

João Mamede Filho

**Instalações
ELÉTRICAS
industriais**

6a
edição

LTC

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

Esta 6^a edição vem atender aos requisitos impostos pela publicação da Norma Brasileira NBR-5410/97, que traz significativos avanços na segurança e racionalidade dos projetos de instalação elétrica. Além dessa atualização normativa, a maioria dos capítulos sofreu profundas alterações de conteúdo no sentido de esclarecer e detalhar assuntos relevantes. A estrutura do livro manteve-se praticamente a mesma, devendo-se registrar a troca das posições dos Capítulos 2 e 3 por motivos puramente didáticos. Além disso criou-se o Capítulo 14 – Automação Industrial –, cujo assunto vem crescendo em interesse e importância com a modernização do parque industrial brasileiro em busca de maior eficiência e competitividade.

Merece registro também a introdução de dezenas de fotos de materiais e equipamentos em basicamente todos os capítulos, notadamente no Capítulo 9, o que permite ao leitor um melhor entendimento do assunto abordado.

Cada vez mais procurou-se aprimorar o texto de modo a satisfazer às exigências dos estudantes que recorrem a este livro visando agregar conhecimentos à sua formação acadêmica e dos profissionais de engenharia elétrica que buscam informações úteis e necessárias ao desenvolvimento de projetos de instalações elétricas industriais.

ISBN 85-216-1286-9



LTC LIVROS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS EDITORA

9 788521 612865

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

João Mamede Filho

Engenheiro eletricista

Ex-Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1988–1990)

Ex-Diretor de Operação da Companhia Energética do Ceará – Coelce (1991–1994)

Ex-Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1995–1998)

Ex-Presidente do Comitê Coordenador de Operações do Norte-Nordeste – CCON

Ex-Presidente da Nordeste Energia S.A. – NERGISA (1999–2000)

Atual Presidente da CPE – Consultoria e Projetos Elétricos

Professor de Eletrotécnica Industrial da Universidade de Fortaleza – UNIFOR (1979 – data atual)

6^a Edição

De acordo com a Norma Brasileira NBR 5410/97

**LTC
EDITORAS**

No interesse de difusão da cultura e do conhecimento, o autor e os editores envidaram o máximo esforço para localizar os detentores dos direitos autorais de qualquer material utilizado, dispondo-se a possíveis acertos posteriores caso, inadvertidamente, a identificação de algum deles tenha sido omitida.

Capa: Dan Palatnik

Direitos exclusivos para a língua portuguesa
Copyright © 1995, 1997, 2001 e 2002 by João Mamede Filho
LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
Travessa do Ouvidor, 11
Rio de Janeiro, RJ – CEP 20040-040
Tel.: 21-2221-9621
Fax: 21-2221-3202

Reservados todos os direitos. É proibida a duplicação ou reprodução deste volume, no todo ou em parte, sob quaisquer formas ou por quaisquer meios (eletrônico, mecânico, gravação, fotocópia, distribuição na Web ou outros), sem permissão expressa da Editora.

Este trabalho é dedicado à

memória de meu pai, João Mamede Souza;

minha mãe, Maria Nair Cysne Mamede;

minha esposa, Maria Elizabeth Ribeiro Mamede;

minha filha, Aline Ribeiro Mamede – graduada em Administração de Empresas;

meu filho, Daniel Ribeiro Mamede – estudante do Curso de Engenharia Elétrica.

PREFÁCIO À 5.^a EDIÇÃO

É sempre conveniente que, ao se encerrar qualquer edição de um livro técnico, o autor incorpore à edição que se segue as sugestões recebidas e as anotações feitas ao longo do tempo, na busca de aperfeiçoar o texto.

Não foi necessária nenhuma alteração de forma ou estrutura do livro, mantendo-se os mesmos assuntos na seqüência tradicional dos capítulos, desde a sua primeira edição.

Tomado de satisfação por acreditar que esta obra está contribuindo na formação profissional de milhares de jovens, espero continuar recebendo o mesmo estímulo de todos aqueles que nos prestigiaram, destacando-se aqui alunos, professores e profissionais.

Quero mais uma vez levar o meu agradecimento aos fabricantes de materiais elétricos, citados ao longo do texto, que gentilmente permitiram a reprodução de tabelas e gráficos de suas propriedades, dando um conteúdo prático aos exemplos de aplicação normalmente apresentados logo depois de estudado um assunto específico.

João Mamede Filho

PREFÁCIO À 6.^a EDIÇÃO

A publicação da nova edição da Norma Brasileira NBR-5410/97 tornou obrigatória uma revisão profunda deste livro a fim de adequá-lo às novas exigências desse importante documento normativo que trouxe significativos avanços na elaboração de projetos de instalações elétricas.

O livro manteve sua concepção anterior. No entanto, basicamente todos os capítulos sofreram alterações, sempre no sentido de esclarecer ou aprofundar determinados assuntos. Foi acrescentado mais um capítulo, o de número 14, **Automação Industrial**, que se fazia necessário em virtude da modernização por que vem passando o parque industrial brasileiro, tornando premente alcançar elevados níveis de eficiência em uma economia globalizada.

Gostaríamos de acrescentar que as inúmeras alterações desta edição são resultado da colaboração e do incentivo dos estudantes de engenharia e dos profissionais da área. Acreditamos assim estar contribuindo para a formação da nossa juventude estudantil e passando informações úteis àqueles que já estão no mercado de trabalho oferecendo à sociedade toda a sua capacidade técnica e habilidades profissionais adquiridas ao longo do tempo.

Temos o dever de levar nossos profundos agradecimentos aos fabricantes de materiais elétricos citados ao longo do texto, que gentilmente permitiram a reprodução de tabelas e gráficos de sua propriedade, dando um conteúdo prático aos exemplos de aplicação normalmente apresentados logo depois de abordado um assunto específico. Sem essa contribuição a obra seria incompleta e perderia aquilo que melhor procuramos preservar ao longo de todas as edições, que é associar a teoria à prática.

João Mamede Filho

SUMÁRIO

1 – ELEMENTOS DE PROJETO, 1

- 1.1 – Introdução, 1
- 1.2 – Normas recomendadas, 2
- 1.3 – Dados para elaboração do projeto, 2
- 1.4 – Concepção do projeto, 3
- 1.5 – Meios ambientes, 14
- 1.6 – Graus de proteção, 18
- 1.7 – Proteção contra riscos de incêndio e explosão, 19
- 1.8 – Cálculos elétricos, 19
- 1.9 – Simbologia, 33

2 – ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL, 35

- 2.1 – Introdução, 35
- 2.2 – Conceitos básicos, 35
- 2.3 – Lâmpadas elétricas, 38
- 2.4 – Dispositivos de controle, 43
- 2.5 – Luminárias, 49
- 2.6 – Iluminação de interiores, 54
- 2.7 – Iluminação de exteriores, 78
- 2.8 – Iluminação de emergência, 84

3 – DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES ELÉTRICOS, 87

- 3.1 – Introdução, 87
- 3.2 – Fios e cabos condutores, 87
- 3.3 – Sistemas de distribuição, 88
- 3.4 – Critérios básicos para a divisão de circuitos, 98
- 3.5 – Critérios para dimensionamento da seção mínima do condutor fase, 100
- 3.6 – Critério para dimensionamento da seção mínima do condutor neutro, 128
- 3.7 – Critérios para o dimensionamento da seção mínima do condutor de proteção, 130
- 3.8 – Dimensionamentos de dutos, 133

4 – FATOR DE POTÊNCIA, 148

- 4.1 – Introdução, 148
- 4.2 – Fator de potência, 150
- 4.3 – Características gerais dos capacitores, 158
- 4.4 – Características construtivas dos capacitores, 161
- 4.5 – Características elétricas dos capacitores, 163
- 4.6 – Aplicações dos capacitores–derivação, 163
- 4.7 – Correção do fator de potência, 178
- 4.8 – Ligação dos capacitores em bancos, 187

xii SUMÁRIO

5 – CURTO-CIRCUITO NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS, 189

- 5.1 – Introdução, 189
- 5.2 – Análise das correntes de curto-circuito, 189
- 5.3 – Sistema de base e valores por unidade, 196
- 5.4 – Tipos de curto-circuito, 199
- 5.5 – Determinação das correntes de curto-circuito, 200
- 5.6 – Contribuição dos motores de indução nas correntes de falta, 212
- 5.7 – Aplicação das correntes de curto-circuito, 215

6 – MOTORES ELÉTRICOS, 221

- 6.1 – Introdução, 221
- 6.2 – Características gerais dos motores elétricos, 222
- 6.3 – Motores assíncronos trifásicos com rotor em gaiola, 227
- 6.4 – Motofreio trifásico, 244
- 6.5 – Motores de alto rendimento, 248

7 – PARTIDA DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO, 251

- 7.1 – Introdução, 251
- 7.2 – Inércia das massas, 252
- 7.3 – Conjugado, 254
- 7.4 – Tempo de aceleração de um motor, 258
- 7.5 – Tempo de rotor bloqueado, 267
- 7.6 – Sistema de partida de motores, 267
- 7.7 – Queda de tensão na partida dos motores elétricos de indução, 279
- 7.8 – Contribuição da carga na queda de tensão durante a partida de motores de indução, 295
- 7.9 – Escolha da tensão nominal de motores de potência elevada, 297
- 7.10 – Sobretensões de manobra, 298
- 7.11 – Controle de velocidade de motores de indução, 298

8 – FORNOS ELÉTRICOS, 306

- 8.1 – Introdução, 306
- 8.2 – Fornos a resistência, 306
- 8.3 – Fornos de indução, 311
- 8.4 – Fornos a arco, 314

9 – MATERIAIS ELÉTRICOS, 349

- 9.1 – Introdução, 349
- 9.2 – Elementos necessários para especificar, 349
- 9.3 – Materiais e equipamentos, 349

10 – PROTEÇÃO E COORDENAÇÃO, 418

- 10.1 – Introdução, 418
- 10.2 – Proteção de sistemas de baixa tensão, 418
- 10.3 – Proteção de sistemas primários, 464

11 – SISTEMAS DE ATERRAMENTO, 497

- 11.1 – Introdução, 497
- 11.2 – Proteção contra contatos indiretos, 497
- 11.3 – Aterramento dos equipamentos, 498
- 11.4 – Elementos de uma malha de terra, 499

- 11.5 – Resistividade do solo, 502
- 11.6 – Cálculo da malha de terra, 508
- 11.7 – Cálculo de um sistema de aterramento com eletrodos verticais, 527
- 11.8 – Medição da resistência de terra de um sistema de aterramento, 532
- 11.9 – Medidor de resistividade de solo, 533

12 – PROJETO DE SUBESTAÇÃO DE CONSUMIDOR, 534

- 12.1 – Introdução, 534
- 12.2 – Partes componentes de uma subestação de consumidor, 535
- 12.3 – Tipos de subestação, 538
- 12.4 – Dimensionamento físico das subestações, 547
- 12.5 – Paralelismo de transformadores, 553
- 12.6 – Estação de geração para emergência, 557
- 12.7 – Ligações à terra, 558

13 – PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, 560

- 13.1 – Introdução, 560
- 13.2 – Considerações sobre a origem dos raios, 560
- 13.3 – Orientações para proteção do indivíduo, 562
- 13.4 – Sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA, 563
- 13.5 – Método de avaliação e seleção do nível de proteção, 571
- 13.6 – Métodos de proteção contra descargas atmosféricas, 574

14 – AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 587

- 14.1 – Introdução, 587
- 14.2 – Definições, 588
- 14.3 – Unidade de aquisição de dados (UAD), 590
- 14.4 – Interface com o processo, 598
- 14.5 – Programas e protocolos, 602
- 14.6 – Automação de subestações de potência, 605
- 14.7 – Automação de processos industriais, 618
- 14.8 – Automação do gerenciamento de energia, 621

APÊNDICE – EXEMPLO DE APLICAÇÃO, 626

- 1 – Divisão da carga em blocos, 627
- 2 – Localização dos quadros de distribuição, 627
- 3 – Localização do quadro de distribuição geral, 627
- 4 – Localização da subestação, 627
- 5 – Definição do sistema de distribuição, 627
- 6 – Determinação da demanda prevista, 627
- 7 – Determinação da potência da subestação, 643
- 8 – Fator de potência, 643
- 9 – Determinação da seção dos condutores e eletrodutos, 645
- 10 – Determinação da impedância dos circuitos, 665
- 11 – Cálculo das correntes de curto-circuito, 684
- 12 – Condição de partida dos motores, 690
- 13 – Proteção e coordenação do sistema, 694
- 14 – Cálculo da malha de terra, 723
- 15 – Dimensões da subestação, 728
- 16 – Dimensionamento dos aparelhos de medição, 730

xiv SUMÁRIO

Relação de material, 733

Planta 1, 744

Planta 2, 745

Planta 3, 746

Planta 4, 747

Planta 5, 748

Planta 6, 749

BIBLIOGRAFIA, 750

ÍNDICE, 751

1

ELEMENTOS DE PROJETO

1.1 – INTRODUÇÃO

A elaboração do projeto elétrico de uma instalação industrial deve ser precedida do conhecimento dos dados relativos às condições de suprimento e das características funcionais da indústria em geral. Normalmente, o projetista recebe do interessado um conjunto de plantas da indústria, contendo, no mínimo, os seguintes detalhes:

a) Planta de situação

Tem a finalidade de situar a obra no contexto urbano.

b) Planta baixa de arquitetura do prédio

Contém toda a área de construção, indicando com detalhes divisionais os ambientes de produção industrial, escritórios, dependências em geral e outros que compõem o conjunto arquitetônico.

c) Planta baixa

Contém a projeção aproximada de todas as máquinas, devidamente posicionadas, com a indicação dos motores a alimentar e dos painéis de controle respectivos.

d) Plantas de detalhes

Devem conter todas as particularidades do projeto de arquitetura que venham a contribuir na definição do projeto elétrico, tais como:

- vistas e cortes no galpão industrial;
- detalhes sobre a existência de pontes rolantes no recinto de produção;
- detalhes de colunas e vigas de concreto ou outras particularidades de construção;
- detalhes de montagem de certas máquinas de grandes dimensões.

O conhecimento desses e de outros detalhes possibilita ao projetista elaborar corretamente um excelente projeto executivo.

É importante, durante a fase de projeto, conhecer os planos expansionistas dos dirigentes da empresa e, se possível, obter detalhes de futuro aumento efetivo de carga, bem como o local de sua instalação.

Qualquer projeto elétrico de instalação industrial deve considerar os seguintes aspectos:

a) Flexibilidade

É a capacidade de admitir mudanças na localização das máquinas e equipamentos sem comprometer seriamente as instalações existentes.

b) Acessibilidade

Exprime a facilidade de acesso a todas as máquinas e equipamentos de manobra.

2 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

d) Confiabilidade

Representa o desempenho do sistema quanto às interrupções temporárias e permanentes, bem como assegura proteção à integridade física daqueles que o operam.

O projetista, sem ser especialista no ramo de atividade da indústria que projeta, deve conhecer o funcionamento de todo o complexo industrial, pois isto lhe possibilita melhor planejamento das instalações elétricas.

1.2 – NORMAS RECOMENDADAS

Todo e qualquer projeto deve ser elaborado com base em documentos normativos que, no Brasil, são de responsabilidade da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cabe, também, seguir as normas particulares das concessionárias de serviço público ou particular que fazem o suprimento de energia elétrica da área onde se acha localizada a indústria. Estas normas, em geral, não colidem com as da ABNT, porém indicam ao projetista as condições mínimas exigidas para que se efetue o fornecimento de energia à indústria, dentro das particularidades inerentes a cada empresa.

A *Coelce – Companhia Energética do Ceará*, concessionária exclusiva do Estado do Ceará, possui um conjunto de normas técnicas que cobre todo tipo de fornecimento de energia elétrica para os vários níveis de tensão de suprimento.

Existem também normas estrangeiras de grande valia para consultas, como, por exemplo, a norte-americana NEC – National Electrical Code.

A adoção de normas, além de ser uma exigência técnica profissional, conduz a resultados altamente positivos no desempenho operativo das instalações, garantindo-lhes segurança e durabilidade.

1.3 – DADOS PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO

O projetista, além das plantas anteriormente mencionadas, deve conhecer os seguintes dados:

1.3.1 – Condições de fornecimento de energia elétrica

Cabe à concessionária local prestar ao interessado as informações que lhe são peculiares:

- garantia de suprimento da carga, dentro de condições satisfatórias;
- variação da tensão de suprimento;
- tensão de fornecimento;
- tipo de sistema de suprimento: radial, radial com recurso, etc.;
- capacidade de curto-círcuito atual e futura do sistema;
- impedância reduzida no ponto de suprimento.

1.3.2 – Características das cargas

Estas informações podem ser obtidas diretamente do responsável pelo projeto técnico industrial ou por meio do manual de especificações dos equipamentos. Os dados principais são:

a) Motores

- potência;
- tensão;
- corrente;
- freqüência;
- número de pólos;
- número de fases;
- ligações possíveis;
- regime de funcionamento.

b) Fornos a arco

- potência do forno;
- potência de curto-círcuito do forno;
- potência do transformador do forno;
- tensão;
- freqüência;
- fator de severidade.

c) Outras cargas

Aqui ficam caracterizadas cargas singulares que compõem a instalação, tais como máquinas acionadas por sistemas computadorizados, cuja variação de tensão permitida seja mínima e por isso requerem circuitos alimentadores exclusivos ou até transformadores próprios – aparelhos de raios X industrial e muitas outras cargas tidas como especiais que devem merecer um estudo particularizado por parte do projetista.

1.4 – CONCEPÇÃO DO PROJETO

Esta fase do projeto requer muita experiência profissional do projetista. Com base nas suas decisões, o projeto tomará forma e corpo que conduzirão ao dimensionamento dos materiais e equipamentos, estabelecimento da filosofia de proteção e coordenação, etc.

De uma forma geral, a título de orientação, podem-se seguir os passos apontados como metodologia racional para a concepção do projeto elétrico.

1.4.1 – Divisão da carga em blocos

Com base na planta baixa com a disposição das máquinas, deve-se dividir a carga em blocos. Cada bloco de carga deve corresponder a um quadro de distribuição terminal com alimentação e proteção individualizadas.

A escolha dos blocos, a princípio, é feita considerando-se os setores individuais de produção, bem como a grandeza de cada carga de que são constituídos, para avaliação da queda de tensão. Como setores individuais de produção, cita-se o exemplo de uma indústria de fiação em que se pode dividir a carga em blocos correspondentes aos setores de batedores, de filatérios, de cardas etc. Quando um determinado setor ocupa uma área de grandes dimensões, pode ser dividido em dois blocos de carga, dependendo da queda de tensão a que estes ficariam submetidos afastados do centro de comando, caso somente um deles fosse adotado para suprimento de todo o setor.

Também, quando um determinado setor de produção está instalado em recinto fisicamente isolado de outros setores, deve-se tomá-lo como bloco de carga individualizado.

Cabe aqui considerar que se podem agrupar vários setores de produção num só bloco de cargas, desde que a queda de tensão nos terminais das mesmas seja permitível. Isto se dá, muitas vezes, quando da existência de máquinas de pequena potência.

1.4.2 – Localização dos quadros de distribuição de circuitos terminais

Os quadros de distribuição de circuitos terminais devem ser localizados em pontos que satisfaçam, em geral, as seguintes condições:

a) No centro de carga

Isso nem sempre é possível, pois o centro de carga muitas vezes se acha num ponto físico inconveniente do bloco de carga.

b) Próximo à linha geral dos dutos de alimentação

c) Afastado da passagem sistemática de funcionários

d) Em ambientes bem iluminados

e) Em locais de fácil acesso

f) Em locais não sujeitos a gases corrosivos, inundações, trepidações, etc.

g) Em locais de temperatura adequada.

4 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

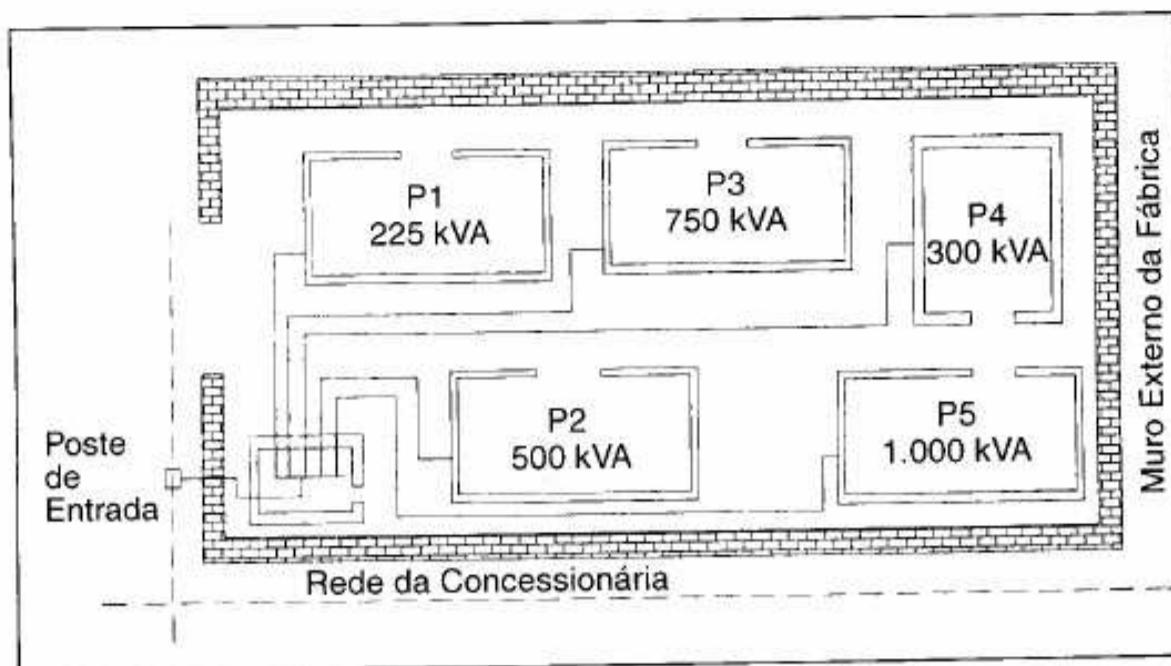


Fig. 1.1 – Indústria formada por diversos galpões

Os quadros de distribuição normais são designados neste livro como Centro de Controle de Motores (CCM), quando nestes forem instalados componentes de comandos de motores. São denominados Quadros de Distribuição de Luz (QDL), quando contêm componentes de comando de iluminação.

