sabe-se que para obter o ponto de mínimo da função  $F$  acima faz-se a sua derivada parcial em relação a cada parâmetro.

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha_j} \Big|_{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n} \quad (13.4)$$

$$2 \sum [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x) - \alpha_2 g_2(x) - \dots - \alpha_n g_n(x)] [-g_j(x_k)] = 0 \quad (13.5)$$

Assim:

$$j = 1 \rightarrow \sum [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x) - \dots - \alpha_n g_n(x)] [-g_1(x_k)] = 0$$

$$j = 2 \rightarrow \sum [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x) - \dots - \alpha_n g_n(x)] [-g_2(x_k)] = 0$$

.....

$$j = n \rightarrow \sum [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x) - \dots - \alpha_n g_n(x)] [-g_n(x_k)] = 0$$

Que é um sistema linear com  $n$  equações e  $n$  incógnitas  $1, 2, \dots, n$ .

O sistema linear acima pode ser escrito na forma matricial  $A\alpha = b$ :

$$a_{11}\alpha_1 + \dots + a_{1n}\alpha_n = b_1$$

$$a_{21}\alpha_1 + \dots + a_{2n}\alpha_n = b_2$$

.....

$$a_{n1}\alpha_1 + \dots + a_{nn}\alpha_n = b_n$$

Onde  $b_i$  é tal que

$$b_i = \sum f(x_k) g_i(x_k)$$

Exemplo 1: Dada a tabela de valores abaixo, obtida em algum experimento físico, obter a função que melhor se aproxime a estes valores:

$i$	1	2	3	4	5	6
$x$	-1.00	-0.75	-0.6	-0.5	-0.3	0
$F(x)$	2.05	1.153	0.45	0.4	0.5	0
$i$	7	8	9	10	11	
$x$	0.2	0.4	0.5	0.7	1.0	
$F(x)$	0.2	0.6	0.512	1.2	2.05	

O gráfico de  $F(x)$  sugere aproximar a função tabelada por uma parábola passando pela origem. Desta forma é natural escolhermos uma função  $g_1(x) = x^2$  e procurarmos  $f(x) = ax^2$ . A solução:  $f(x) = 2,064x^2$ ; é a parábola que melhor se aproxima, no sentido de Mínimos Quadrados da função tabelada.

Dizemos que este é um modelo matemático linear porque os coeficientes a determinar  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  aparecem linearmente, embora as funções  $g_1(x), g_2(x), \dots, g_n(x)$  possam ser funções não lineares de  $x$ , como por exemplo,  $g_1(x) = e^x$ ,  $g_2(x) = (1 + x^2)$ , etc.

### 13.1.2 Caso Não-Linear

Em alguns casos a família de funções escolhidas pode não ser linear nos parâmetros, como por exemplo se o diagrama de dispersão se ajustar a uma função exponencial do tipo  $f(x) = \alpha_1 e^{-\alpha_2 x}$ . Neste caso, para se aplicar o MMQ, é necessário que se efetue a linearização do problema através de alguma transformação conveniente. No caso anterior pode-se fazer o seguinte:

$$Z = \ln f(x) = \alpha_1 - \alpha_2 x$$

Esta nova equação é um problema linear nos parâmetros  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , e o MMQ pode ser aplicado na resolução do problema linearizado.

Obtidos os parâmetros deste problema, usaremos eles para calcular os parâmetros originais. No exemplo, estamos ajustando  $\ln f(x)$  por quadrados mínimos e não diretamente  $f(x)$ . Portanto os parâmetros  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  são os que se ajustam a função  $\ln(x)$  no sentido de quadrados mínimos; e não pode se afirmar  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  são os que ajustam  $(x)$  à  $f(x)$  dentro do critério de quadrados mínimos.

Veremos, na seção seguinte, um método que permite ajustar funções não lineares diretamente, dentro do critério de quadrados mínimos.

### 13.1.3 Definição da função objetivo

A definição do objetivo é o ponto fundamental. Por exemplo, uma empresa tem como função objetivo: maximizar o lucro. Assim, definido o objetivo calculam-se as intensidades e fluxos do sistema por programação linear.

$$\text{Maxim} F = c_1 Y_1 + c_2 Y_2 + \dots + c_n Y_n$$

sujeito a:

$$\sum a_{ij} X_j \leq 0$$

onde:  $C_i, a_{ij}$  - coeficientes da função objetivo e das restrições.