1.4.3 – Localização do quadro de distribuição geral

Deve ser localizado, de preferência, na subestação ou em área contígua a esta. De uma maneira geral, deve ficar próximo das unidades de transformação a que está ligado.

É também denominado, neste livro, Quadro Geral de Força (QGF) o quadro de distribuição geral que contém os componentes projetados para seccionamento, proteção e medição dos circuitos de distribuição, ou, em alguns casos, de circuitos terminais.

1.4.4 – Localização da subestação

É comum o projetista receber as plantas já com a indicação do local da subestação. Nestes casos, a escolha é feita em função do arranjo arquitetônico da construção e, muitas vezes, da exigüidade da área. Pode ser também uma decisão visando à segurança da indústria, principalmente quando o seu produto é de alto risco. Porém, nem sempre o local escolhido é o mais tecnicamente adequado, ficando a subestação central, às vezes, muito afastada do centro de carga, acarretando alimentadores longos e de seção elevada. Estes casos são mais freqüentes quando a indústria é constituída de um único prédio e é prevista uma subestação abrigada em alvenaria.

As indústrias formadas por duas ou mais unidades de produção, localizadas em galpões fisicamente separados, conforme a Fig. 1.1, permitem maior flexibilidade na escolha do local tecnicamente apropriado para a subestação.

Em tais casos, é necessário localizar próximo à via pública a cabine de medição que contém os equipamentos e instrumentos de medida de energia de propriedade da concessionária. Essa distância varia de empresa para empresa — a Coelce adota 40 m. Contíguo ao posto de medição, deve ser localizado o Posto de Proteção Geral (PPG) de onde derivam os alimentadores primários para uma ou mais subestações localizadas próximo ao centro de carga.

O processo para localização do centro de carga, que deve corresponder a uma subestação, é definido pelo cálculo do baricentro dos pontos considerados como de carga puntiforme e correspondentes à potência demandada de cada pavilhão com suas respectivas distâncias à origem — no caso o posto de proteção geral —, conforme as Eqs. (1.1) e (1.2). O esquema de coordenadas da Fig. 1.2 é referente à indústria representada na Fig. 1.1.

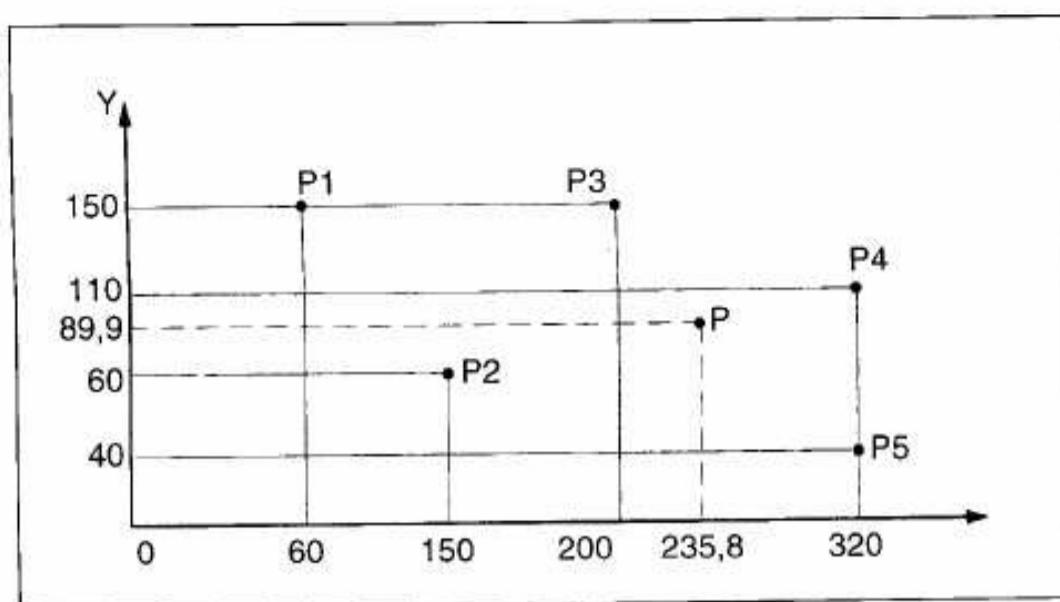


Fig. 1.2 – Coordenadas para se determinar o centro de carga

$$X = \frac{X_1 \times P_1 + X_2 \times P_2 + X_3 \times P_3 + X_4 \times P_4 + X_5 \times P_5}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5} \quad (1.1)$$

$$Y = \frac{Y_1 \times P_1 + Y_2 \times P_2 + Y_3 \times P_3 + Y_4 \times P_4 + Y_5 \times P_5}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5} \quad (1.2)$$

Para exemplificar, considerar as potências e as distâncias indicadas nas Figs. 1.1 e 1.2.

$$X = \frac{60 \times 225 + 150 \times 500 + 200 \times 750 + 320 \times 300 + 320 \times 1.000}{225 + 500 + 750 + 300 + 1.000} \rightarrow X = 235,8 \text{ m}$$

$$Y = \frac{40 \times 1.000 + 60 \times 500 + 110 \times 300 + 150 \times 225 + 150 \times 750}{225 + 500 + 750 + 300 + 1.000} \rightarrow Y = 89,8 \text{ m}$$

As coordenadas X e Y indicam o local adequado da subestação, relativamente ao ponto de vista da carga. O local exato, porém, deve ser decidido tomando-se como base outros parâmetros, tais como proximidade de depósitos de materiais combustíveis, sistemas de resfriamento de água, arruamento interno, etc.

A escolha do número de subestações unitárias deve ser baseada nas seguintes considerações:

- quanto menor a potência da subestação, maior é o custo do kVA instalado;
- quanto maior é o número de subestações unitárias, maior é a quantidade de condutores primários;
- quanto menor é o número de subestações unitárias, maior é a quantidade de condutores secundários dos circuitos de distribuição.

Daí, pode-se concluir que é necessário analisar os custos das diferentes opções a fim de se determinar a solução mais econômica. Estudos indicam que as subestações unitárias com potências compreendidas entre 750 e 1.000 kVA são mais economicamente convenientes.

1.4.5 – Definição dos sistemas

1.4.5.1 – Sistema primário de suprimento

A alimentação de uma indústria é, na grande maioria dos casos, de responsabilidade da concessionária de energia elétrica. Por isso, o sistema de alimentação quase sempre fica limitado às disponibilidades das linhas de suprimento existentes na área do projeto. Quando a indústria é de certo porte e a linha de produção exige uma elevada continuidade de serviço, faz-se necessário realizar investimentos adicionais, buscando recursos alternativos de suprimento, tais como a construção de um novo alimentador ou a aquisição de geradores de emergência.

As indústrias, de uma maneira geral, são alimentadas por um dos seguintes tipos de sistema:

a) Sistema radial simples

É aquele em que o fluxo de potência tem um sentido único da fonte para a carga. É o tipo mais simples de alimentação industrial e também o mais utilizado. Apresenta, porém, baixa confiabilidade, devido à falta de recurso para manobra, quando da perda do circuito de distribuição geral ou alimentador. Em compensação, o seu custo é o

6 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

mais reduzido, comparativamente aos outros sistemas, por conter somente equipamentos convencionais e de larga utilização. A Fig. 1.3 exemplifica este tipo de sistema.

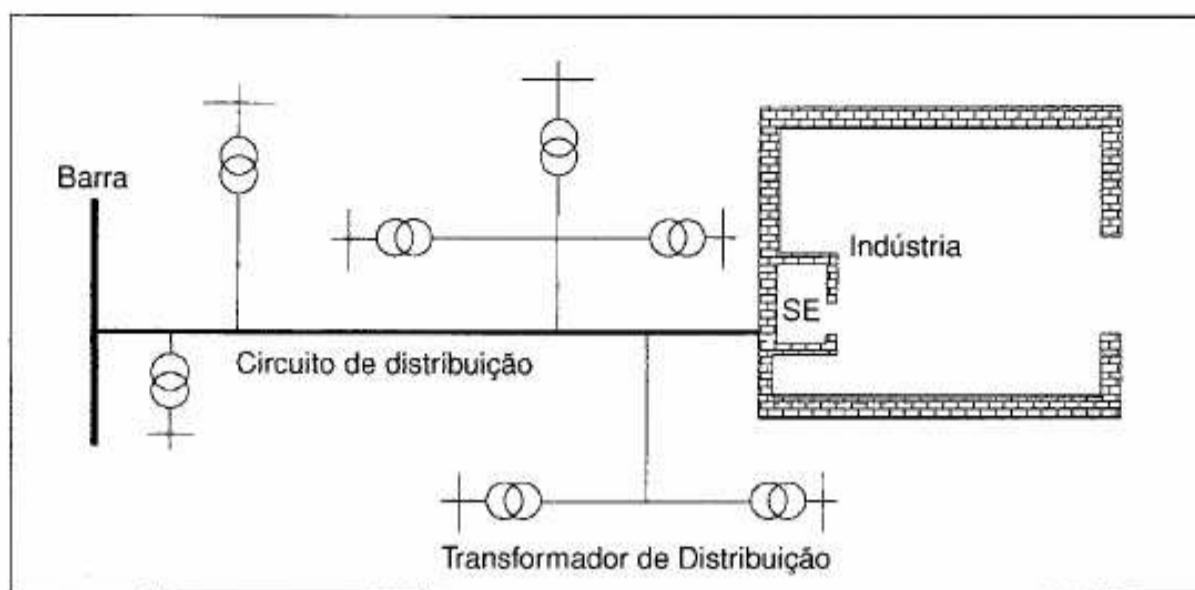


Fig. 1.3 – Esquema de sistema radial simples

b) Radial com recurso

É aquele em que o sentido do fluxo de potência pode variar de acordo com as condições de carga do sistema.

Dependendo da posição das chaves interpostas nos circuitos de distribuição, conforme a Fig. 1.4, e do seu poder de manobra, este sistema pode ser operado como:

- sistema radial em anel aberto;
- sistema radial seletivo.

Esses sistemas apresentam maior confiabilidade, pois a perda eventual de um dos circuitos de distribuição ou alimentador não deve afetar a continuidade de fornecimento, exceto durante o período de manobra das chaves, caso estas sejam manuais e o sistema opere na configuração radial.

Os sistemas com recurso apresentam custos elevados devido ao emprego de equipamentos mais caros e sobretudo pelo dimensionamento dos circuitos de distribuição, que devem ter capacidade individual suficiente para suprir as cargas sozinhos quando da saída de um deles. Esses sistemas podem ser alimentados de uma ou mais fontes de suprimento da concessionária, o que, no segundo caso, melhorará a continuidade de fornecimento. Diz-se que o sistema de distribuição trabalha em primeira contingência quando a perda de um alimentador de distribuição não afeta o suprimento de energia. Semelhantemente, num sistema que trabalha em segunda contingência, a perda de dois alimentadores de distribuição não afeta o suprimento da carga. Conseqüentemente, quanto mais elevada é a contingência de um sistema, maior é o seu custo.

1.4.5.2 – Sistema primário de distribuição interna

Quando a indústria possui duas ou mais subestações alimentadas de um ponto de suprimento da concessionária, conforme visto anteriormente, pode-se proceder à energização destas subestações utilizando-se um dos seguintes esquemas:

a) Sistema radial simples

Já definido anteriormente, pode ser traçado conforme a Fig. 1.5.

b) Sistema radial com recurso

Como já definido, este sistema pode ser projetado de acordo com a ilustração apresentada na Fig. 1.6, em que os pontos de consumo setoriais possuem alternativas de suprimento através de dois circuitos de alimentação.

Cabe observar que cada barramento das SE é provido de desligamento automático ou manual, podendo encontrar-se nas posições NA (normalmente aberto) ou NF (normalmente fechada), conforme a melhor distribuição da carga nos dois alimentadores.

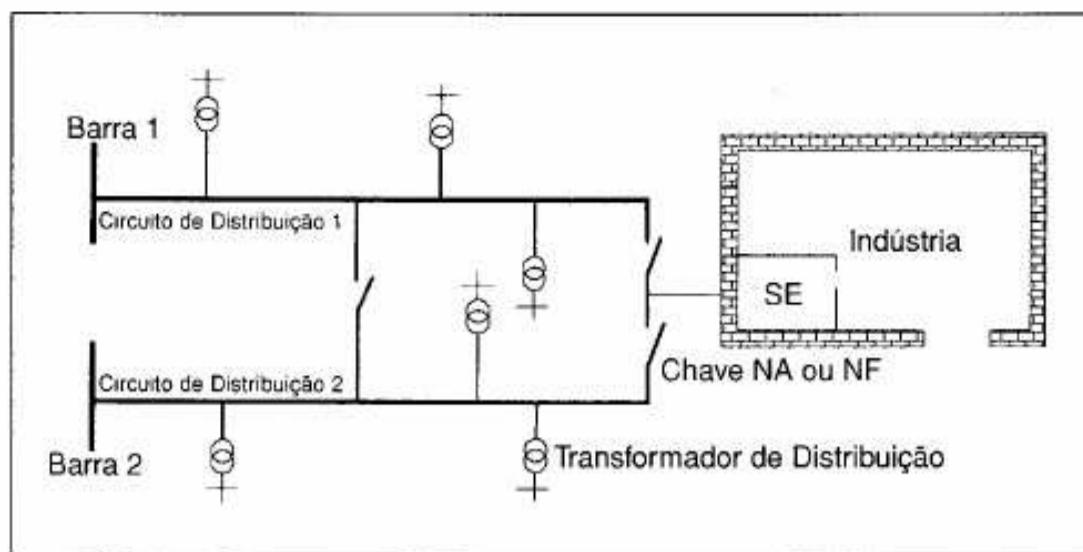


Fig. 1.4 – Esquema de sistema radial com recurso

1.4.5.3 – Sistema secundário de distribuição

A distribuição secundária em baixa tensão numa instalação industrial pode ser dividida em:

1.4.5.3.1 – Circuitos terminais de motores

Numa definição mais elementar, o circuito terminal de motores consiste em dois ou três condutores (motores monofásicos ou bifásicos e trifásicos) conduzindo corrente numa dada tensão, desde um dispositivo de proteção até o ponto de utilização. A Fig. 1.7 mostra o traçado de um circuito terminal de motor.

Os circuitos terminais de motores devem obedecer a algumas regras básicas, ou seja:

- Conter um dispositivo de seccionamento na sua origem para fins de manutenção. O seccionamento deve desligar tanto o motor como o seu dispositivo de comando. Podem ser utilizados:
 - seccionadores;
 - interruptores;
 - disjuntores;
 - contactores;
 - fusíveis com terminais apropriados para retirada sob tensão;
 - tomada de corrente.
- Conter um dispositivo de proteção contra curto-circuito na sua origem.
- Conter um dispositivo de comando capaz de impedir uma partida automática do motor devido a queda ou falta de tensão, se a partida for capaz de provocar perigo. Neste caso, recomenda-se a utilização de contactores.
- Conter um dispositivo de acionamento do motor, de forma a reduzir a queda de tensão na partida a um valor igual ou inferior a 10%, ou de conformidade com as exigências da carga.
- De preferência, cada motor deve ser alimentado por um circuito terminal individual.
- Quando um circuito terminal alimentar mais de um motor ou outras cargas, os motores devem receber proteção de sobrecarga individual. Neste caso, a proteção contra curtos-circuitos deve ser feita por um dispositivo único localizado no inicio do circuito terminal capaz de proteger os condutores de alimentação do motor de menor corrente nominal e que não atue indevidamente sob qualquer condição de carga normal do circuito.
- Quanto maior a potência de um motor alimentado por um circuito terminal individual, mais é recomendável que cargas de outra natureza sejam alimentadas por outros circuitos.

São consideradas aplicações normais, para as finalidades das prescrições que se seguem, as definidas a seguir, para atendimento à NBR 5410/97, ou seja:

8 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

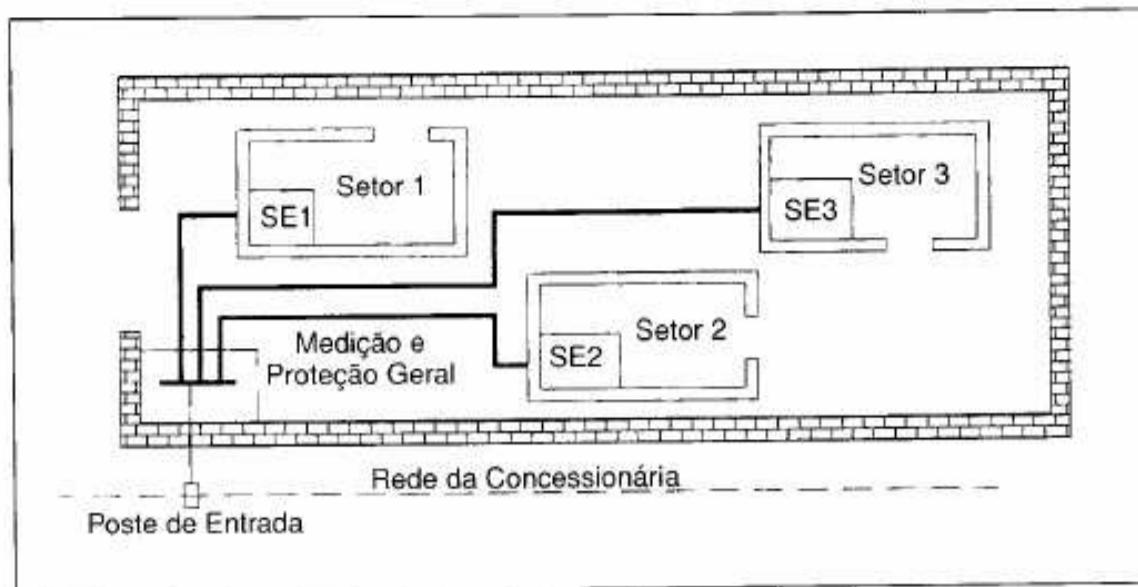


Fig. 1.5 – Exemplo de distribuição de sistema radial simples

- Cargas de natureza industrial ou similar
 - motores de indução de gaiola trifásico, de potência superior a 150 kW (200 cv), com características normalizadas conforme a NBR 7094;
 - cargas acionadas em regime S1 e com características de partida conforme a NBR 7094.
- Cargas residenciais e comerciais
 - motores de potência inicial não superior a 1,5 kW (2 cv) constituindo parte integrante de aparelhos eletrodomésticos e eletroprofissionais.

1.4.5.3.2 – Circuitos de distribuição

Compreende-se por circuitos de distribuição, também chamados neste livro de alimentadores, os condutores que derivam do Quadro Geral de Força (QGF) e alimentam um ou mais centros de comando (CCM e QDL).

Os circuitos de distribuição devem ser protegidos no ponto de origem através de disjuntores ou fusíveis de capacidade adequada à carga e às correntes de curto-círcuito.

Os circuitos de distribuição devem dispor, no ponto de origem, de um dispositivo de seccionamento, dimensionado para suprir a maior demanda do centro de distribuição e proporcionar condições satisfatórias de manobra.

1.4.5.3.3 – Recomendações gerais sobre projeto de circuitos terminais e de distribuição

No Cap. 2, discute-se a metodologia de cálculo da seção dos condutores dos circuitos terminais e de distribuição. Mas aqui são fornecidas algumas considerações práticas a respeito do seu projeto:

- a menor seção transversal de um condutor para circuitos terminais de motor e de tomadas é de 2,5 mm²;
- a menor seção transversal de um condutor para circuitos terminais de iluminação ou de alimentação de outras cargas é de 1,5 mm²;
- deve-se prever, se possível, uma capacidade-reserva nos circuitos de distribuição que vise ao aparecimento de futuras cargas na instalação.

Neste caso, não há condutores ligados, porém há também que se prever folga suficiente nos dutos para acomodação dos circuitos-reserva;

- deve-se dimensionar circuitos de distribuição distintos para luz e força;
- as cargas devem ser distribuídas o mais uniformemente possível entre as fases;
- a iluminação, de preferência, deve ser dividida em vários circuitos terminais;
- o comprimento dos circuitos parciais para iluminação deve ser limitado em 30 m. Podem ser admitidos comprimentos superiores, desde que a queda de tensão seja compatível com os valores estabelecidos pela NBR 5410/97 e apresentados no Cap. 3.

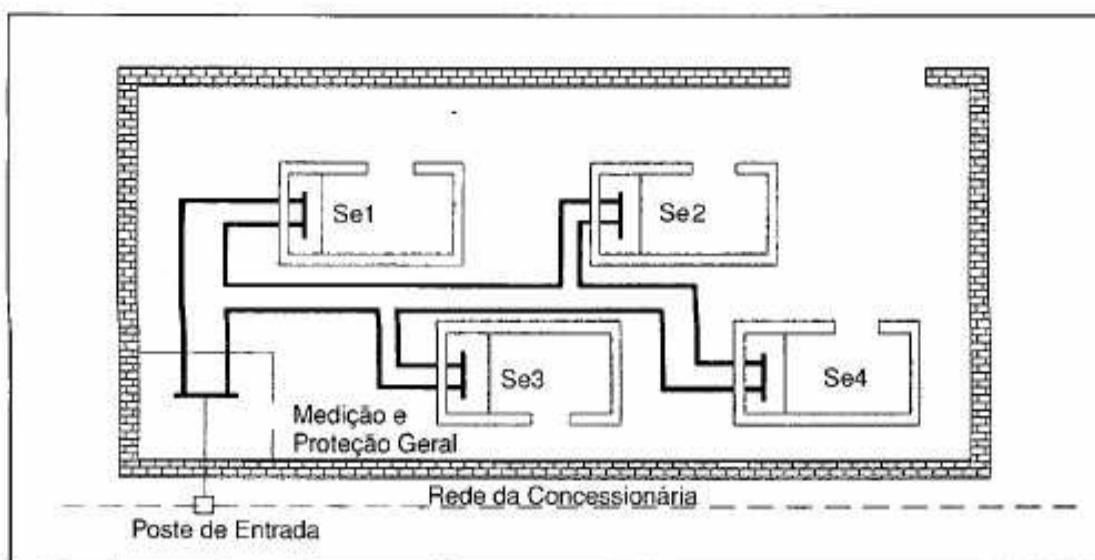


Fig. 1.6 – Exemplo de distribuição de sistema primário radial com recurso

1.4.5.3.4 – Constituição dos circuitos terminais e de distribuição

São constituídos de:

- a) Condutores isolados, cabos unipolares e multipolares

Sua aplicação deve ser feita segundo o que prescreve o Cap. 2. São mais comumente instalados em:

- Eletrodutos

São utilizados eletrodutos de PVC ou de ferro galvanizado. Os primeiros são, em geral, aplicados embutidos em paredes, pisos ou tetos. Os segundos são geralmente utilizados em instalações aparentes, ou embutidos, quando se necessita de uma proteção mecânica adequada para o circuito. A utilização de eletrodutos deve seguir os seguintes critérios:

- dentro de eletrodutos só devem ser instalados condutores isolados, cabos unipolares ou cabos multipolares, admitindo-se a utilização de condutor nu em eletroduto isolante exclusivo quando tal condutor destinar-se a aterramento;
- o diâmetro externo do eletroduto deve ser igual ou superior a 16 mm;
- em instalações internas onde não haja trânsito de veículos pesados, os eletrodutos de PVC devem ser enterrados a uma profundidade não inferior a 0,25 m;
- em instalações externas sujeitas a tráfego de veículos leves, os eletrodutos de PVC devem ser enterrados a uma profundidade não inferior a 0,40 m. Para profundidades inferiores, é necessário envelopar o eletroduto em concreto;
- em instalações externas sujeitas a trânsito de veículos pesados, os eletrodutos de PVC devem ser enterrados a uma profundidade não inferior a 0,60 m. Costuma-se, nestes casos, utilizar eletrodutos de ferro galvanizado;
- os eletrodutos aparentes devem ser firmemente fixados a uma distância máxima de acordo com as Tabela 1.1 e 1.2.

É prática comum a construção de pequenas, médias e grandes instalações industriais utilizando materiais de concreto pré-moldados. Após a construção do prédio, inicia-se o processo de execução das instalações de serviço (água, esgoto, luz, etc.). Este procedimento visa reduzir os custos de construção. Para isso é necessário que sejam utilizados materiais apropriados nos projetos das instalações de serviços. No caso das instalações elétricas, são utilizados eletrodutos de ferro galvanizado associados a diferentes tipos de condutores, conforme mostrado na Fig. 1.8 (a), (b), (c) e (d), e caixas de ligação e de passagem, de acordo com a Fig. 1.8 (e) e (f). As instalações tornam-se relativamente simples e de fácil manutenção, já que praticamente todas as tubulações e demais acessórios são fixados e montados nas paredes e no teto de forma aparente. Esta forma de instalação é por demais utilizada em unidades fabris dotadas de motores instalados em estruturas metálicas, tais como usinas de álcool, refinarias e congêneres.

10 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

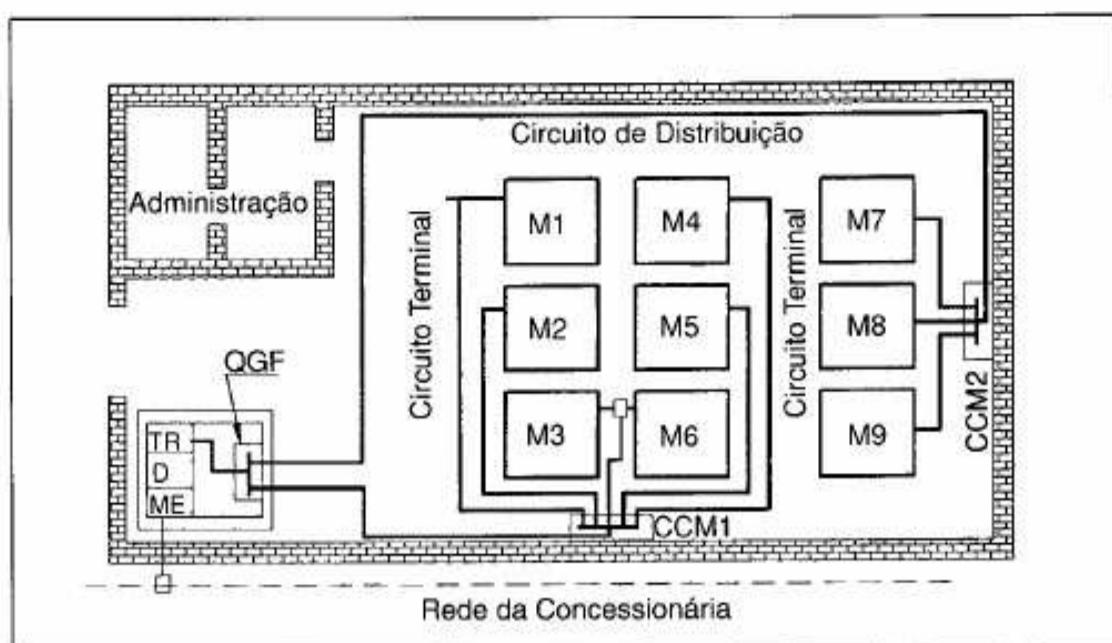


Fig. 1.7 Exemplo de distribuição de sistema secundário

Tabela 1.1 – Distância máxima entre elementos de fixação de eletrodutos rígidos isolantes

Tamanho do eletroducto em polegadas	Distância máxima entre elementos de fixação (m)
1/2 - 3/4	3,00
1	3,70
1 1/4 - 1 1/2	4,30
2 - 2 1/2	4,80
Maior ou igual a 3	6,00

Tabela 1.2 – Distância máxima entre elementos de fixação de eletrodutos rígidos isolantes

Diâmetro nominal do eletroducto mm	Distância máxima entre elementos de fixação
16 - 32	0,90
40 - 60	1,50
75 - 85	1,80

Quanto ao dimensionamento e outras prescrições de instalação, veja o Cap. 3.

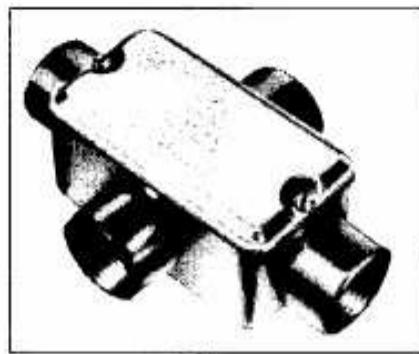
- Canaletas no solo

São de larga utilização em indústria com grande número de máquinas dispostas regularmente e cujo ponto de alimentação seja relativamente próximo ao piso. Sua utilização deve satisfazer os seguintes princípios:

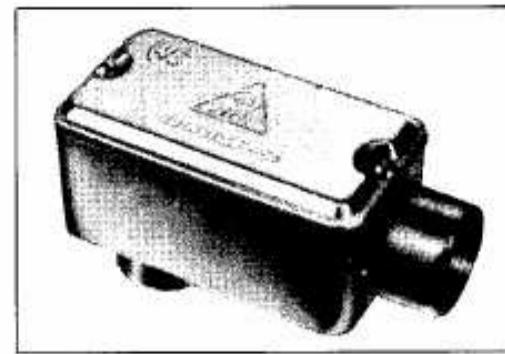
- não é conveniente a utilização de canaletas em locais em que haja a possibilidade da presença de água ou de outros líquidos no piso, como no caso de curtumes, setor de lavagem e engarrafamento de indústria de cerveja e congêneres. São classificadas sob o ponto de vista de influências externas (presença de água), conforme código AD4, característico de possibilidade de projeção de água em qualquer direção.

- somente os cabos unipolares e multipolares podem ser instalados diretamente nas canaletas. A utilização de cabos isolados deve ser feita dentro de eletrodutos;

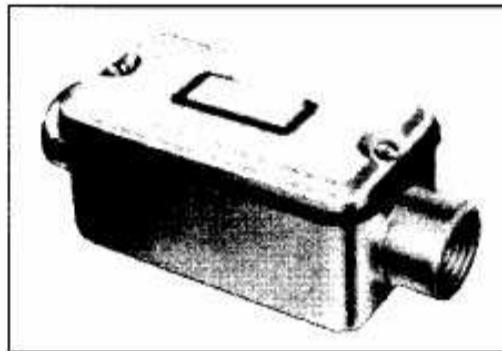
- devem-se tomar medidas preventivas a fim de impedir a penetração de corpos estranhos e líquidos que possam, respectivamente, dificultar a dissipação de calor dos cabos e danificar a isoliação dos mesmos;



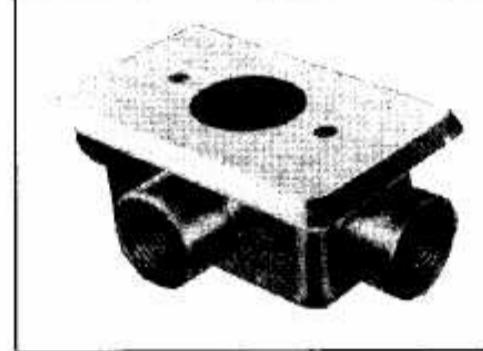
a) Conduteles tipo X



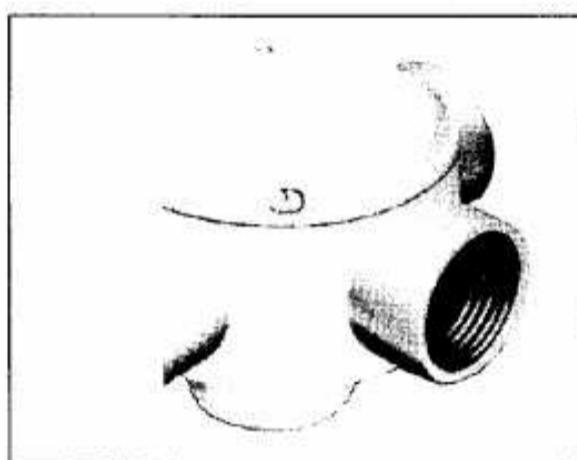
b) Conduteles tipo LB



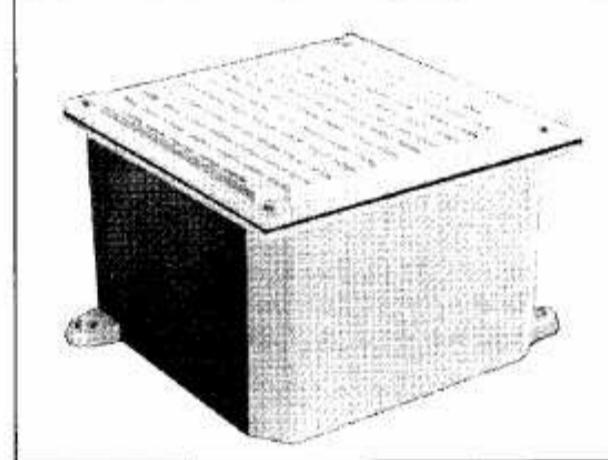
c) Conduteles interruptor



d) Conduteles tomada



e) Caixa de ligação



f) Caixa de passagem

Fig. 1.8 – Acessórios metálicos para instalações exteriores com eletroduto

– os cabos devem, de preferência, ser dispostos em uma única camada, podendo-se, no entanto, utilizar prateleiras instaladas em diferentes níveis.

A Fig. 1.9 mostra a seção transversal de uma canaleta cujo dimensionamento será visto no Cap. 2.

- Canaletas e perfilados

Existe uma ampla utilização das canaletas e perfilados instalados sobre paredes, em tetos ou suspensas. São particularmente aplicados em iluminação de grandes galpões, na alimentação de motores instalados no corpo das máquinas com altura superior a 2,50 m, na distribuição de circuitos de alimentação de CCM e QDL quando esta alimentação é feita pela parte inferior dos quadros, etc. Deve-se seguir os seguintes princípios:

– os condutores isolados só podem ser utilizados em canaletas ou perfilados de paredes maciças e com tampas que só podem ser retiradas com auxílio de ferramentas;

12 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

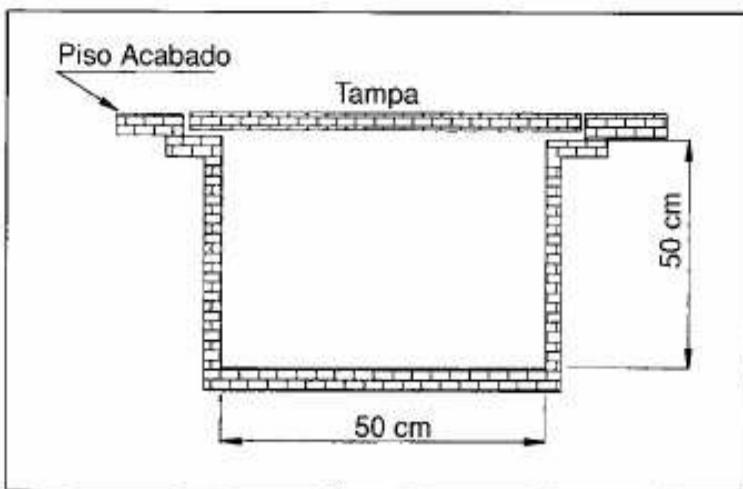


Fig. 1.9 – Corte transversal de canaleta no solo



Fig. 1.10 – Bandeja

– admite-se o uso de condutores isolados em canaletas ou perfilados sem tampa ou com tampa desmontável sem auxílio de ferramentas ou em canaletas ou perfilados cujas paredes sejam perfuradas, com ou sem tampa, se estas estiverem em locais só acessíveis a pessoas advertidas, de acordo com a classificação BA4 ou qualificadas de acordo com a classificação BA5, ou estejam instalados a uma altura mínima de 2,50 m do piso.

- **Espaços em construção**

Os espaços em construção podem ser utilizados para conduzir condutores elétricos, desde que estes condutores sejam isolados ou se utilizem cabos unipolares ou multipolares, de forma tal que qualquer um dos condutores possa ser utilizado sem intervenção nos elementos de construção do prédio.

- **Linhos elétricas enterradas**

Não é comum o uso de condutores enterrados em instalações industriais em virtude da possibilidade de danos durante a movimentação de terra para ampliação e pelas dificuldades adicionais de substituição dos condutores quando ocorrer um dano físico. Quando utilizadas, obedecer aos seguintes princípios:

- utilizar somente cabos unipolares ou cabos multipolares providos de armação ou de proteção mecânica adicional;
- os condutores devem ser enterrados a uma profundidade mínima de 0,70 m da superfície do solo;
- em travessias de veículos, a profundidade dos cabos deve ser de 1,0 m;
- no cruzamento de duas linhas elétricas deve-se prever um afastamento de 0,20 m;
- no cruzamento de uma linha elétrica com um conduto não elétrico deve-se prever um afastamento de 0,20 m;
- qualquer linha elétrica enterrada, inclusive no interior de eletroduto, deve ser sinalizada continuamente por um elemento de advertência não sujeito a deterioração.

- **Bandejas e prateleiras**

São uma maneira flexível e prática de instalar condutores. Não é recomendada a sua utilização em ambientes de atmosfera agressiva ou em locais sujeitos à presença de gases combustíveis em suspensão. Nas bandejas, os condutores devem ser dispostos preferencialmente em uma única camada. Somente devem ser instalados nas bandejas e prateleiras cabos unipolares e multipolares. A Fig. 1.10 mostra o aspecto construtivo de uma bandeja.

- **Eletrocalha**

À semelhança das bandejas e prateleiras, as eletrocalhas devem ser utilizadas em locais de serviços elétricos ou dentro de tetos falsos não-desmontáveis.

Nas eletrocalhas podem ser instalados condutores isolados, cabos unipolares e cabos multipolares. No caso de condutores isolados, somente podem ser instalados em eletrocalhas de paredes maciças, cujas tampas só devem ser removidas com ferramentas. É permitida a instalação de condutores isolados em eletrocalhas com paredes perfuradas (eletrocalhas ventiladas) e/ou com tampas desmontáveis sem auxílio de ferramentas, em ambientes nos quais somente devem ter acesso pessoas advertidas ou qualificadas. Não se admite a instalação de condutores nus. A Fig. 1.11 mostra três diferentes tipos de eletrocalha de paredes maciças e de paredes perfuradas.

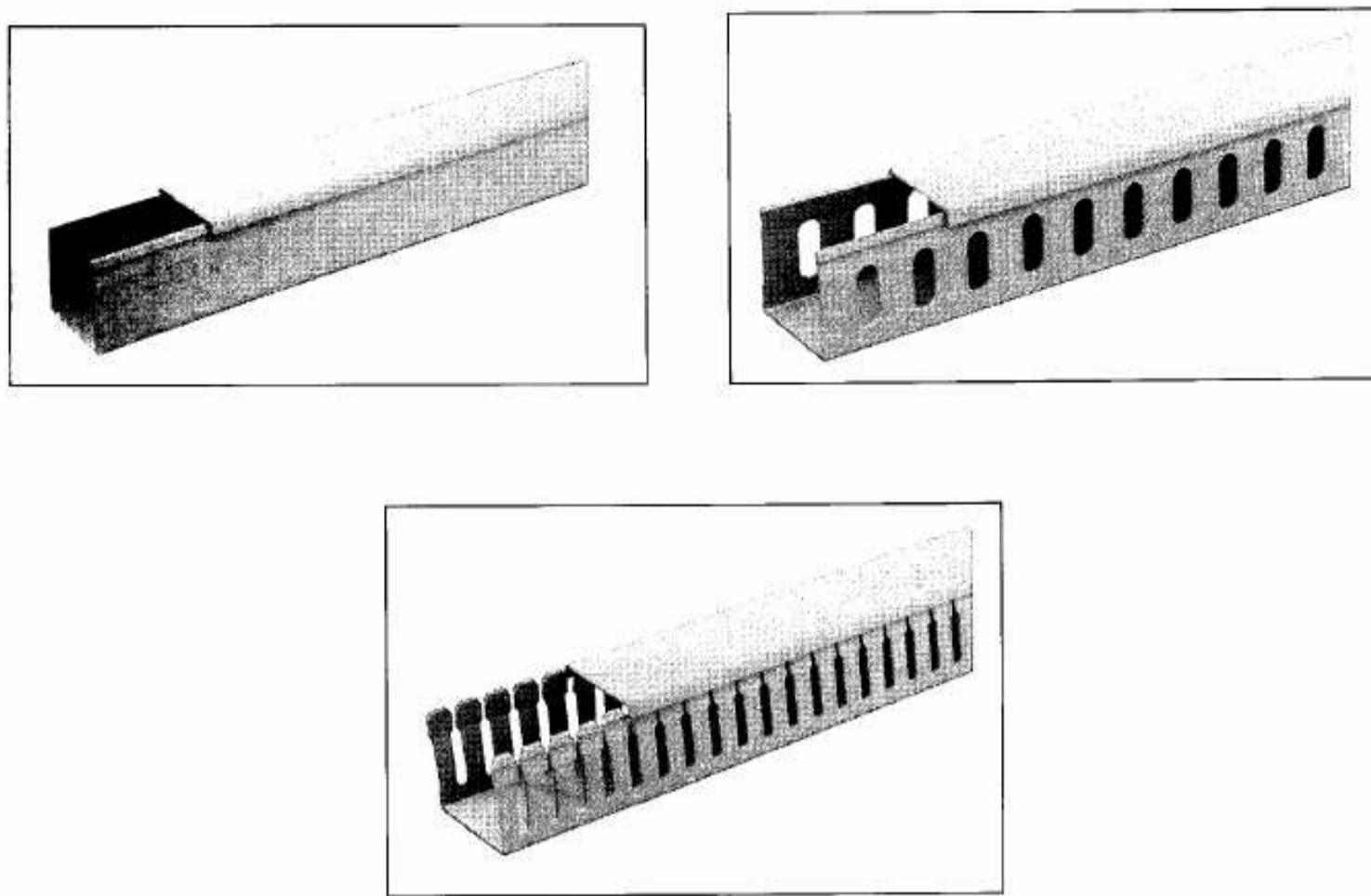


Fig. 1.11 – Eletrocalhas, respectivamente, de paredes maciças e perfuradas

- **Leito ou escada para cabos**

Este sistema de instalação de condutores requer os mesmos princípios de utilização dispensados às eletrocalhas. A Fig. 1.12 mostra um sistema de leito.