Assim, como resultado desta otimização, o homem progressista pensa sempre em produzir mais, para vender mais, para ganhar mais, para comprar mais, e assim por diante. Este modelo está sofrendo sérias restrições, tanto pela carência de recursos humanos, energéticos, de água, ... como pela destruição do planeta.

Sem entrar em muitas interrogações filosóficas, vamos diretamente à prática, fazendo a pergunta: Qual é a função objetivo do sistema? Seria o máximo lucro, a máxima energia, ou coisas assim?

Vamos ver o caso de uma bolinha que é colocada sobre duas superfícies curvas. Na superfície convexa (máximo), a bolinha escorrega facilmente do equilíbrio chamado instável. Na superfície côncava (mínimo), a bolinha poderá sofrer pequenos deslocamentos, que ela escorregará para o ponto de equilíbrio estático. Um grande distúrbio levará a bolinha para um outro mínimo local.

Agora pensemos que esta bolinha é o planeta terra, ou uma região definida. O ponto de mínimo corresponde ao menor desperdício, onde tudo é renovado eficientemente, e não existe sobra. Neste ponto tudo se encaixa perfeitamente, e o que é liberado por uns é aproveitado por outros.

Para atingir o ponto ótimo deve-se seguir por um caminho, a ser escolhido entre vários. Sugere-se optar pelo de mínimo desperdício. Em contraste com isto empresas vão à falência, recursos não renováveis são depredados, e muitas pessoas vivem à margem do desenvolvimento.

### 13.1.4 Descrição do algoritmo

Este algoritmo permite encontrar os parâmetros de uma função linear, do tipo:

$$\text{Minim} \vec{F} = \vec{A}\vec{X}$$

onde  $\vec{F}$  é um vetor de dimensão  $n$  e  $\vec{A}$  uma matriz de dimensão  $m \times n$ .

Tem-se uma matriz real  $[A(m \times n)]$  de 'rank'  $k \leq \min(m, n)$ , e uma matriz-vetor real  $[F]$  de ordem  $m$ , para encontrar um vetor real  $[X]$  que minimiza o comprimento euclidiano (ou a norma) de  $[AX - F]$ .

Inicialmente, deve-se montar as matrizes  $[F]$  e  $[A]$ , conforme explica-se a seguir.

### 13.1.5 Montagem das matrizes

Os vetores e matrizes do algoritmo de Lawson-Hanson são:

- a)  $[x]$  é o vetor das variáveis ou parâmetros do sistema;
- b)  $[F]$  é um vetor coluna com todas as variáveis de fluxo,
- c)  $[A]$  é uma matriz de rendimentos de cada bloco, onde as colunas são as dimensões de cada variável de  $[x]$ .

## 13.2 Viabilidade técnico econômica

Um sistema equilibrado é composto de vários componentes, com unidades de volume, potência nominal, área, e outras quantidades físicas. Cada um destes componentes possui múltiplas entradas e saídas perfeitamente mensuráveis, com coeficientes de rendimento lineares.

O sistema auto-sustentável deve ter um retorno do capital, isto é, deve ser vantajoso economicamente. Devido à grande densidade energética, os adubos químicos custam muito para os produtores, de forma que compensa comprar energia elétrica antes de adubos. Sabe-se que existe uma quantidade de adubo ideal para as plantas, que é próximo do solo nativo. Para atingir este nível de adubação toda a biomassa deve ser "reciclada" em menor tempo possível, sem objetivar inicialmente excedente energético. Pode-se mesmo comprar energia elétrica para o bombeamento da biomassa, pois ter-se-ia vantagem econômica. A aplicação prática é evidente, pois este processo pode ser um dos fatores para o desenvolvimento regional.

Existirá uma série de restrições, tais como o capital inicial total, a área total de terra, as pessoas, o balanço energético e hídrico, etc.