- b) **Dutos de barra (barramentos blindados)**

São fabricados em cobre ou alumínio, sendo as barras suportadas por isoladores apropriados e contidos em um invólucro, geralmente fabricado de material isolante rígido.

Os dutos de barra, muitas vezes chamados de *busway*, são fabricados em tamanhos padronizados e possuem vários acessórios complementares, tais como curvas, ângulos, emendas, todos também modulares.

São muitas as variedades de construção, podendo os condutores ser constituídos de barras retangulares, cilíndricas ocas ou maciças. Também, os condutores podem ser recobertos por uma fina camada de prata em toda a sua extensão ou somente nos pontos de conexão.

Os dutos de barra podem ser ventilados ou não, dependendo do local de sua utilização. Somente devem ser empregados em instalações aparentes.

Em geral, os dutos de barra têm emprego na ligação entre o Quadro de Distribuição Geral e os Quadros de Distribuição de Circuitos Terminais. Os dutos de barra têm a vantagem de apresentar baixa impedância e, consequentemente, baixa queda de tensão.

Devido ao seu custo elevado, somente devem ser aplicados em circuitos com elevada corrente de carga, quando esta relação de custo diminui.

A Fig. 1.13 mostra a aplicação prática de um duto de barra.

1.4.5.4 – Considerações gerais sobre os quadros de distribuição

Os quadros de distribuição devem ser construídos de modo a satisfazer as condições do ambiente em que serão instalados, bem como apresentar um bom acabamento, rigidez mecânica e disposição apropriada nos equipamentos e instrumentos.

14 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

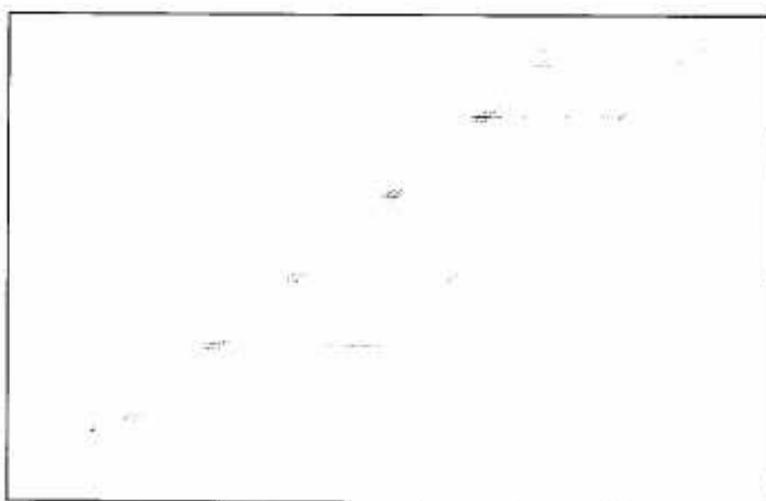


Fig. 1.12 – Leito ou escada para cabos

Os quadros de distribuição – QGF, CCM e QDL – instalados abrigados e em ambiente de atmosfera normal devem, em geral, apresentar grau de proteção IP-40, característico de execução normal. Em ambientes de atmosfera poluída, devem apresentar grau de proteção IP-54. Estes são vedados e não devem possuir instrumentos e botões de acionamento fixados exteriormente.

As principais características dos quadros de distribuição são:

- tensão nominal;
- corrente nominal (capacidade do barramento principal);
- resistência mecânica aos esforços de curto-circuito para o valor de crista;
- grau de proteção;
- acabamento (revestido de proteção e pintura final).

Deve-se prever circuito de reserva nos quadros de distribuição, de forma a satisfazer os seguintes critérios determinados pela NBR 5410/97:

- quadros de distribuição com até 6 circuitos: espaço para no mínimo 2 circuitos de reserva;
- quadros de distribuição contendo de 7 a 12 circuitos: espaço para no mínimo 3 circuitos;
- geradores de distribuição contendo de 13 a 30 circuitos: espaço para no mínimo 4 circuitos;
- quadros de distribuição contendo acima de 30 circuitos: espaço reserva para uso no mínimo 15% dos circuitos existentes.

As chapas dos quadros de distribuição devem sofrer tratamento adequado, a fim de prevenir os efeitos nefastos da corrosão. As técnicas de tratamento de chapas e aplicação de revestimentos protetores e decorativos devem ser estudadas em literatura específica. A Fig. 1.14 (a) e (b) mostra respectivamente os detalhes construtivos de um quadro de distribuição e, após montado, os devidos componentes elétricos instalados.

1.5 – MEIOS AMBIENTES

Todo projeto de uma instalação elétrica deve levar em consideração as particularidades das influências externas, tais como temperatura, altitude, raios solares, etc. Para classificar estes ambientes, a NBR 5410/97 estabelece uma codificação específica através de uma combinação de letras e números. As tabelas organizadas, classificando as influências externas, podem ser consultadas diretamente na norma brasileira anteriormente mencionada. Resumidamente, essas influências externas podem ser assim classificadas.

1.5.1 – Temperatura ambiente

Todo material elétrico, notadamente os condutores, sofrem grandes influências no seu dimensionamento em função da temperatura a que são submetidos. A temperatura ambiente a ser considerada para um determinado componente é a temperatura local onde ele deve ser instalado, resultante da influência de todos os demais componentes situados no mesmo local e em funcionamento, sem levar em consideração a contribuição térmica do componente em questão.

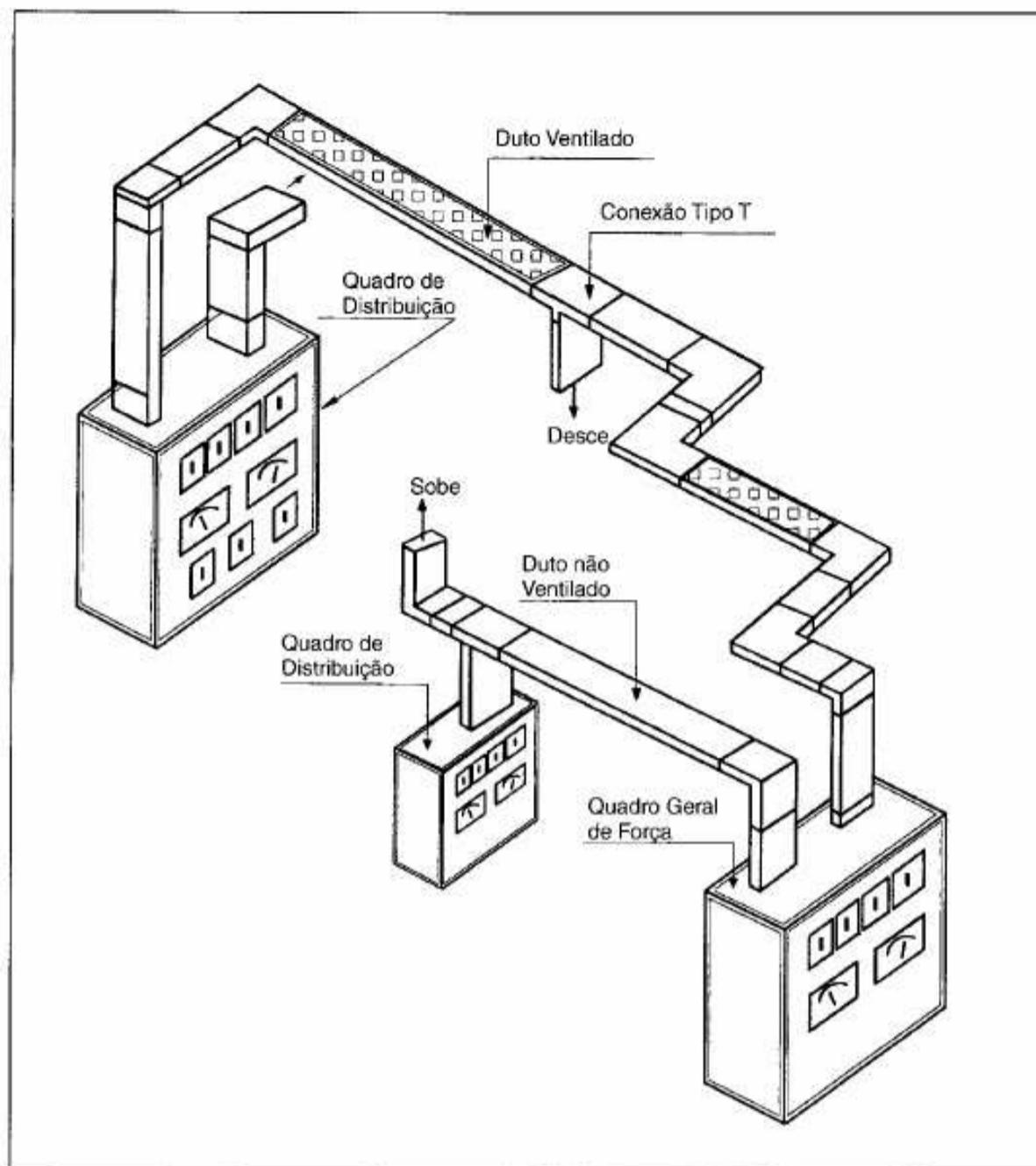


Fig. 1.13 – Exemplo de aplicação de dutos de barras

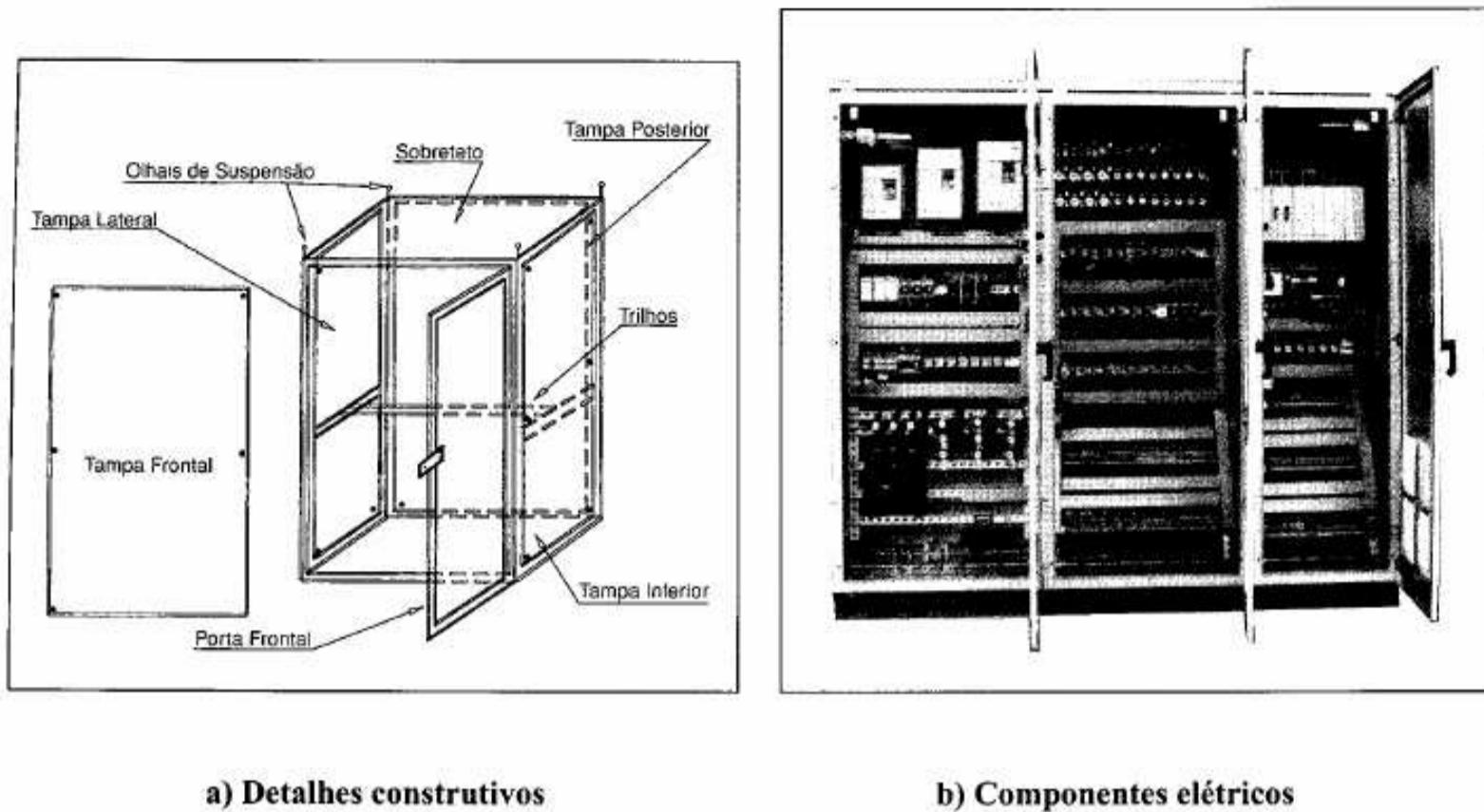
A seguir, serão indicados os códigos, a classificação e as características dos meios ambientes:

- AA1: frigorífico: -60°C a $+5^{\circ}\text{C}$;
- AA2: muito frio: -40°C a $+5^{\circ}\text{C}$;
- AA3: frio: -25°C a $+5^{\circ}\text{C}$;
- AA4: temperado: -5°C a $+40^{\circ}\text{C}$;
- AA5: quente: $+5^{\circ}\text{C}$ a 40°C ;
- AA6: muito quente: $+5^{\circ}\text{C}$ a $+60^{\circ}\text{C}$;

1.5.2 – Altitude

Devido à rarefação do ar, em altitudes superiores a 1.000 m, alguns componentes elétricos, tais como motores e transformadores, merecem considerações especiais no seu dimensionamento. A classificação da NBR 5410/97 é:

- AC1: baixa: $\leq 2.000\text{ m}$;
- AC2: alta $> 2.000\text{ m}$.

**a) Detalhes construtivos****b) Componentes elétricos****Fig. 1.14 – Quadro de distribuição**

1.5.3 – Presença de água

A presença de umidade e água é fator preocupante na seleção de equipamentos elétricos. A classificação é:

- AD1: a probabilidade de presença de água é desprezível;
- AD2: possibilidade de queda vertical de água;
- AD3: possibilidade de chuva caindo em uma direção em ângulo de 60° com a vertical;
- AD4: possibilidade de projeção de água em qualquer direção;
- AD5: possibilidade de jatos de água sob pressão em qualquer direção.
- AD6: possibilidade de ondas de água;
- AD7: possibilidade de recobrimento intermitente, parcial ou total de água;
- AD8: possibilidade de total recobrimento por água de modo permanente.

1.5.4 – Presença de corpos sólidos

A poeira ambiente prejudica a isolação dos equipamentos, principalmente quando associada à umidade. Também, a segurança das pessoas quanto à possibilidade de contato acidental implica o estabelecimento da seguinte classificação:

- AE1: não existe nenhuma quantidade apreciável de poeira ou de corpos estranhos;
- AE2: presença de corpos sólidos cuja menor dimensão é igual ou superior a 2,5 m;
- AE3: presença de corpos sólidos cuja menor dimensão é igual ou inferior a 1 mm;
- AE4: presença de poeira em quantidade apreciável.

1.5.5 – Presença de substâncias corrosivas ou poluentes

Estas substâncias são altamente prejudiciais aos materiais elétricos em geral, notadamente às isolações. A classificação desses ambientes é:

- AF1: a quantidade ou natureza dos aspectos corrosivos ou poluentes não é significativa;
- AF2: presença significativa de agentes corrosivos ou de poluentes de origem atmosférica;
- AF3: ações intermitentes ou acidentais de produtos químicos corrosivos ou poluentes;

- AF4: ação permanente de produtos químicos corrosivos ou poluentes em quantidade significativa.

1.5.6 – Vibrações

As vibrações são prejudiciais ao funcionamento dos equipamentos, notadamente às conexões elétricas correspondentes, cuja classificação é:

- AH1: fracas: vibrações desprezíveis;
- AH2: médias: vibrações com freqüência entre 10 e 50 Hz e amplitude igual ou inferior a 0,15 mm;
- AH3: significativas: vibrações com freqüência entre 10 e 150 Hz e amplitude igual ou superior a 0,35 mm.

1.5.7 – Radiações solares

A radiação, principalmente a ultravioleta, altera a estrutura de alguns materiais, sendo as isolações à base de compostos plásticos as mais prejudicadas. A classificação é:

- AN1: desprezível;
- AN2: radiação solar de intensidade e/ou duração prejudicial.

1.5.8 – Raios

Os raios podem causar sérios danos aos equipamentos elétricos, tanto pela sobretensão, quanto pela incidência direta sobre eles. Quanto à classificação, tem-se:

- AQ1: desprezível;
- AQ2: indiretos: riscos provenientes da rede de alimentação;
- AQ3: diretos: riscos provenientes de exposição dos equipamentos.

1.5.9 – Resistência elétrica do corpo humano

As pessoas estão sujeitas ao contato acidental na parte viva das instalações, cuja seriedade da lesão está diretamente ligada às condições de umidade ou à presença de água no corpo. A classificação neste caso é:

- BB1: elevada: condição de pele seca;
- BB2: normal: condição de pele úmida (suor);
- BB3: fraca: condição de pés molhados;
- BB4: muito fraca: condição do corpo imerso, como em piscinas e banheiros.

1.5.10 – Contato das pessoas com potencial de terra

As pessoas quando permanecem num local onde há presença de partes elétricas energizadas estão sujeitas a riscos de contato com as partes vivas desta instalação, cujos ambientes são assim classificados:

- BC1: nulos: pessoas em locais não-condutores;
- BC2: fracos: pessoas que não corram risco de entrar em contato sob condições habituais com elementos condutores que não estejam sobre superfícies condutoras;
- BC3: freqüentes: pessoas em contato com elementos condutores ou se locomovendo sobre superfícies condutoras;
- BC4: contínuos: pessoas em contato permanente com paredes metálicas e cujas possibilidades de interromper os contatos são limitadas.

A norma estabelece a classificação de outros tipos de ambientes que a seguir serão apenas citados:

- presença de flora e mofo;
- choques mecânicos;
- presença de fauna;
- influências eletromagnéticas, eletrostáticas ou ionizantes;

18 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

- competência das pessoas;
- condições de fuga das pessoas em emergência;
- natureza das matérias processadas ou armazenadas;
- materiais de construção;
- estrutura de prédios.

Os projetistas devem considerar no desenvolvimento de sua planta todas as características referentes ao ambiente, tomando as providências necessárias para tornar o projeto perfeitamente correto quanto à segurança do patrimônio e das pessoas qualificadas ou não para o serviço de eletricidade.

1.6 – GRAUS DE PROTEÇÃO

Refletem a proteção de invólucros metálicos quanto à entrada de corpos estranhos e penetração de água pelos orifícios destinados à ventilação ou instalação de instrumentos, pelas junções de chapas, portas, etc.

As normas especificam os graus de proteção através de um código composto pelas letras IP, seguidas de dois algarismos que significam:

a) Primeiro algarismo

Indica o grau de proteção quanto à penetração de corpos sólidos e quanto a contatos acidentais, ou seja:

- 0 – sem proteção;
- 1 – corpos estranhos com dimensões acima de 50 mm;
- 2 – corpos estranhos com dimensões acima de 12 mm;
- 3 – corpos estranhos com dimensões acima de 2,5 mm;
- 4 – corpos estranhos com dimensões acima de 1 mm;
- 5 – proteção contra acúmulo de poeira prejudicial ao equipamento;
- 6 – proteção contra penetração de poeira.

b) Segundo algarismo

Indica o grau de proteção quanto à penetração de água, ou seja:

- 0 – sem proteção;
- 1 – pingos de água na vertical;
- 2 – pingos de água até a inclinação de 15º com a vertical;
- 3 – água de chuva até a inclinação de 60º com a vertical;
- 4 – respingos em todas as direções;
- 5 – jatos de água em todas as direções;
- 6 – imersão temporária;
- 7 – imersão;
- 8 – submersão.

Através das várias combinações entre os algarismos citados, pode-se determinar o grau de proteção desejado para um determinado tipo de invólucro metálico, em função de sua aplicação numa atividade específica. Porém, por economia de escala, os fabricantes de invólucros metálicos padronizam seus modelos para alguns tipos de grau de proteção, sendo os mais comuns os de grau de proteção IP54, destinados a ambientes externos, e os de grau de proteção IP53, utilizados em interiores.