## 13.3 Estudo de caso: um sistema rural alternativo

Estuda-se o caso de uma família rural composta de seis pessoas, proprietária de uma área de 10 hectares. Procura-se obter os parâmetros do sistema que resulte em máxima confiabilidade de obter sucesso na atividade agro-industrial.

Para tanto, considera-se os dados de preço dos produtos obtidos no comércio local. As necessidades energéticas e de adubos da atividade agrícola são obtidas do Seminário de Energia na Agricultura.

Inicialmente, montou-se a matriz energética da família. Verificou-se experimentalmente todas as entradas e saídas de cada bloco apresentado a seguir.

### 1. Capacidade de produção de uma padaria caseira

- Entradas:
  - 1000 lt água/dia
  - 2 kWh eletr/dia
  - 30 kWh calor/dia
  - 3 lt leite/dia
  - 3 dúzias ovos/dia
  - 1 kg açúcar/dia
  - 30 kg farinha/dia

- 28 horas/semana
  - Saídas:
    - 60 pães/dia ou 21900 \$/ano
2. Um hectare de trigo
- Entradas
    - 500 \$/ano
    - 360 kg adubo/ano
    - 3 horas/semana
  - Saídas
    - 180 kg trigo/ano
    - 8.2 t biomassa/ano
3. Um hectare de milho
- Entradas
    - 200 \$/ano
    - 180 kg adubo/ano
    - 2 horas/semana
  - Saídas
    - 4200 kg milho/ano
    - 13.7 t biomassa/ano
4. Um hectare de cana-de-açúcar
- Entradas
    - 100 \$/ano
    - 2 horas/semana
  - Saídas
    - 46904 kg cana/ano
    - 27.4 t biomassa/ano
5. Uma cabeça de gado
- Entradas
    - 20 \$/ano
    - 100 lt água/dia
    - 3650 kg cana/ano
    - 3 horas/semana
  - Saídas
    - 10 lt leite/dia
    - 10 t biomassa/ano
6. Número de aves (galinhas)
- Entradas

- 3 \$/ano
- 8.4 kg milho/ano
- 0.1 horas/semana
- Saídas
  - 0.06 dúzias ovos/dia
  - 0.18 t biomassa/ano

7. Capacidade do engenho de cana-de-açúcar

- Entradas
  - 30 \$/ano
  - 1000 kg cana/ano
  - 200 lt água/dia
  - 3 kWh eletr/dia
  - 10 kWh calor/dia
  - 1 hora/semana
- Saídas
  - 0.3 kg açúcar/dia

8. Capacidade do moinho de trigo

- Entradas
  - 40 \$/ano
  - 1800 kg trigo/ano
  - 4 kWh eletr/dia
  - 0.5 hora/semana
- Saídas
  - 4.5 kg farinha/dia

9. Potência nominal da bomba d'água (kVA)

- Entradas
  - 20 \$/ano
  - 1000 lt água nível inferior/dia
  - 2 kWh eletr/dia
- Saídas
  - 1000 lt água/dia

10. Volume do biodigestor ( $\text{m}^3$  biogás/dia)

- Entradas
  - 15 \$/ano
  - 1480 lt água/dia
  - 10 t biomassa/ano
  - 0.5 horas/semana
- Saídas

- 3650 kg adubo/ano
- 1.48 m<sup>3</sup> biogás/dia

## 11. Fogão ou caldeira gerador de vapor (unidade)

- Entradas
  - 5 \$/ano
  - 1 m<sup>3</sup> lenha/mes
  - 1000 lt água/dia
  - 7 horas/semana
- Saídas
  - 124 kWh calor/dia

## 12. Grupo motor Otto - gerador de energia elétrica (kVA)

- Entradas
  - 33 \$/ano
  - 1 m<sup>3</sup> biogás/dia
- Saídas
  - 5.55 kWh eletr/dia

## 13. Turbina a vapor

- Entradas
  - 20 \$/ano
  - 100 kWh calor/dia
  - 5.5 horas/semana
- Saídas
  - 3 kWh eletr/dia

## 14. Área de reflorestamento - árvores (ha)

- Entradas
  - 1.5 horas/semana
- Saídas
  - 1000 lt água nível inferior/dia
  - 10.9 t biomassa/ano
  - 0.5 m<sup>3</sup> lenha/mes