1.7 – PROTEÇÃO CONTRA RISCOS DE INCÊNDIO E EXPLOSÃO

As indústrias, em geral, estão permanentemente sujeitas a riscos de incêndio. Dependendo do produto que fabricam, são bastante vulneráveis a explosões, às quais normalmente se segue um incêndio. Para prevenir contra essas ocorrências, existem normas nacionais e internacionais que disciplinam os procedimentos de segurança que procuram eliminar esses acidentes. Julga-se oportuno citar os diversos itens a seguir discriminados constantes da norma NR-10 do Grides/Eletrobrás.

a) Todas as partes das instalações elétricas devem ser projetadas, executadas e conservadas de forma a prevenir os riscos de incêndios e explosões, atendendo especificamente ao estabelecido na NBR 9883.

b) As instalações elétricas sujeitas a maior risco de incêndio e explosão devem ser projetadas e executadas com dispositivos automáticos de proteção contra sobrecorrente e sobretensão, de detecção, alarme e extinção de incêndios.

c) Os ambientes das instalações elétricas que apresentem risco de incêndio devem ter proteção contra incêndio e sinalização de segurança, de acordo com as prescrições estabelecidas pelas NBR 5410 (NB-3) e NBR 5414, aplicando-se também, onde couber, o disposto na NR-23.

d) Os extintores de incêndio, nas instalações elétricas, devem ser do tipo dióxido de carbono, pó químico seco, ou outro elemento não condutor de eletricidade, nas capacidades estabelecidas pela NR-23, sendo a extinção de incêndios com sistemas fixos de água nebulizada restritos a equipamentos (transformadores, disjuntores, capacitores) a grande volume de óleo, de acordo com NBR 8674.

e) Os extintores de incêndio devem ser instalados no ambiente das instalações elétricas, em locais sinalizados, protegidos das intempéries.

f) Ambientes de salas e recintos sujeitos à presença de gases inflamáveis e/ou explosivos devem apresentar as seguintes condições mínimas de segurança:

- ser equipados com portas do tipo corta-fogo;
- possuir o sistema elétrico do tipo à prova de explosão;
- possuir sinalização que informe o risco existente e os procedimentos para atendimento a casos de emergência.

g) As partes das instalações elétricas sujeitas à acumulação de eletricidade estática devem ser aterradas, segundo-se as prescrições estabelecidas pela NBR 5410/97.

h) Os mancais e os eixos de transmissão com polias metálicas devem ser aterrados, as correias devem ser providas de pentes coletores ligados à terra e dispostos de modo que os dentes, dirigidos para a correia, estejam em leve contato no ponto em que ela deixa a polia.

i) As partes metálicas das instalações destinadas a misturar, distribuir e armazenar líquidos inflamáveis ou secos pulverulentos e não condutores devem ser ligadas eletricamente entre si à terra em pontos suficientes para garantir a descarga contínua de toda eletricidade estática que nelas se acumule.

j) Em locais onde são transvasados líquidos inflamáveis, o recipiente que se enche e o que se esvazia devem estar ligados entre si à terra.

k) Nos locais com riscos de incêndio ou explosão, em instalações elétricas e durante os serviços de reparação, deve haver sinalização com placas de aviso que chamem atenção para os riscos com eletricidade estática.

1.8 – CÁLCULOS ELÉTRICOS

O cálculo elétrico permitirá ao projetista determinar o valor da capacidade dos diversos componentes do sistema, a fim de que sejam especificados e quantificados.

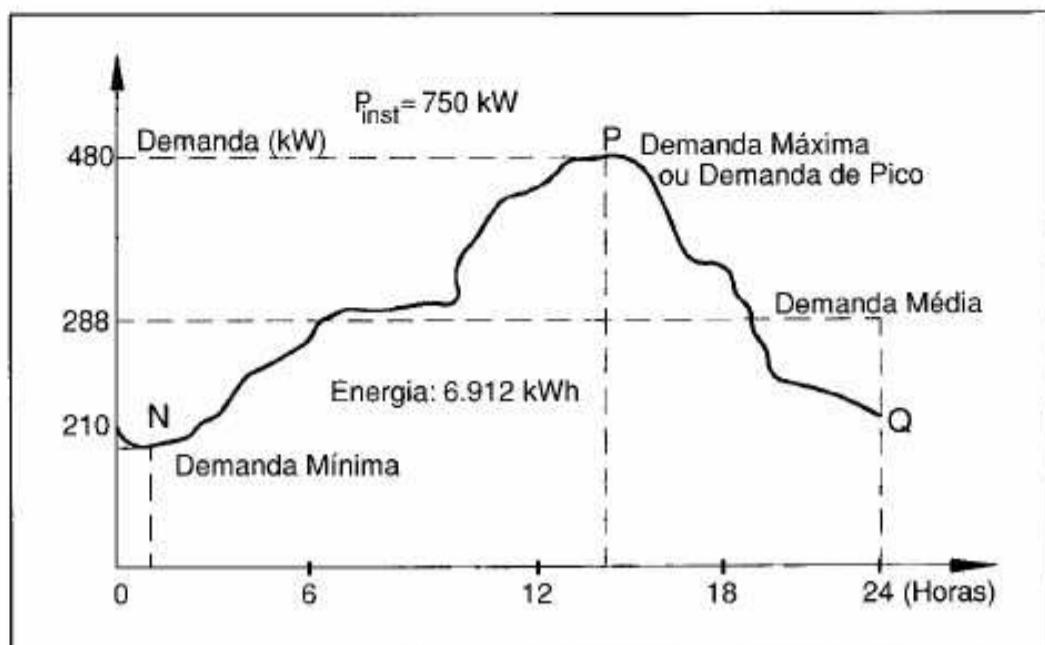


Fig. 1.15 – Pontos importantes de uma curva de carga

1.8.1 – Considerações sobre curvas de carga

Apesar de a determinação correta dos pontos da curva de carga de uma planta industrial somente ser possível durante o seu funcionamento em regime, deve-se, através de informação do ciclo de operação dos diferentes setores de produção, idealizar, aproximadamente, a conformação da curva de demanda da carga em relação ao tempo, a fim de determinar uma série de fatores que poderão influenciar o dimensionamento dos vários componentes elétricos da instalação. As curvas de carga das plantas industriais variam em função da coordenação das atividades dos diferentes setores de produção, bem como em relação ao período de funcionamento diário. No primeiro caso, é de interesse da gerência administrativa manter controlado o valor da demanda de pico, a fim de diminuir o custo operacional da empresa. Isto é conseguido através de um estudo global das atividades de produção, deslocando-se a operação de certas máquinas para horários diferentes, diversificando-se, assim, as demandas das mesmas. O segundo caso, em geral, é fixado já durante a concepção do projeto econômico.

A Fig. 1.15 representa, genericamente, uma curva de carga de uma instalação industrial em regime de funcionamento de 24 horas. A partir da formação da curva de carga podem ser definidos os seguintes fatores:

1.8.1.1 – Fator de demanda

É a relação entre a demanda máxima do sistema e a carga total conectada a ele, durante um intervalo de tempo considerado.

A carga conectada é a soma das potências nominais contínuas dos aparelhos consumidores de energia elétrica.

O fator de demanda é, usualmente, menor que a unidade. Seu valor somente é unitário se a carga conectada total for ligada simultaneamente por um período suficientemente grande, tanto quanto o intervalo de demanda.

A Eq. (1.3) mede, matematicamente, o valor do fator de demanda, que é adimensional.

$$F_d = \frac{D_{\max}}{P_{mst}} \quad (1.3)$$

D_{\max} - demanda máxima da instalação, em kW ou KVA;

P_{inst} - potência da carga conectada, em kW ou kVA.

Com relação à Fig. 1.15 o valor do fator de demanda é:

$$F_d = \frac{480}{750} = 0,64$$

A Tabela 1.3 fornece os fatores de demanda para cada grupamento de motores e para operação independente.

Tabela 1.3 – Fatores de demanda

Número de motores em operação	Fator de demanda em %
1 - 10	70 - 80
11 - 20	60 - 70
21 - 50	55 - 60
51 - 100	50 - 60
Acima de 100	45 - 55

1.8.1.2 – Fator de carga

É a razão entre a demanda média durante um determinado intervalo de tempo e a demanda máxima registrada no mesmo período.

Normalmente, o fator de carga refere-se ao período de carga diária, semanal, mensal e anual. Quanto maior o período de tempo ao qual se relaciona o fator de carga, menor o seu valor, isto é, o fator de carga anual é menor que o mensal, que, por sua vez, é menor que o semanal, e assim sucessivamente.

O fator de carga é sempre maior que zero e menor ou igual à unidade. O fator de carga mede o grau no qual a demanda máxima foi mantida durante o intervalo de tempo considerado; ou ainda, mostra se a energia está sendo utilizada de forma racional por parte de uma determinada instalação. Manter um elevado fator de carga no sistema significa obter os seguintes benefícios:

- otimização dos investimentos da instalação elétrica;
- aproveitamento racional e aumento da vida útil da instalação elétrica, incluídos os motores e equipamentos;
- redução do valor da demanda pico.

O fator de carga diário pode ser calculado pela Eq. (1.4).

$$F_{cd} = \frac{D_{m\acute{e}d}}{D_{m\acute{a}x}} \quad (1.4)$$

O fator de carga mensal pode ser calculado pela Eq. (1.5).

$$F_{cm} = \frac{C_{kwh}}{730 \times D_{m\acute{a}x}} \quad (1.5)$$

C_{kwh} - consumo de energia elétrica durante o período de tempo considerado;

$D_{m\acute{a}x}$ - demanda máxima do sistema para o mesmo período, em kW;

$D_{m\acute{e}d}$ - demanda média do período, calculada através de integração da curva de carga da Fig. 1.15, o equivalente ao valor do lado do retângulo de energia correspondente ao eixo da ordenada. A área do retângulo é numericamente igual ao consumo de energia do período. Relativamente à curva da Fig. 1.15, o fator de carga diário da instalação é:

$$F_{cd} = \frac{D_{m\acute{e}d}}{D_{m\acute{a}x}} = \frac{288}{480} = 0,60$$

Com relação ao fator de carga mensal, considerando que o consumo de energia elétrica registrado na conta de luz da concessionária foi de 152.800 kWh, pode-se calcular o seu valor diretamente da Eq. (1.5), ou seja:

$$F_{cm} = \frac{C_{kwh}}{730 \times D_{m\acute{a}x}} = \frac{152.800}{730 \times 480} = 0,43$$

Com base no fator de carga mensal pode-se determinar o preço médio pago pela energia consumida, ou seja:

$$P_{me} = \frac{TD}{F_{cm} \times 730} + TC \quad (1.6)$$

TC - tarifa de consumo de energia elétrica, em R\$/kWh ou US\$/kWh;

TD - tarifa de demanda de energia elétrica, em R\$/kW ou US\$/kW.

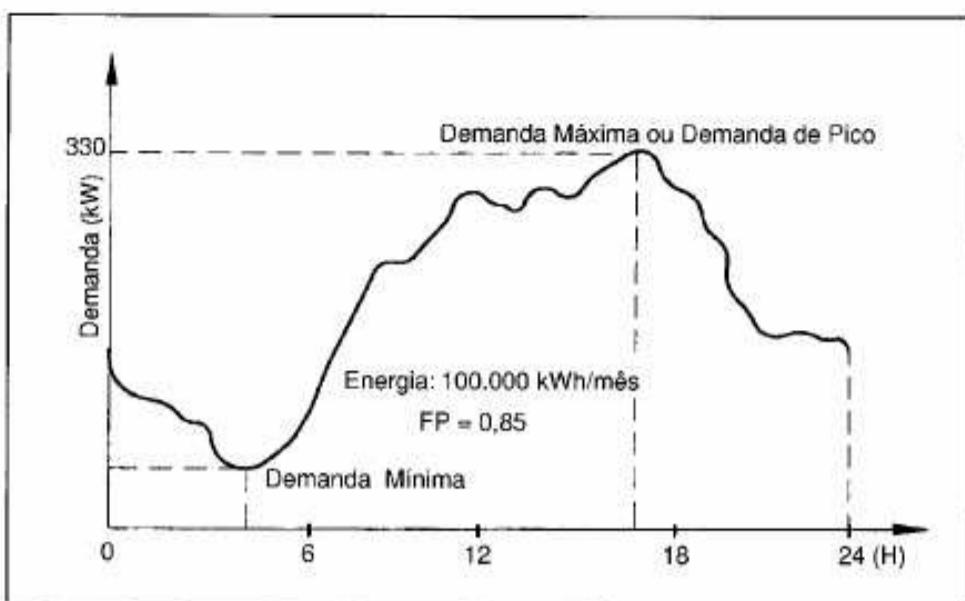


Fig. 1.16 – Curva de carga não otimizada

Dentre as práticas que merecem maior atenção num estudo global de economia de energia elétrica está a melhoria do fator de carga, que pode, simplificadamente, ser resumida em dois itens:

- conservar o consumo e reduzir a demanda;
- conservar a demanda e aumentar o consumo.

Essas duas condições podem ser reconhecidas através da análise da Eq. (1.5). Cada uma delas tem uma aplicação típica. A primeira, que se caracteriza como a mais comum, é peculiar àquelas indústrias que iniciam um programa de conservação de energia mantendo a mesma quantidade do produto fabricado. É bom lembrar neste ponto que, dentro de qualquer produto fabricado, está contida uma parcela de consumo de energia elétrica, isto é, de kWh, e não de demanda, kW. Logo, mantida a produção, deve-se atuar sobre a redução de demanda, que pode ser obtida, com sucesso, através do deslocamento da operação de certas máquinas para outros intervalos de tempo de baixo consumo na curva de carga da instalação.

Isso requer, via de regra, alteração nos turnos de serviço e, algumas vezes, o dispêndio de adicionais na mão-de-obra, para atender à legislação trabalhista.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

As Figs. 1.16 e 1.17 representam a situação operativa diária de uma planta industrial respectivamente antes e depois da aplicação de um estudo de melhoria do fator de carga, conservando o mesmo nível de produção. Determinar a economia de energia elétrica resultante, ou seja:

- Situação anterior à adoção das medidas para melhoria do fator de carga.

- Fator de Carga

$$F_{cma} = \frac{100.000}{730 \times 330} = 0,41$$

- Valor da conta de energia

Considerando-se o valor da tarifa industrial média brasileira em US\$, tem-se:

- Tarifa de consumo fora de ponta: $TC = \text{US\$ } 0,05185/\text{kWh}$;
- Tarifa de demanda fora de ponta: $TD = \text{US\$ } 5,84/\text{kW}$.

Logo, a fatura correspondente vale:

$$F_a = 100.000 \times 0,05185 + 330 \times 5,84$$

$$F_a = \text{US\$ } 7.112,20$$

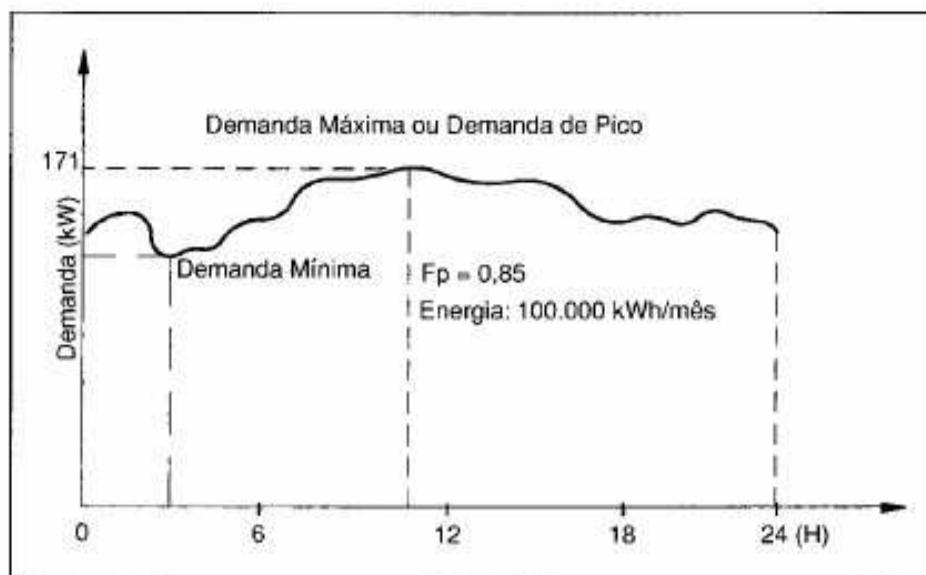


Fig. 1.17 – Curva de carga otimizada

- Preço médio pago pela energia consumida

Pode ser calculado pela Eq. (1.6):

$$P_{me} = \frac{5,84}{0,41 \times 730} + 0,05185 = \text{US\$ } 0,07136/\text{kWh}$$

- b) Situação posterior à adoção das medidas para melhoria do fator de carga

- Fator de carga

$$F_{cmb} = \frac{100.000}{730 \times 171} = 0,80$$

- Valor da conta de energia

$$F_b = 100.000 \times 0,05185 + 171 \times 5,84$$

$$F_b = \text{US\$ } 6.183,64$$

- Preço médio pago pela energia consumida

$$P_{me} = \frac{5,84}{0,80 \times 730} + 0,05185 = \text{US\$ } 0,06185/\text{kWh}$$

- Economia percentual resultante

$$\Delta F = \frac{7.112,20 - 6.183,64}{6.183,64} \times 100 = 15,0\%$$

É notória a diferença da conta de energia elétrica paga pela empresa e, consequentemente, de suas despesas operacionais, permitindo que o produto fabricado nessas condições apresente maior competitividade no mercado, principalmente se nele é expressiva a parcela de energia elétrica no custo final de produção.

Analizando agora o segundo método para se obter a melhoria do fator de carga, isto é, conservar a demanda e aumentar o consumo, observa-se que ele é destinado aos casos, por exemplo, em que determinada indústria deseja implementar os seus planos de expansão e esteja limitada pelo dimensionamento de algumas partes de suas instalações, tais como as unidades de transformação, barramento, etc.

Sem necessitar investir na ampliação do sistema elétrico, o empresário poderá aproveitar-se da formação de sua curva de carga e tocar todo o novo empreendimento no intervalo de baixo consumo de suas atuais atividades, como mostra a Fig. 1.16.

Além da vantagem de não precisar fazer investimentos, contribuirá significativamente com a melhoria de seu fator de carga, reduzindo substancialmente o preço da conta de energia cobrada pela concessionária. Além dessas práticas citadas, para a melhoria do fator de carga são usuais duas outras providências que dão excelentes resultados:

24 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

a) Controle automático da demanda

Esta metodologia consiste em segregar certas cargas ou setores definidos da indústria e alimentá-los através de circuitos expressos comandados por disjuntores controlados através de um dispositivo sensor de demanda, regulado para operar no desligamento dessas referidas cargas toda vez que a demanda atingir o valor máximo predeterminado. Nem todas as cargas se prestam para atingir esse objetivo, pois não se recomenda que o processo produtivo seja afetado.

Pelas características próprias, as cargas mais comumente selecionadas são:

- sistema de ar condicionado;
- estufas;
- fornos de alta temperatura;
- câmaras frigoríficas.

Mesmo assim é necessário frisar que a sua seleção deve ser precedida de uma análise de consequências práticas deste método. Por exemplo, o desligamento do sistema de climatização de uma indústria têxtil por um tempo excessivo poderá trazer sérias consequências para a qualidade de produção.

Os tipos de carga anteriormente selecionados são indicados para tal finalidade por dois motivos básicos. Primeiro, porque a sua inércia térmica, em geral, permite que as cargas sejam desligadas por um tempo suficiente grande sem afetar a produção. Segundo, por serem normalmente constituídas de grandes blocos de potência unitária, tornando-se facilmente controláveis.

b) Reprogramação da operação das cargas

Consiste em estabelecer horários de operação de certas máquinas de grande porte ou mesmo de certos setores de produção, ou, ainda, redistribuir o funcionamento destas cargas em períodos de menor consumo de energia elétrica. Essas providências podem ser impossíveis para determinadas indústrias, como aquelas que operam com fatores de carga elevado, tal como a indústria de cimento, porém são perfeitamente factíveis para outros tipos de plantas industriais.

O controle automático da demanda bem como a reprogramação da operação de cargas são práticas já bastante conhecidas das indústrias desde o início da implantação das tarifas especiais como a horo-sazonal, a tarifa verde, etc.

1.8.1.3 – Fator de perda

É a relação entre a perda de potência na demanda média e a perda de potência na demanda máxima, considerando um intervalo de tempo especificado.

O fator de perda nas aplicações práticas é tomado como uma função do fator de carga, conforme a Eq. (1.7).

$$F_p = 0,30 \times F_c + 0,70 \times F_c^2 \quad (1.7)$$

Enquanto o fator de carga se aproxima de zero, o fator de perda também o faz. Para a curva de carga da Fig. 1.17, o fator de perda vale:

$$F_p = 0,30 \times 0,80 + 0,70 \times 0,80^2 = 0,68$$

1.8.1.4 – Fator de simultaneidade

É a relação entre a demanda máxima do grupo de aparelhos e a soma das demandas individuais dos aparelhos do mesmo grupo, num intervalo de tempo considerado. O fator de simultaneidade resulta da coincidência das demandas máximas de alguns aparelhos do grupo de carga, devido à natureza de sua operação. O seu inverso é chamado de fator de diversidade.

A aplicação do fator de simultaneidade em instalações industriais deve ser precedida de um estudo minucioso para que se evite o subdimensionamento dos circuitos e equipamentos.

A taxa de variação do decréscimo do fator de simultaneidade, em geral, depende da heterogeneidade da carga.

O fator de simultaneidade é sempre inferior à unidade, enquanto o fator de diversidade, considerado o inverso deste, é sempre superior a 1.

A Tabela 1.4 fornece os fatores de simultaneidade para diferentes potências de motores em grupamentos e outros aparelhos.