## 15. Uma família com 4 (quatro) pessoas (Vetor do lado direito)

- Entradas:
  - 1000 \$/ano
  - 500 lt água/dia
  - 4 kWh eletr/dia
  - 10 kWh calor/dia
  - 3 lt leite/dia

- 1 dúzia ovos/dia
- 0.5 kg açúcar/dia
- 1 kg farinha/dia
- 0.1 m<sup>3</sup> biogás/dia
- Saídas:
  - 96 horas/semana

O passo seguinte foi calcular os parâmetros, ou capacidades de cada bloco apresentado anteriormente. Para isto, usou-se dois métodos:

a) Método de lucro máximo - resolveu-se o sistema apresentado por programação linear, usando o algoritmo do Simplex. Esta é a forma clássica de cálculo, característico do pensamento progressista. Os resultados podem ser vistos na tabela seguinte. O valor da função objetivo, ou seja, o máximo lucro anual é de \$ 19818.91.

b) Método do lucro mínimo - resolveu-se o sistema anterior usando o método dos mínimos quadrados, usando o algoritmo de Lawson-Hanson. Os resultados podem ser vistos na tabela seguinte. O lucro anual é ZERO, mas com diferenças significativas nos parâmetros.

Table 13.1: Resultados comparativos dos dois métodos.

$i$	Nome	Lucro máximo	Lucro zero
1	Pães /dia	70	5.18
2	Trigo	7.95 ha	0.7984 ha
3	Milho	0.15 ha	0.0419 ha
4	Cana	0.45 ha	0.0670 ha
5	Gado	0.65 rês	0.3259 rês
6	Aves	74.64 aves	20.98 aves
7	Engenho	5.52 un	1.95 un
8	Moinho	7.95 un	0.79 un
9	Bomba	14.6 kVA	6.25 kVA
10	Biogás	10.1 m <sup>3</sup> /dia	0.081 m <sup>3</sup> /dia
11	Caldeira	0.83 un	5.23 un
12	Motor-Ger	14.5 kVA	1.30 kVA
13	Maq.Vapor	0.00 kVA	6.17 kVA
14	Árvores	1.87 ha	9.8248 ha



## Chapter 14

# O compromisso ético e social

*“Mais que de máquinas, precisamos de humanidade”*  
(Charles Chaplin)

Um dos resultados da 60<sup>a</sup>. SOEAA foi a Declaração de Brasília, que sela um compromisso dos profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia com a atuação ética e social.

O texto foi apresentado e aprovado por unanimidade durante a solenidade de encerramento da SOEAA, no dia 12 de dezembro de 2003, em Brasília. O evento, que reuniu cerca de duas mil pessoas de todo país, teve como tema central “Cenários de Futuro para o Brasil” e partir daí, reunidos em quatro painéis, profissionais e representantes de entidades classes debateram os “Cenários Prospectivos para o Desenvolvimento Mundial e Brasileiro”, “Desafios e Oportunidades em Tempos de Crise” e os “Novos Paradigmas da Formação do Exercício Profissional”.

A Declaração de Brasília, assim como o programa da SOEAA, evidenciam a preocupação com a questão social e ética para o desenvolvimento do país, em que os profissionais da engenharia, arquitetura e agronomia desempenham papel relevante.

Para o presidente do Confea, eng. Wilson Lang, a Declaração de Brasília reflete o momento que os profissionais vivem. “A carta consolida-se numa afirmação ética e social, compromisso do nosso Sistema, e faz com que todos os profissionais se conscientizem da importância que temos no desenvolvimento do país”

O texto faz uma retrospectiva de momentos importantes para o desenvolvimento do país e do Sistema Confea/Crea. São citados desde o descobrimento do Brasil até a criação dos sistemas profissionais na década de 30. Na declaração, os profissionais assumem como prioridade cinco valores e cinco compromissos para “construção de uma humanidade mais tolerante, pacífica e feliz”.