Tabela 1.4 – Fatores de simultaneidade

Aparelhos (cv)	Número de Aparelhos							
	2	4	5	8	10	15	20	50
Motores: 3/4 a 2,5	0,85	0,80	0,75	0,70	0,60	0,55	0,50	0,40
Motores: 3 a 15	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70	0,65	0,55	0,45
Motores: 20 a 40 cv	0,80	0,80	0,80	0,75	0,65	0,60	0,60	0,50
Acima de 40 cv	0,90	0,80	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65	0,60
Retificadores	0,90	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70
Soldadores	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30
Fornos resistivos	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
Fornos de indução	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-

1.8.1.5 – Fator de utilização

É o fator pelo qual deve ser multiplicada a potência nominal do aparelho para se obter a potência média absorvida pelo mesmo, nas condições de utilização. A Tabela 1.5 fornece os fatores de utilização dos principais equipamentos utilizados nas instalações elétricas industriais.

Na falta de dados mais precisos, pode ser adotado um fator de utilização igual a 0,75 para motores, enquanto para aparelhos de iluminação, ar-condicionado e aquecimento o fator de utilização deve ser unitário.

Tabela 1.5 – Fatores de utilização

Aparelhos	Fator de utilização
Fornos a resistência	1,00
Secadores, caldeiras, etc.	1,00
Fornos de indução	1,00
Motores de 3/4 a 2,5 cv	0,70
Motores de 3 a 15 cv	0,83
Motores de 20 a 40 cv	0,85
Acima de 40 cv	0,87
Soldadores	1,00
Retificadores	1,00

1.8.2 – Determinação de demanda de potência

Cabe ao projetista a decisão sobre a previsão da demanda da instalação, a qual deve ser tomada em função das características da carga e do tipo de operação da indústria.

Há instalações industriais em que praticamente toda carga instalada está simultaneamente em operação em regime normal, como é o caso de indústrias de fios e tecidos. No entanto, há outras indústrias em que há diversidades de operação entre diferentes setores de produção. É de fundamental importância considerar essas situações no dimensionamento dos equipamentos. Num projeto de instalação elétrica industrial, além das áreas de manufaturados há as dependências administrativas, cujo projeto deve obedecer às características normativas quanto ao número de tomadas por dependência, ao número de pontos de luz por circuito, etc. Nessas condições, a carga prevista num determinado projeto deve resultar da composição das cargas dos setores industriais e das instalações administrativas.

De forma geral, devem ser sugeridas as seguintes precauções:

- considerar a carga de qualquer equipamento como sendo a potência declarada pelo fabricante ou a calculada, em VA, de acordo com os valores nominais de tensão e corrente. Quando se conhecer o fator de potência, obtém-se a carga em W multiplicando-se o valor em VA pelo fator de potência.
- se a potência declarada pelo fabricante for a universal fornecida pelo equipamento de utilização, como ocorre no caso dos motores, deve-se considerar o rendimento do aparelho para se obter a potência absorvida, que é o valor que se deve utilizar para determinar o valor da carga demandada.

26 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

1.8.2.1 – Cargas em locais usados como habitação

Os flats e as unidades de apart-hotéis e similares devem ser considerados como unidades residenciais. Devem ser utilizados os seguintes critérios para compor a carga instalada na habitação:

a) Iluminação

- a carga de iluminação deve ser determinada através de critérios normativos, especialmente os da NBR 14039/98;
- considerar a potência das lâmpadas, as perdas e o fator de potência dos equipamentos auxiliares (reator) quando se tratar de lâmpadas de descarga;
- em cada cômodo ou dependência de unidades residenciais deve ser previsto pelo menos um ponto de luz fixo no teto, com potência mínima de 100 VA, comandado por interruptor de parede;
- nas acomodações de hotéis, motéis e similares, pode-se substituir o critério anterior por tomada de corrente, com potência mínima de 100 VA, comandada por interruptores de parede;
- em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m^2 , deve-se prever uma carga mínima de 100 VA;
- em cômodos ou dependências com área inferior a 6 m^2 deve-se prever uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m^2 de área, acrescendo-se 60 VA para cada 4 m^2 ou fração;

b) Tomadas

- em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA;
- em banheiros, pelo menos uma tomada junto ao lavatório;
- em cozinhas, copas e copas-cozinhas, no mínimo uma tomada para cada $3,50\text{ m}$, ou fração, de perímetro. Acima de cada bancada com largura igual ou superior a $0,30\text{ m}$ deve ser prevista pelo menos uma tomada;
- nos demais cômodos ou dependências;
- se a área for igual ou inferior a 6 m^2 , pelo menos uma tomada;
- se a área for superior a 6 m^2 , pelo menos uma tomada para cada 5 m ou fração, de perímetro, espaçadas tão uniformemente quanto possível;
- às tomadas de corrente devem ser atribuídas as seguintes potências:
 - para tomadas de uso geral, em banheiros, cozinhas, copas, copas-cozinhas e áreas de serviço, no mínimo 600 VA por tomada, até 3 tomadas, e 100 VA por tomada para as excedentes;
 - para as tomadas de uso geral, nos demais cômodos ou dependências, no mínimo 100 VA por tomada;
- as tomadas conjugadas (duplas ou triplas) montadas numa mesma caixa devem ser computadas como um único ponto.
- às tomadas de uso específico deve ser atribuída uma potência igual à potência nominal do equipamento a ser alimentado;
- quando não for possível identificar a potência de utilização do equipamento a ser alimentado, deve-se atribuir à tomada de corrente a potência do equipamento de maior potência que se supõe possa ser conectado;
- como alternativa à condição anterior pode-se determinar a potência da tomada tomando-se como base a sua corrente nominal e a tensão do respectivo circuito;
- as tomadas de uso específico devem ser instaladas a no máximo $1,5\text{ m}$ do local previsto para o equipamento a ser alimentado.

Tabela 1.6 – Cargas nominais aproximadas de aparelhos em geral

Aparelhos	Potências nominais típicas
Aquecedor de água central *de 50 a 200 litros	1.200 W
*de 300 a 350 litros	2.000 W
*400 litros	2.500 W
Aquecedor portátil de ambiente	700 a 1.300 W
Aspirador de pó	250 a 800 W
Cafeteira	1.000 W
Chuveiro	2.000 a 5.300 W
Congelador (Freezer)	350 a 500 VA
Copiadora	1.500 a 6.500 VA
Exaustor de ar (doméstico)	300 a 500 VA
Ferro de passar roupa	400 a 1.650 W
Fogão residencial	4.000 a 6.200 W
Forno residencial	4.500 W
Forno de microondas (residencial)	1.220 W
Geladeira (residencial)	150 a 400 VA
Lavadora de roupas (residencial)	650 a 1.200 VA
Lavadora de pratos (residencial)	1.200 a 2.800 VA
Liquidificador	100 a 250 VA
Secador de roupa	4.000 a 5.000 W
Televisor	150 a 350 W
Torradeira	500 a 1.200 W
Torneira	2.500 a 3.200 W
Ventilador	2.500 VA

1.8.2.2 – Cargas em locais usados como escritório e comércio

As prescrições anteriores podem ser complementadas com as que se seguem:

- Em dependências cuja área seja igual ou inferior a 37 m^2 , a determinação do número de tomadas deve ser feita segundo as duas condições seguintes, adotando-se a que conduzir ao maior valor:
 - uma tomada para cada 3 m , ou fração, de perímetro da dependência;
 - uma tomada para cada 4 m^2 , ou fração, de área da dependência.
- Em dependências cuja área seja superior a 37 m^2 , o número de tomadas deve ser determinado de acordo com as seguintes condições:
 - oito tomadas para os primeiros 37 m^2 de área;
 - 3 tomadas para cada 37 m^2 , ou fração, adicionais.
- Utilizar um número arbitrário de tomadas destinado ao uso de vitrines, demonstração de aparelhos e ligação de lâmpadas específicas.
- Deve-se atribuir a potência de 200 VA para cada tomada.

Em ambientes industriais, o número de tomadas a ser adotado é função de cada tipo de setor.

Para facilitar o projetista na composição do Quadro de Carga, as Tabelas 1.6 e 1.7 fornecem a potência de diversos aparelhos de uso comum. Conhecida a carga a ser instalada, pode-se determinar, a partir da Tabela 1.8, a

28 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

demandas resultante, aplicando-se sobre a carga inicial os fatores de demanda indicados. Com esse resultado, aplicar as equações correspondentes.

Como regra geral, a determinação da demanda pode ser assim obtida:

a) Demanda dos aparelhos

Tabela 1.7 – Cargas nominais aproximadas de aparelhos de ar condicionado

Tipo de Janela			Minicentrais		
BTU	kcal	kW	TR	kcal	kW
7.100	1.775	1,10	3,00	9.000	5,20
8.500	2.125	1,50	4,00	12.000	7,00
10.000	2.500	1,65	5,00	15.000	8,70
12.000	3.000	1,90	6,00	18.000	10,40
14.000	3.500	2,10	7,50	22.500	13,00
18.000	4.500	2,86	8,00	24.000	13,90
21.000	5.250	3,08	10,00	30.000	18,90
27.000	6.875	3,70	12,50	37.500	21,70
30.000	7.500	4,00	15,00	45.000	26,00
			17,00	51.000	29,50
			20,00	60.000	34,70

Tabela 1.8 – Fatores de demanda para iluminação e tomadas

Descrição	Fator de demanda (%)
Auditório, salões para exposição e semelhantes	100
Bancos, lojas e semelhantes	100
Barbearias, salões de beleza e semelhantes	100
Clubes e semelhantes	100
Escolas e semelhantes	100 para os primeiros 12 kW e 50 para o que exceder
Escritório (edifícios de)	100 para os primeiros 20 kW e 70 para o que exceder
Garagens comerciais e semelhantes	100
Hospitais e semelhantes	40 para os primeiros 50 kW e 20 para o que exceder
Hotéis e semelhantes	50 para os primeiros 20 kW – 40 para os seguintes 80 kW – 30 para o que exceder de 100 kW
Igrejas e semelhantes	100
Residências (apartamentos residenciais)	100 para os primeiros 10 kW – 35 para os seguintes 110 kW e 25 para o que exceder de 120 kW
Restaurantes e semelhantes	100

Inicialmente, determina-se a demanda dos aparelhos individuais multiplicando-se a sua potência nominal pelo fator de utilização. Deve-se, no entanto, considerar, no caso de motores, seus respectivos fatores de serviço e rendimento.

Convém lembrar que os condutores dos circuitos terminais devem ser dimensionados para a carga nominal dos aparelhos.

b) Demanda dos quadros de distribuição parciais

É obtida somando-se as demandas individuais dos aparelhos e multiplicando-se o resultado pelo respectivo fator de simultaneidade entre os aparelhos considerados.

Tratando-se de projeto de iluminação à descarga utilizando reator com alto fator de potência, é conveniente admitir um fator de multiplicação sobre a potência nominal das lâmpadas a fim de compensar as perdas próprias do reator e as correntes harmônicas resultantes. Esse fator pode ser considerado igual a 1,8 ou ter outro valor, de conformidade com a especificação do fabricante.

c) Demanda do quadro de distribuição geral

É obtida somando-se as demandas concentradas nos Quadros de Distribuição e aplicando-se o fator de simultaneidade adequado

Quando não for conhecido esse fator com certa precisão, deve-se adotar o valor unitário.

É conveniente informar-se, junto aos responsáveis pela indústria, dos planos de expansão, a fim de prever a carga futura, deixando, por exemplo, reserva de espaço na subestação ou de carga do transformador.

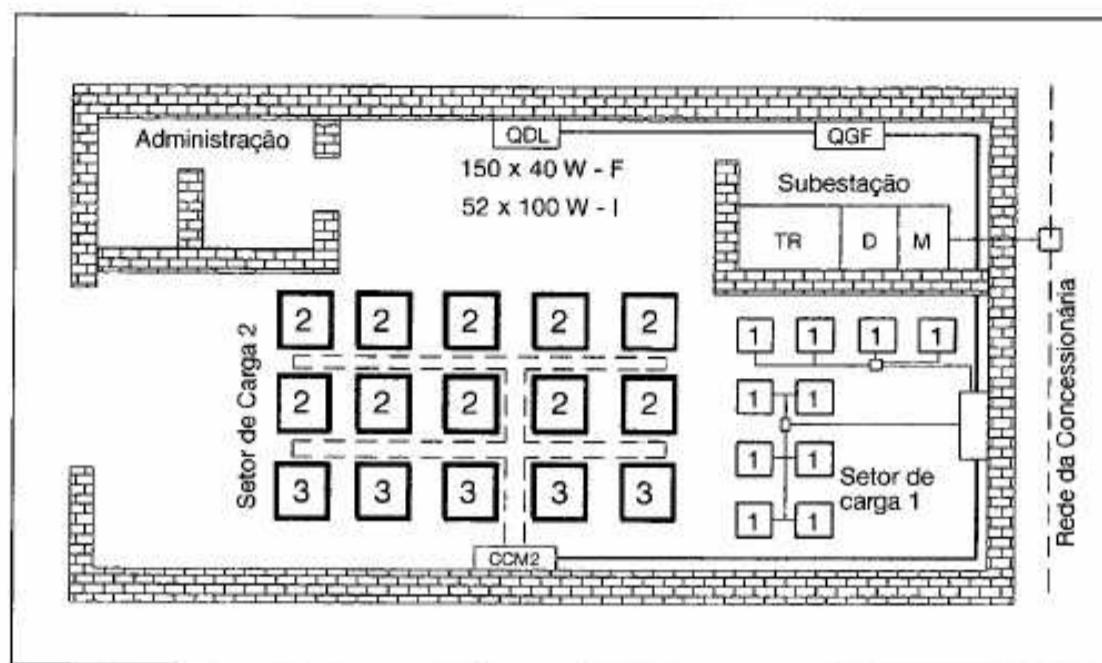


Fig. 1.18 – Planta industrial

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Considerar uma indústria representada na Fig. 1.18, sendo os motores (1) de 75 cv, os motores (2) de 30 cv e os motores (3) de 50 cv. Determinar as demandas dos CCM1, CCM2, QDL e QGF e a potência necessária do transformador da subestação. Considerar que todas as lâmpadas sejam de descarga e os aparelhos da iluminação compensados (alto fator de potência). Todos os motores são de indução, rotor em gaiola e de IV pólos.

a) Demanda dos motores individuais

- Tipo (1)

$$D_{m1} = P_{n1} \times F_{um1}$$

$$D_{m1} = 75 \times 0,87 = 65,2 \text{ cv} \text{ (potência no eixo do motor)}$$

$$D_1 = \frac{65,2 \times 0,736}{0,92 \times 0,86} = 60,6 \text{ kVA} \text{ (potência solicitada da rede)}$$

$$F_{um1} = 0,87 \text{ (Tabela 1.5)}$$

$$\eta = 0,92 \text{ (Tabela 6.3)}$$

$$F_p = 0,86 \text{ (Tabela 6.3)}$$

- Tipo (2)

$$D_{m2} = P_{n2} \times F_{um2}$$

$$D_{m2} = 30 \times 0,85 = 25,5 \text{ cv} \text{ (potência no eixo do motor)}$$

$$D_2 = \frac{25,5 \times 0,736}{0,90 \times 0,83} = 25,1 \text{ (potência solicitada da rede)}$$

$$F_{um2} = 0,85 \text{ (Tabela 1.5)}$$

$$\eta = 0,90 \text{ (Tabela 6.3)}$$

$$F_p = 0,83 \text{ (Tabela 6.3)}$$

30 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

- Tipo (3)

$$D_{m3} = P_{n3} \times F_{um3}$$

$$D_{m3} = 50 \times 0,87 = 43,5 \text{ cv} \text{ (potência no eixo do motor)}$$

$$D_3 = \frac{43,5 \times 0,736}{0,92 \times 0,86} = 40,4 \text{ (potência solicitada da rede)}$$

$$F_{um2} = 0,87 \text{ (Tabela 1.5)}$$

$$\eta = 0,92 \text{ (Tabela 6.3)}$$

$$F_p = 0,86 \text{ (Tabela 6.3)}$$

b) Demanda dos quadros de distribuição

- CCM1

$$D_{ccm1} = N_{m1} \times D_1 \times F_{sm1}$$

$$N_{m1} = 10$$

$$F_{sm1} = 0,65 \text{ (Tabela 1.4)}$$

$$D_{ccm1} = 10 \times 60,6 \times 0,65 = 393,9 \text{ kVA}$$

- CCM2

$$D_{ccm2} = N_{m2} \times D_2 \times F_{sm2} + N_{m3} \times D_3 \times F_{sm3}$$

$$N_{m2} = 10$$

$$N_{m3} = 5$$

$$F_{sm2} = 0,65 \text{ (Tabela 1.4)}$$

$$F_{sm3} = 0,70 \text{ (Tabela 1.4)}$$

$$D_{ccm2} = 10 \times 25,1 \times 0,65 + 5 \times 40,4 \times 0,70 = 304,5 \text{ kVA}$$

c) Demanda no quadro de distribuição geral ou QGF (demanda máxima)

$$D_{qdl} = \frac{1,8 \times 150 \times 40}{0,95 \times 1.000} + \frac{52 \times 100}{1.000} = 16,5 \text{ kVA}$$

$$F_p = 0,95 \text{ (para reator de alto fator de potência)}$$

$$F_m = 1,8 \text{ (fator de multiplicação recomendável para compensar as perdas do reator e as correntes harmônicas)}$$

$$D_{qdl} = D_{máx} = D_{ccm1} + D_{ccm2} + D_{qdl}$$

$$D_{máx} = 393,9 + 304,5 + 16,5 = 715 \text{ kVA}$$

d) Potência nominal do transformador

Podem-se ter as seguintes soluções:

- 1 transformador de 750 kVA;
- 1 transformador de 500 kVA e outro de 225 kVA, em operação em paralelo;
- 1 transformador de 500 kVA e outro de 300 kVA, em operação em paralelo.

A primeira solução é economicamente a melhor, considerando-se tanto o custo do transformador e dos equipamentos necessários à sua operação como o das obras civis. A principal restrição é quanto à contingência de queima do transformador, já que não é facilmente encontrada esta potência em qualquer estabelecimento comercial especializado, ficando neste caso a instalação sem condições de operação.

A segunda solução é economicamente mais custosa, porém a queima de uma unidade de transformação permite a continuidade de funcionamento da indústria, mesmo que precariamente. Além do mais, são transformadores mais facilmente comercializados, principalmente os de 225 kVA.

A terceira solução apresenta os mesmos aspectos da segunda, com um pequeno acréscimo de custo sobre aquela, com uma vantagem de aumento da capacidade de transformação.

d) Cálculo do fator de demanda

$$P_{inst} = \left[\left(\frac{10 \times 75}{0,92 \times 0,86} \right) + \left(\frac{10 \times 30}{0,90 \times 0,83} \right) + \left(\frac{5 \times 50}{0,92 \times 0,86} \right) \right] \times 0,736 + P_{ilum}$$

$$P_{ilum} = D_{qdl}$$

$$P_{inst} = \left[\left(\frac{10 \times 75}{0,92 \times 0,86} \right) + \left(\frac{10 \times 30}{0,90 \times 0,83} \right) + \left(\frac{5 \times 50}{0,92 \times 0,86} \right) \right] \times 0,736 + 16,5 = 1.242,3 \text{ kVA}$$

$$F_d = \frac{D_{max}}{P_{inst}} = \frac{715}{1.242,3} = 0,57$$

1.8.3 – Determinação dos condutores

A partir da potência nominal dos aparelhos, deve-se proceder ao cálculo dos condutores dos circuitos terminais. Esta etapa deve ser realizada para cada aparelho individual, considerando-se cada Quadro de Distribuição. A metodologia de cálculo está apresentada no Cap. 3.

1.8.4 – Determinação das correntes de curto-circuito

Conhecidas todas as seções dos condutores e já tendo definida a concepção da distribuição do sistema, bem como as características da rede de alimentação, devem ser determinadas as correntes de curto-circuito em cada ponto da instalação, notadamente onde serão instalados os equipamentos e dispositivos de proteção. A metodologia de cálculo está explanada no Cap. 5.

1.8.5 – Determinação dos valores de partida dos motores

Trata-se de conhecer as condições da rede durante a partida dos motores a fim de se determinarem os dispositivos de acionamento dos mesmos e os elementos de proteção, entre outros. O Cap. 7 detalha o procedimento de cálculo e analisa as diferentes situações para as condições de partida.

1.8.6 – Determinação dos dispositivos de proteção e comando

A partir dos valores das correntes de curto-circuito e da partida dos motores, deve-se elaborar o esquema de proteção, iniciando-se com a determinação destes dispositivos e dos comandos até a definição da proteção geral. O Cap. 10 analisa e determina os dispositivos de proteção para sistemas primários e secundários.

1.8.7 – Cálculo da malha de terra

O cálculo da malha de terra requer o conhecimento prévio da natureza do solo, das correntes de falta fase-terra e dos tempos de atuação correspondentes dos dispositivos de proteção.

O Cap. 11 expõe a metodologia da determinação da resistividade do solo, traz a seqüência de cálculo que define os principais componentes da malha de terra e mostra a obtenção da resistência de malha.