Confira o texto integral da Declaração de Brasília:

### 14.1 Declaração de Brasília dos integrantes do Sistema Confea/Creas

*Os profissionais brasileiros, reunidos nesta data em Brasília para a realização da 60a Semana Oficial da Engenharia, Arquitetura e Agronomia, conscientes do momento histórico nacional e sensíveis às demandas sociais e profissionais, subscrevem a presente Declaração.*

*Alguns momentos emblemáticos da história do País e do Sistema Confea/Creas merecem citação e reverência nesta abertura:*

*- O do descobrimento do Brasil, em 1500, quando aqui aportaram as caravelas de Pedro Álvares Cabral transportando os cartógrafos e os artífices da famosa Escola de Sagres, que fixaram de forma indelével os primeiros marcos do exercício de nossas profissões neste continente;*

- O do surgimento de um construtivo *sprit* de corps, simbolicamente localizado em 11 de setembro de 1862, quando os engenheiros e os engenheiros-arquitetos atuantes no Brasil criaram no Rio de Janeiro a primeira associação profissional do País, o Instituto Polytechnico Brasileiro;

- O da regulamentação profissional e da criação do sistema de entidades de caráter público, incumbido de controlá-la e aperfeiçoá-la, por meio do Decreto Federal 23.569 editado em 11 de dezembro de 1933, quando o sistema profissional organizado deu início à potencialização de suas ações em prol do desenvolvimento sócio-econômico do país;

- O de 11 de dezembro de 2003, quando os engenheiros, arquitetos, engenheiros agrônomos, geólogos, geógrafos, meteorologistas, tecnólogos e técnicos, em ato solene no transcurso da 60a SOEAA e à vista dos novos desafios e oportunidades que permeiam os vários cenários do desenvolvimento brasileiro, reafirmam seus valores e compromissos históricos, éticos e sociais.

O descobrimento acresceu a dimensão da história, à geografia do novo território. Sobre o "status" colonial, que perdurou por 315 anos, a terra e a gente foram submetidas aos rigores de uma exploração predatória que as relegou à condição de objeto, e não de sujeito, dessa mesma história. Tal situação perdurou até 1815, quando a Colônia foi elevada à condição de Reino Unido.

A partir de 1822, de forma lenta mas já na condição de nação independente, tiveram seqüência os acontecimentos que fundamentaram a construção institucional de nossas profissões, tanto em relação à formação regular de seus integrantes como à criação e ao funcionamento de suas entidades representativas precursoras.

No período republicano, apenas com o advento da modernização do Estado Brasileiro após a Revolução de 30, é que surgiram os sistemas profissionais organizados sob a égide do interesse público e sob a inspiração da defesa social. E sob esse manto de legalidade e de legitimidade pôde o Sistema Confea/Creas, ao longo dos últimos 70 anos, desenvolver os papéis e realizar ações inerentes às suas finalidades sociais, de um lado, e aos anseios ético-profissionais, de outro.

E neste momento de solene comemoração septuagenária, quando homenageamos alguns daqueles que muito contribuíram para a construção de nossas instituições sócio-profissionais e após cuidadosamente prospectar os futuros plausíveis de nosso país - repletos de desafios e de oportunidades - vimos reafirmar valores já consensuados pelo universo profissional, estabelecendo uma agenda dos compromissos cidadãos que merecem tanto o penhor de nossas assinaturas como a convergência convicta de nossas melhores energias e ações.

Eis aqui, sintetizado, o rol de valores e de compromissos que consubstanciam a Declaração de Brasília, que os participantes da 60a SOEAA, orgulhosos e decididos, ora apresentam aos colegas de todo o Brasil e à sociedade brasileira:

Quanto aos Valores:

1. O homem - como valor supremo, a quem se destina finalmente todo o esforço dos profissionais na permanente construção do seu bem estar;

2. A cultura técnico-científica - como fundamento instrumental da ação profissional, meio eficaz e objeto de conservação, divulgação e constante evolução do saber;

3. A honra - como valor paradigmático de conduta e princípio de convivência social justa, leal, digna e cidadã;

4. A pluralidade - como condicionante do convívio democrático, fator enriquecedor da relação humana construtiva e característica intrínseca do sistema das profissões científico-tecnológicas;

5. A eficácia - como diretriz da realização do ideal profissional, visando a garantia de alcance de resultados propostos, com qualidade e segurança.

Quanto aos Compromissos:

1. Com a Nação brasileira - pelo resgate e preservação de sua memória e cultura, pela manutenção de seus valores e riqueza e pela construção de seu futuro;

2. Com a cidadania - pelo cumprimento dos deveres reclamados de cada um e de todos, pelo pleno exercício dos direitos assegurados e pela responsável participação democrática nas questões de interesse

comum;

3. Com a sustentabilidade - pela ação responsável sobre o meio natural e construído, garantindo o seu equilíbrio e preservação, em benefício das gerações atual e futura;

4. Com a valorização profissional - pela luta em prol da afirmação da identidade das profissões e da plena inserção social e econômica dos seus profissionais e

5. Com a ética - pela prática consciente, honesta, justa e leal dos misteres das profissões, a serviço da construção de uma humanidade mais tolerante, pacífica e feliz.

Que esta Declaração seja incluída nos Anais da 60a SOEAA e, por meio de todos os recursos de mídia, seja divulgada junto ao universo profissional e levada ao conhecimento de cada cidadão deste País.

Brasília, 11 de dezembro de 2003.

## 14.2 Atitude política ou técnica?

O pensamento linear considera que:

- a) A 'ordem' e a Educação geram mão-de-obra;
- b) Mão-de-obra gera criatividade e ciência;
- c) Ciência gera tecnologia;
- d) Tecnologia gera crescimento econômico e progresso;
- e) Progresso gera desenvolvimento social, e ordem, fechando o ciclo.

Se olharmos rapidamente vemos que foi bem pensado. Entretanto, este ciclo não acontece ou inicia por acaso. É preciso muito 'suor', 'esforço' e política.

Enquanto muitas pessoas afirmam que os problemas de nossa sociedade se resolvem com ciência, tecnologia e economia - a outra parte afirma que não existe uma solução técnica, mas apenas política.

O que realmente precisamos é não superestimar ou endeusar uma ou outra. Vamos ficar no meio termo, tendo as ferramentas e as soluções técnicas na mão (ou na mente), prontos para apresentar e discutir politicamente com a sociedade, e 'bater o martelo' sobre os rumos de nosso futuro.

Portanto, precisamos ter um profundo conhecimento técnico para não deixarmos passar de apresentar a resposta quando a situação exigir. E como vimos, a sociedade está continuamente pedindo nossa participação.

A sociedade está investindo grandes quantidades nas escolas e universidades. E, depois de "formado", o especialista acaba enchendo a terra de venenos, o organismo das pessoas e dos animais de drogas, o mercado de produtos sem a mínima qualidade, servindo apenas para aumentar o volume dos lixões. Será que estamos tão dependentes assim, que não somos capazes de sair deste INFERNO? Ou será que o CÉU pode ser experimentado nesta desorganização? Mesmo que você não tenha uma resposta imediata, não se pode fechar os olhos. Nesta situação, o que se perderia se **fecharem as universidades e 'minas de diplomas'**? Certamente, quase nada se perderia em termos de Felicidade, e os poucos recursos que temos poderiam ser investidos em algo mais urgente.

Entretanto, se as escolas, as universidades, e os profissionais que por ela passam, desejam contribuir realmente para a solução dos nossos problemas, não resta dúvida que todo o esforço e voto de confiança deve ser dado. Tomando-se como exemplo o trabalho de vários técnicos, que estão fazendo equipamentos e projetos para geração de energia elétrica com qualidade, em pequenas quantidades (anti-gigantismo), usando fontes renováveis. É um trabalho que precisa ser feito, e recursos humanos e materiais devem ser aplicados, independente do custo. Um simples cálculo mostrará que este investimento logo será recuperado.

Caro(a) leitor(a): é tudo o que tínhamos para o momento! Um abraço!



# Bibliography

- [1] ALMEIDA Jr, J.M.G., *Carajás, Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento*, Ed. Brasiliense, Brasília, 1986.
- [2] BECKER, D. F., *Desenvolvimento Sustentável: necessidade e/ou possibilidade*, EDUNISC, 2002.
- [3] BAZZO & PEREIRA, *Introdução à Engenharia*, Ed. da UFSC, Florianópolis, 1996.
- [4] BECKER, I., *Pequena História da Civilização Ocidental*.