1.8.8 – Diagrama unifilar

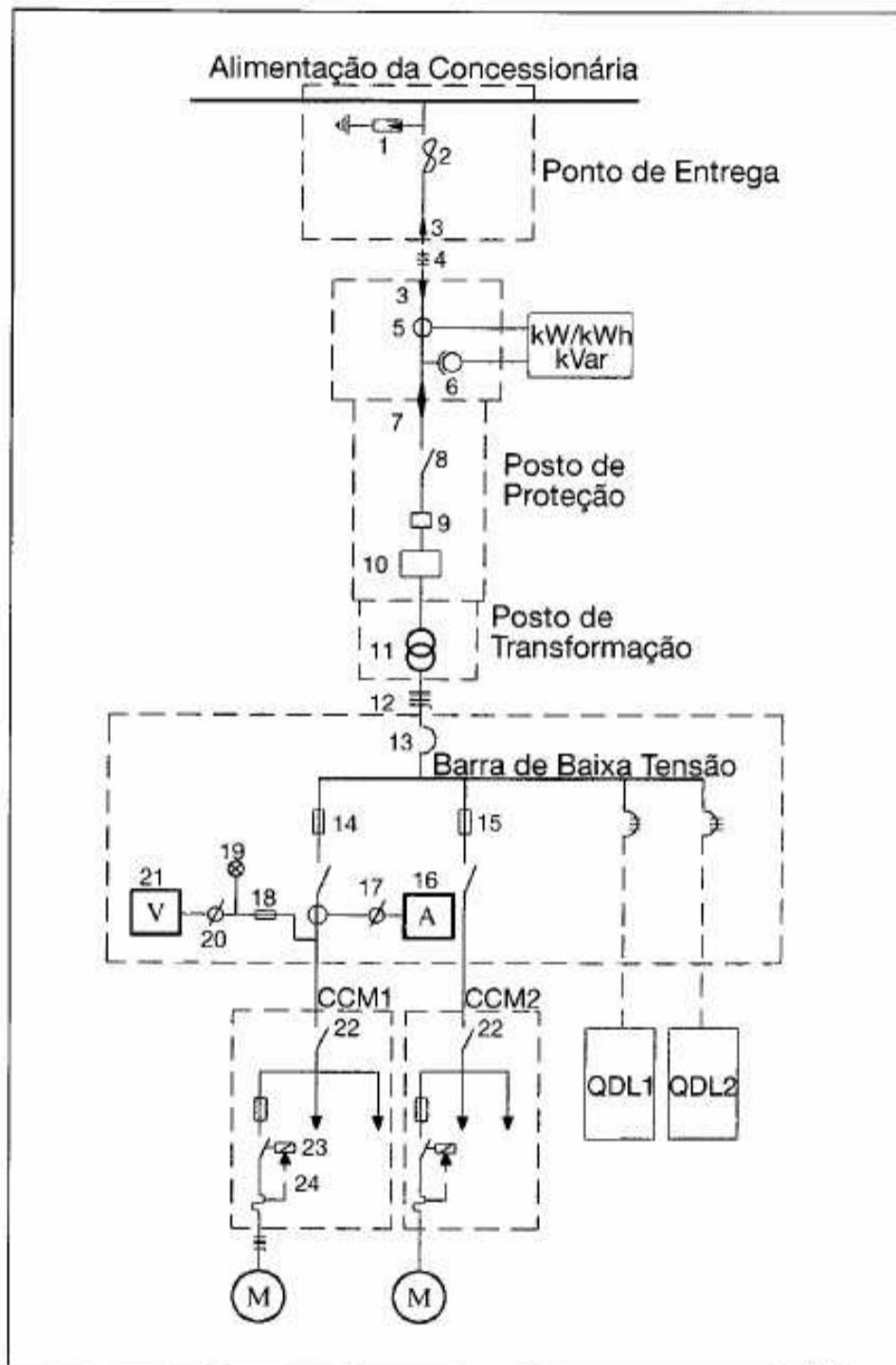
Para o entendimento da operação de uma instalação industrial é fundamental a elaboração do diagrama unifilar, onde devem estar representados, no mínimo, os seguintes elementos:

- chaves fusíveis, seccionadores, condutores e disjuntores com as suas respectivas capacidades nominais e de interrupção;
- indicação da seção dos condutores dos circuitos terminais e de distribuição e dos respectivos tipos (monofásico, bifásico e trifásico);
- dimensão da seção dos barramentos dos Quadros de Distribuição;
- indicação da corrente nominal dos fusíveis;

32 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

- indicação da corrente nominal dos relés, a sua faixa de ajuste e o ponto de atuação;
- potência, tensões primária e secundária, tapes e impedância dos transformadores da subestação;
- pára-raios, muflas, buchas de passagem etc.;
- transformadores de corrente e potencial com as respectivas indicações de relação de transformação;
- posição da medição de tensão e correntes indicativas com as respectivas chaves comutadoras, caso haja;
- lâmpadas de sinalização.

A Fig. 1.19 mostra um diagrama unifilar como exemplo.



1 – pára-raios tipo válvula de 12 kV; 2 – chave fusível indicadora de distribuição de 100 A/15 kV; 3 – mufla terminal de 100 A/15 kV; 4 – cabo isolado em PVC para 15 kV, seção de 25 mm²; 5 – transformador de corrente para medição, classe 15 kV; 6 – transformador de potencial para medição, classe 15 kV – 13.800/115 V; 7 – bucha de passagem externa x interna, 100 A/15 kV; 8 – chave seccionadora tripolar, 100 A/15 kV; 9 – relé eletromagnético primário de ação direta, corrente nominal de 17 A, ajuste de 16 a 20 A, ponto de atuação 18 A; 10 – disjuntor tripolar a pequeno volume de óleo, corrente nominal 400 A/15 kV, comando manual, capacidade de ruptura simétrica de 250 MVA; 11 – transformador de potência de 300 kVA/13.800 – 13.200-12.600/380-220V, ligação triângulo-estrela; 12 – cabo isolado para 750 V, seção de 400 mm², PVC; 13 – disjuntor termomagnético, 600 V/500 A, capacidade de ruptura de 20 kA, com relé térmico com faixa de ajuste de 420 a 500 A, regulado no ponto de 460 A; 14 – fusível tipo NH-160 A; 15 – fusível tipo NH-100 A; 16 – amperímetro de ferro móvel, tipo painel, escala de 0 – 200 A; 17 – comutador para amperímetro; 18 – conjunto de fusível diazed; 19 – lâmpada de sinalização vermelha; 20 – comutador para voltmetro; 21 – voltmetro de ferro móvel, tipo painel, 500 V, escala 0 – 500 V; 22 – chave seccionadora tripolar, abertura em carga, 500 V/100 A; 23 – contactor tripolar, 500 V/80 A; 24 – relé térmico, com faixa de ajuste de 70 a 100 A, regulado no ponto 80 A.

Fig. 1.19 – Esquema unifilar básico

1.8.9 – Memorial descritivo

É importante a elaboração do memorial descritivo, contendo informações necessárias ao entendimento do projeto. Entre outras informações devem constar:

- finalidade do projeto;
- endereço comercial da indústria e o endereço do ponto de entrega de energia;
- carga prevista e demanda justificadamente adotada;
- tipo de subestação (abrigado em alvenaria, blindado, ao tempo);
- proteção e comando de todos os aparelhos utilizados, desde o ponto de entrega de energia até o ponto de consumo;
- características completas de todos os equipamentos de proteção e comando, transformadores, cabos, quadros, etc.;
- memorial de cálculo;
- relação completa de material;
- custo orçamentário.

Os dispositivos não relacionados devem, também, ser indicados conforme a especificação mencionada.

Deve-se ressaltar a importância da especificação dos materiais no que diz respeito às suas características tanto técnicas quanto mecânicas e dimensionais.

As empresas comerciais escolhidas pelo interessado do projeto para apresentarem propostas de fornecimento desses materiais deverão basear-se nas características apresentadas. Caso contrário, durante a abertura das propostas poderão surgir entre os concorrentes conflitos que dificilmente serão sanados, dada a inexistência de qualificação dos materiais requisitados.

1.9 – SIMBOLOGIA

Todo projeto de instalação elétrica requer a adoção de uma simbologia que represente os diversos materiais adotados.

Existem várias normas nacionais e estrangeiras que apresentam os símbolos representativos dos materiais elétricos utilizados em instalações correspondentes.

Os símbolos mais empregados atualmente são os da ABNT, apresentados na Tabela 1.9 de forma resumida. No entanto, a literatura de fabricantes de equipamentos e dispositivos oriundos de outros países conserva, em geral, a simbologia de origem.

Dentro de um mesmo projeto deve-se sempre adotar uma única simbologia, a fim de evitar dúvidas e interpretações errôneas.

34 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

As normas da ABNT às quais todos os projetos devem obedecer a fim de que seja assegurado um elevado padrão técnico na operação da instalação podem ser encontradas à venda nas representações estaduais da ABNT ou em sua sede, na Av. 13 de Maio, 13 – 28.º andar – CEP 20003-900 – Rio de Janeiro – Tel.: 21-210-3122 Fax: 21 - 240-8249 ABNT BR.

Tabela 1.9 – Simbologia gráfica para projetos

Símbolo	Descrição do Símbolo	Símbolo	Descrição do Símbolo
—	Duto embutido no teto	[]	Luz fluorescente no teto
— — —	Duto embutido no piso ou canaleta	— —	Fusível
— —	Duto de telefone	— —	Disjuntor
— — —	Duto de campainha, som e anunciador	— —	Chave seccionadora
— + —	Condutor fase no duto	— —	Chave reversora
— —	Condutor neutro no duto	— —	Contactor magnético
— + —	Condutor de retorno no duto	— —	Relé térmico
— T —	Condutor de proteção no duto	[]	Chave compensadora automática
↗ ↘	Eletroduto que sobe	[]	Chave estrela-triângulo
↗ ↙	Eletroduto que desce	[]	Chave série paralelo
S ₁	Interruptor de 1 seção	○	Transformador de corrente
S ₂	Interruptor de 2 seções	○○	Transformador de força
S ₃	Interruptor de 3 seções	○	Transformador de potencial
S _{4w}	Interruptor three-way	(M)	Motor
S _{4w}	Interruptor four-way	(G)	Gerador
→	Tomada de luz baixa (30 cm do piso)	□	Pára-raios atmosférico
→	Tomada de luz média (1,3 m do piso)	— —	Resistor
☒	Tomada de luz no piso	— —	Símbolo de terra
—○	Tomada trifásica baixa (30 cm do piso)	— + —	Capacitor
→	Tomada de telefone na parede (externa)	— —	Caixa de medidor
→	Tomada de telefone na parede (interna)	— —	Lâmpada de sinalização
○—	Tomada de rádio e TV	— —	Chave seccionadora unipolar
○—	Cigarra	— —	Chave fusível unipolar
○—	Campainha		
☒	Tomada de telefone no piso		
○	Luz incandescente no teto		
○	Luz incandescente na parede		

2

ILUMINAÇÃO INDUSTRIAL

2.1 – INTRODUÇÃO

A iluminação é responsável atualmente por cerca de 17% de toda energia consumida no Brasil. No setor industrial, a participação do consumo da iluminação é de aproximadamente 2%, o que representa a produção de energia elétrica da Hidroelétrica de Sobradinho no Rio São Francisco, no Nordeste do Brasil.

Os recintos industriais devem ser suficientemente iluminados para se obter o melhor rendimento possível nas tarefas a executar. O nível de detalhamento das tarefas exige um iluminamento adequado para se ter uma percepção visual apurada.

Um bom projeto de iluminação, em geral, requer a adoção dos seguintes pontos fundamentais:

- nível de iluminamento suficiente para cada atividade específica;
- distribuição espacial da luz sobre o ambiente;
- escolha da cor da luz e seu respectivo rendimento;
- escolha apropriada dos aparelhos de iluminação;
- tipo de execução das paredes e pisos;
- iluminação de acesso.

O projetista deve dispor das plantas de arquitetura da construção (veja o Cap. 1) com detalhes suficientes para fixar os aparelhos de iluminação. O tipo de teto é de fundamental importância, bem como a disposição das vigas de concreto ou dos tirantes de aço de sustentação, os quais, afinal, podem definir o alinhamento das luminárias. Além disso, a existência de pontes rolantes e máquinas de grande porte deve ser analisada antecipadamente.

Muitas vezes, é necessário complementar a iluminação do recinto para atender certas atividades específicas do processo industrial. Assim, devem ser localizados aparelhos de iluminação em pontos específicos e, muitas vezes, na estrutura das próprias máquinas.

Numa planta industrial, além do projeto de iluminação do recinto de produção propriamente dito, há o desenvolvimento do projeto de iluminação dos escritórios, almoxarifados, laboratórios e área externa, tais como pátio de estacionamento, jardins, locais de carga e descarga de produtos primários e manufaturados, etc.

2.2 – CONCEITOS BÁSICOS

Para melhor entendimento do assunto, serão abordados, a seguir, alguns conceitos clássicos, de modo resumido.

2.2.1 – Iluminância

"É o limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície, quando esta tende para zero."



Fig. 2.1 – Forma de irradiação da luz

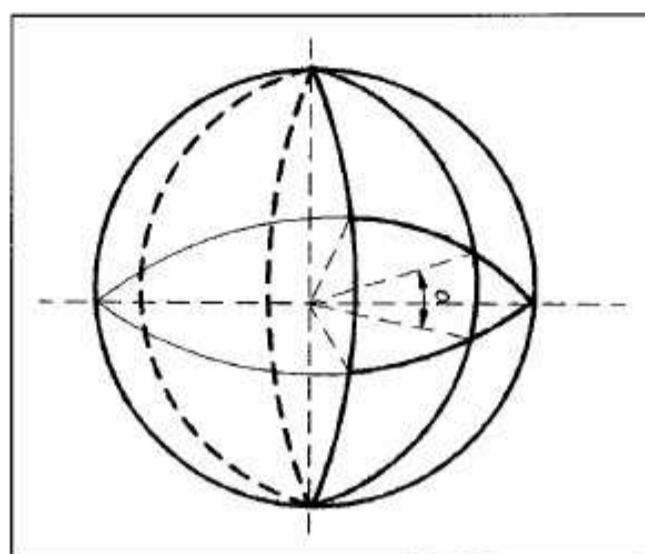


Fig. 2.2 – Demonstração gráfica do ângulo sólido

A iluminância é conhecida também como nível de iluminamento. É expressa em lux, que corresponde ao fluxo luminoso incidente numa determinada superfície por unidade de área. Assim, se uma superfície plana de 1 m² é iluminada perpendicularmente por uma fonte de luz, cujo fluxo luminoso é de 1 lúmen, apresenta uma iluminância de 1 lux, ou seja:

$$E = \frac{F}{S} \text{ (lux)} \quad (2.1)$$

F - fluxo luminoso, em lúmens;

S - área da superfície iluminada, em m².

São clássicos alguns exemplos de iluminância, ou seja:

- dia de sol de verão a céu aberto: 100.000 lux;
- dia com sol encoberto no verão: 20.000 lux;
- noite de lua cheia sem nuvens: 0,25 lux;
- noite à luz de estrelas: 0,001 lux.

2.2.2 – Fluxo luminoso

É a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço. Sua unidade é o lúmen, que representa a quantidade de luz irradiada, através de uma abertura de 1 m² feita na superfície de uma esfera de 1 m de raio, por uma fonte luminosa de intensidade igual a 1 candela, em todas as direções, colocada no seu interior e posicionada no centro.

Como referência, uma fonte luminosa de intensidade igual a uma candela emite uniformemente 12,56 lúmens, ou seja, $4\pi R^2$ lúmens para $R = 1$ m.

O fluxo luminoso também pode ser definido como a potência de radiação emitida por uma determinada fonte de luz e avaliada pelo olho humano.

O fluxo luminoso não poderia ser expresso em watts, já que é função da sensibilidade do olho humano, cuja faixa de percepção varia para o espectro de cores entre os comprimentos de onda de 450 (cor violeta) a 700 nm (cor vermelha). A Fig. 2.1 mostra a forma de irradiação do fluxo luminoso emitido por uma lâmpada incandescente.

2.2.3 – Eficiência luminosa

É a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa e a potência em watts consumida por esta. Deve-se ressaltar que a eficiência luminosa de uma fonte pode ser influenciada pelo tipo de vidro difusor da luminária, caso este absorva alguma quantidade de energia luminosa irradiada. É dada pela expressão:

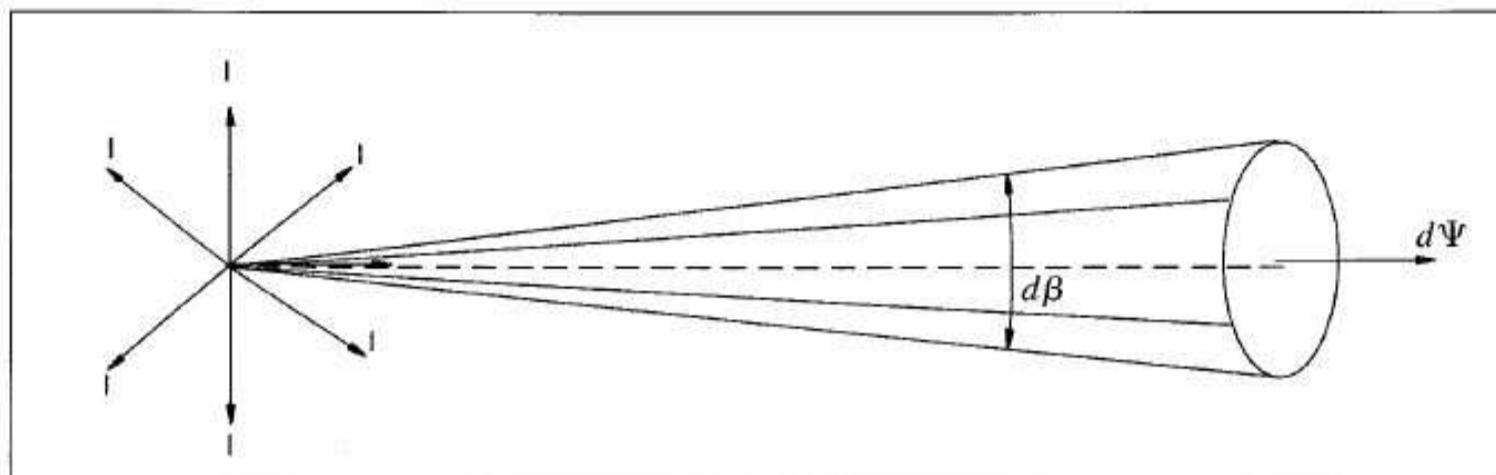


Fig. 2.3 – Representação do conceito de intensidade luminosa

$$\eta = \frac{\Psi}{P_c} \text{ (lúmens/W)} \quad (2.2)$$

Ψ - fluxo luminoso emitido, em lúmens;

P_c - potência consumida, em W.

2.2.4 – Intensidade luminosa

É definida como sendo “o limite da relação entre o fluxo luminoso em um ângulo sólido em torno de uma direção dada e o valor desse ângulo sólido, quando esse ângulo sólido tenda a zero”, ou seja:

$$I = \frac{d\Psi}{d\beta} \quad (2.3)$$

Pode ser definida também como sendo a potência de radiação visível que uma determinada fonte de luz emite numa direção especificada. Sua unidade é denominada de *candela* (cd). A Fig. 2.2 mostra a relação que existe entre a intensidade luminosa e o ângulo sólido, ocupando a fonte luminosa o vértice do referido ângulo. Isto quer dizer que, se uma determinada fonte luminosa localizada no centro de uma esfera de raio igual a 1 m emitir em todas as direções uma intensidade luminosa de 1 cd, cada metro quadrado da superfície da referida esfera está sendo iluminado pelo fluxo luminoso de 1 lúmen. A Fig. 2.3 demonstra conceitualmente a definição de intensidade luminosa.

A intensidade luminosa é avaliada utilizando-se como fonte de luz um corpo negro aquecido à temperatura de solidificação da platina, que é de 1.773°C, à pressão constante de 101.325 N/m², e cuja intensidade luminosa resultante incide perpendicularmente sobre uma área plana igual a 1/600.000 m².

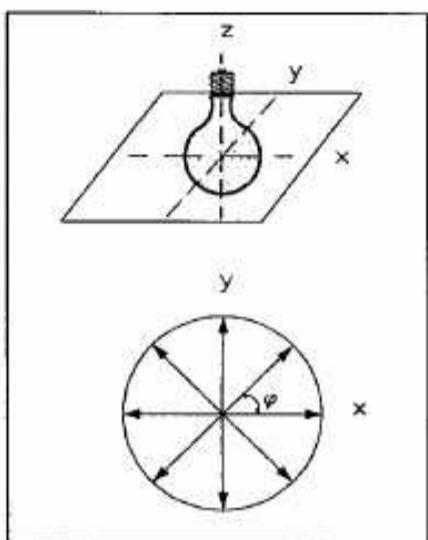
Na prática, pode-se observar que as fontes de luz não emitem o fluxo luminoso uniformemente em todas as direções. Basta que se observe uma lâmpada incandescente, como a da Fig. 2.4, em que a intensidade luminosa é maior em determinadas direções do que em outras.

A partir dessa definição são construídas as curvas de distribuição luminosa que caracterizam as luminárias dos diversos fabricantes, presentes basicamente em todos os catálogos técnicos sobre o assunto. Neste caso, a fonte de luz e a luminária são reduzidas a um ponto, no diagrama polar, a partir do qual são medidas as intensidades luminosas em todas as direções. Para exemplificar, a Fig. 2.4 (a) mostra uma fonte de luz constituída de uma lâmpada incandescente fixada em fio pendente e o correspondente diagrama da curva de distribuição luminosa, tomando-se como base o plano horizontal. Já a Fig. 2.4 (b) mostra a mesma lâmpada, onde se construiu o referido diagrama, tomando-se, agora, como base o plano vertical.

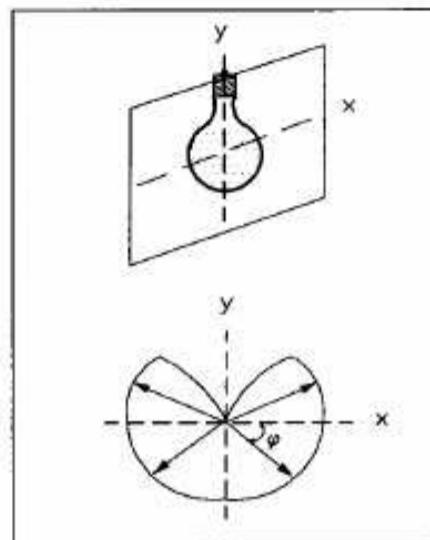
É comum expressar os valores da intensidade luminosa na curva de distribuição luminosa para um fluxo de 1.000 lúmens.

2.2.5 – Luminância

"É a relação entre a intensidade luminosa com a qual irradia, em uma direção determinada, uma superfície elementar contendo um ponto dado e a área aparente desta superfície para uma direção considerada, quando esta área tende para zero." Sua unidade é expressa em candela por metro quadrado (cd/m^2).



a) Plano horizontal



b) Plano vertical

Fig. 2.4 – Distribuição luminosa nos planos horizontal e vertical

A luminância é entendida como a medida da sensação de claridade provocada por uma fonte de luz ou superfície iluminada e avaliada pelo cérebro. Pode ser determinada pela Eq. (2.4).

$$L = \frac{I}{S} \times \cos \alpha \quad (2.4)$$

S - superfície iluminada;

α - ângulo entre a superfície iluminada e a vertical, que é ortogonal à direção do fluxo luminoso;

I - intensidade luminosa.

2.2.6 – Refletância

É a relação entre o fluxo luminoso refletido por uma dada superfície e o fluxo luminoso incidente sobre a mesma.

2.2.7 – Emitância

É a quantidade de fluxo luminoso emitido por uma fonte superficial por unidade de área. Sua unidade é expressa em lúmen/m².

2.3 – LÂMPADAS ELÉTRICAS

Para o estudo de utilização das lâmpadas elétricas, estas podem ser classificadas da seguinte maneira:

a) Quanto ao processo de emissão de luz

- lâmpadas incandescentes;
- lâmpadas de descarga.

b) Quanto ao desempenho

- vida útil;
- rendimento luminoso;
- índice de reprodução de cores.

A seguir, serão abordados os vários tipos de lâmpada de maior aplicação em projetos industriais.

2.3.1 – Lâmpadas incandescentes

São constituídas de um filamento de tungstênio enrolado geralmente em forma espiralada, que atinge a incandescência com a passagem de uma corrente elétrica, e de um bulbo de vidro transparente, translúcido ou opaco, cheio de gás quimicamente inerte, como o nitrogênio, que evita a oxidação do filamento.

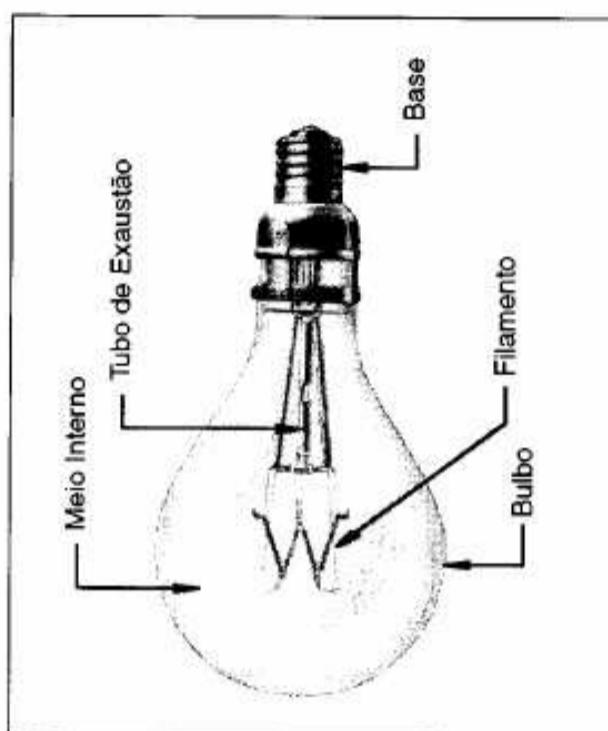


Fig. 2.5 – Lâmpada incandescente

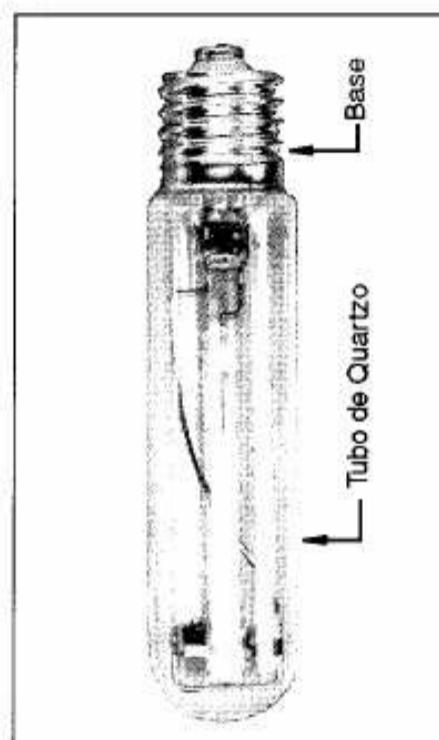


Fig. 2.6 – Lâmpada halógena

Devido às precárias características de sua eficiência luminosa, vida média reduzida e custos de manutenção elevados, é cada vez menor a sua aplicação em projetos industriais. Sua utilização é mais sentida nas dependências administrativas, mesmo assim em aplicações restritas. Apresentam um custo de implantação muito reduzido, porém custos elevados de manutenção. As principais características das lâmpadas incandescentes são:

- vida útil: entre 600 a 1.000 horas;
- eficiência luminosa média: 15 lúmens/watt;
- o rendimento cresce com a potência;
- as lâmpadas de tensão mais baixa apresentam maior rendimento;
- a vida útil depende da tensão de alimentação.

Para cada 10% de sobretensão, a vida sua vida útil reduz-se em 50%.

O emprego de lâmpadas incandescentes em instalações industriais fica restrito a banheiros sociais, instalações decorativas, vitrines de amostra de produtos e aplicações outras, onde o consumo de energia seja pequeno. A Fig. 2.5 mostra os principais componentes de uma lâmpada incandescente.

2.3.2 – Lâmpadas halógenas de tungstênio

A lâmpada halógena de tungstênio é um tipo especial de lâmpada incandescente em que um filamento é contido num tubo de quartzo, no qual é colocada uma certa quantidade de iodo. Durante o seu funcionamento, o tungstênio evapora-se do filamento, combinando-se com o gás presente no interior do tubo, formando o iodeto de tungstênio. Devido às altas temperaturas, parte do tungstênio se deposita no filamento, regenerando-o, criando-se assim um processo contínuo e repetitivo denominado de ciclo do iodo. A Fig. 2.6 mostra o aspecto externo de uma lâmpada halógena, cuja maior aplicação se faz sentir na iluminação de cena.

Nas lâmpadas incandescentes convencionais, o tungstênio evaporado do filamento se deposita nas paredes internas do bulbo, reduzindo a sua eficiência. No entanto, nas lâmpadas halógenas de tungstênio, o halogênio bloqueia as moléculas de tungstênio impedindo que elas se depositem nas paredes internas do bulbo, resultando uma combinação química após a qual retornam ao filamento. As paredes da lâmpada são de vidro de quartzo resistente a elevadas temperaturas.

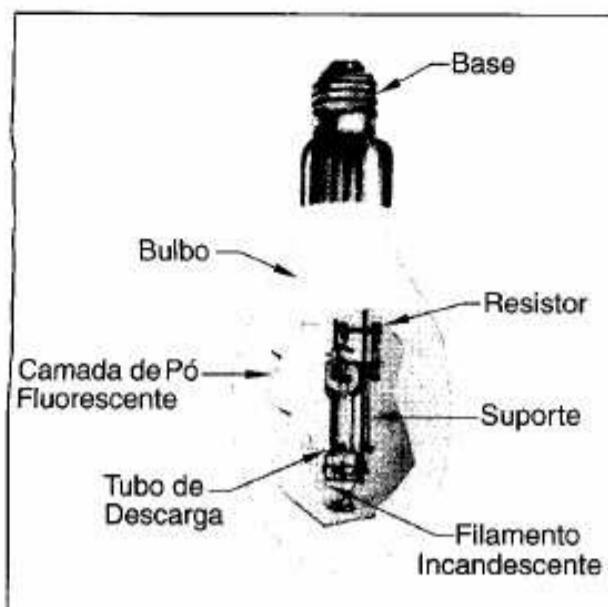


Fig. 2.7 – Lâmpada de luz mista

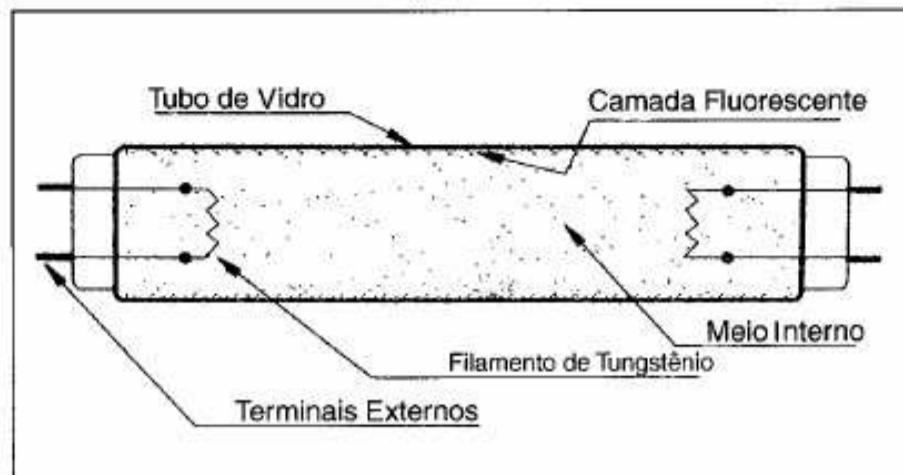


Fig. 2.8 – Lâmpada fluorescente bipino

2.3.3 – Lâmpadas de luz mista

As lâmpadas de luz mista são constituídas de um tubo de descarga a vapor de mercúrio, conectado em série com um filamento de tungstênio, ambos encapsulados por um bulbo ovóide, cujas paredes internas são recobertas por uma camada de fosfato de ítrio vanadato. Esse tipo de lâmpada tem as características básicas das lâmpadas incandescentes. O seu filamento atua como fonte de luz de cor quente, ao mesmo tempo em que funciona como limitador do fluxo de corrente.

As lâmpadas de luz mista são comercializadas nas potências de 160 a 500 W. Essas lâmpadas combinam a elevada eficiência das lâmpadas de descarga com as vantagens da excelente reprodução de cor características das lâmpadas de filamento de tungstênio. A Fig. 2.7 mostra o aspecto físico de uma lâmpada de luz mista com os seus diversos componentes.

2.3.4 – Lâmpadas de descarga

Podem ser classificadas em vários tipos, que serão resumidamente estudados.

2.3.4.1 – Lâmpadas fluorescentes

São aquelas constituídas de um longo cilindro de vidro, cujo interior é revestido por uma camada de fósforo de diferentes tipos. O fósforo é um produto químico que detém as características de emitir luz quando ativado por energia ultravioleta, isto é, não visível. Cada extremidade da lâmpada possui um eletrodo de filamento de tungstênio revestido de óxido que, quando aquecido por uma corrente elétrica, libera uma nuvem de elétrons. Ao ser energizada a lâmpada, os eletrodos ficam submetidos a uma tensão elevada, o que resulta a formação de um arco entre os mesmos, de forma alternada. Os elétrons que constituem o arco se chocam com os átomos do gás argônio e de mercúrio, liberando uma certa quantidade de luz ultravioleta, que ativa a camada de fósforo anteriormente referida, transformando-se em luz visível. O fluxo luminoso varia em função da temperatura ambiente, sendo 25°C, em geral, a temperatura de máximo rendimento. Para valores superiores ou inferiores, o rendimento torna-se declinante.

A vida útil das lâmpadas de descarga varia muito de acordo com o tipo, indo desde 7.500 horas para lâmpadas fluorescentes até 24.000 horas para lâmpadas a vapor de sódio. Seu custo inicial é normalmente elevado, porém apresentam um custo de manutenção relativamente reduzido. As lâmpadas de descargas mais empregadas serão estudadas a seguir.

As lâmpadas de descarga apresentam uma elevada eficiência luminosa, compreendida entre 40 a 80 lumens/watt, e vida útil entre 7.500 a 12.000 horas de operação. São constituídas de um tubo de vidro revestido internamente por uma camada de substâncias fluorescentes quando resulta nos seguintes tipos de luz emitidos:

- tungstênio de cálcio – luz emitida: azul-escura;
- silicato de zinco – luz emitida: amarelo-verde;
- borato de cálcio – luz emitida: róseo-clara.

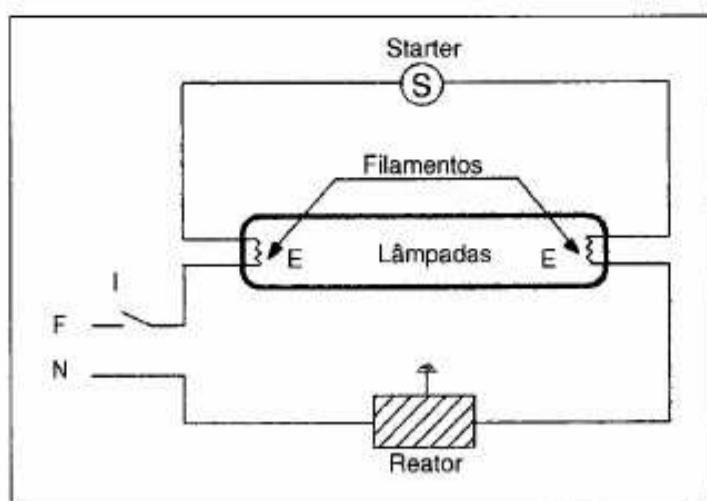


Fig. 2.9 – Ligação do starter

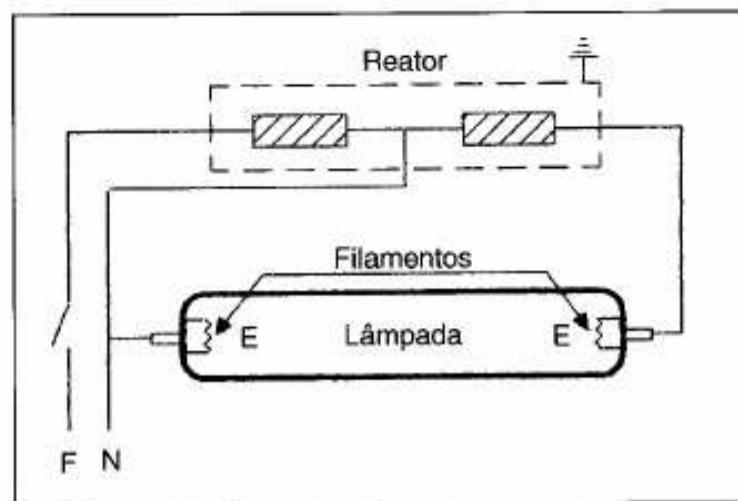


Fig. 2.10 – Ligação do reator-transformador

Essas substâncias são ativadas pela energia ultravioleta resultante da descarga no interior do tubo contendo gás inerte (argônio) e mercúrio que se vaporiza no instante da partida. O fluxo luminoso varia em função da temperatura ambiente, sendo 25°C, em geral, a temperatura de máximo rendimento. Para valores superiores ou inferiores, o rendimento torna-se declinante.

As lâmpadas fluorescentes são reconhecidas pelo diâmetro do seu tubo. Na década de 80 eram comercializadas as lâmpadas T12 (12/8 de polegada de diâmetro), sendo substituídas pelas lâmpadas T8, bem mais eficientes e que agora estão perdendo mercado para lâmpadas T5, de maior eficiência e menor diâmetro, permitindo um maior aproveitamento das superfícies reflexivas das luminárias.

As lâmpadas fluorescentes, ao contrário das incandescentes, não podem sozinhas controlar o fluxo de corrente. É necessário que se ligue um reator (reatância série) entre as suas extremidades externas para limitar o valor da corrente. As lâmpadas pequenas usam o reator somente para limitar a corrente, enquanto as lâmpadas fluorescentes grandes, além do reator, fazem uso de um transformador para elevar a tensão. A Fig. 2.8 mostra o aspecto externo de uma lâmpada fluorescente, base bipino.

Como anteriormente mencionado, nas extremidades do tubo de vidro das lâmpadas fluorescentes são fixados os eletrodos (filamentos recobertos com substâncias emissoras de luz) com características próprias de emissão dos elétrons, dando às lâmpadas a seguinte classificação:

a) Lâmpadas fluorescentes de catodo quente preaquecido

A utilização destas lâmpadas implica o uso do starter, que se constitui no elemento de partida, cuja descrição e modo de operação estão apresentados na seção 2.4.2. A Fig. 2.9 mostra a ligação da lâmpada associada aos respectivos starter e reator.

b) Lâmpadas fluorescentes de catodo sem preaquecimento

A utilização destas lâmpadas dispensa a aplicação do starter, S, e emprega reatores especiais que provocam uma tensão elevada de partida, iniciando o processo de emissão de elétrons sem a necessidade de um preaquecimento dos eletrodos, E. A Fig. 2.10 mostra a ligação deste tipo de lâmpada.

c) Lâmpadas fluorescentes de catodo frio

Como vantagem sobre as demais, possuem uma vida longa de aproximadamente 25.000 horas. Semelhante às lâmpadas de catodo sem preaquecimento, têm partida instantânea. Sua tensão de partida é da ordem de 6 vezes a tensão de funcionamento.

2.3.4.2 – Lâmpadas a vapor mercúrio

São constituídas de um pequeno tubo de quartzo, onde são instalados nas extremidades, em geral, dois eletrodos principais e um eletrodo auxiliar, ligados em série com uma resistência de valor elevado. Dentro do tubo são colocadas algumas gotas de mercúrio, juntamente com um gás inerte, como o argônio, cuja finalidade é facilitar a formação da descarga inicial. Por outro lado, o mercúrio é vaporizado durante o período de preaquecimento da lâmpada. O tubo de quartzo é colocado dentro de um invólucro de vidro contendo uma certa quantidade de azoto, cuja função é a distribuição uniforme da temperatura.

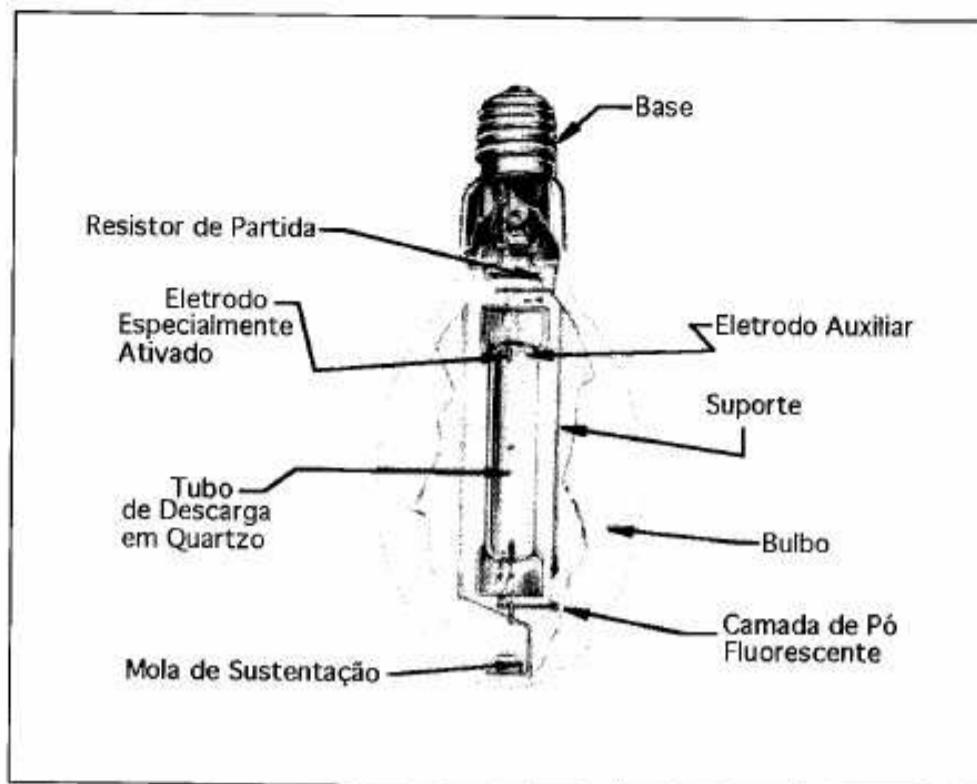


Fig. 2.11 – Lâmpada a vapor de mercúrio

Ao se aplicar a tensão nos terminais da lâmpada, cria-se um campo elétrico entre o eletrodo auxiliar e o eletrodo principal mais próximo, provocando a formação de um arco elétrico entre os mesmos, aquecendo as substâncias emissoras de luz, o que resulta na ionização do gás e na consequente formação do vapor de mercúrio. O choque dos elétrons com os átomos do vapor de mercúrio no interior do tubo transforma sua estrutura atômica. A luz finalmente é produzida pela energia liberada pelos átomos atingidos quando retornam a sua estrutura normal.

As lâmpadas de mercúrio comuns não emitem, no seu espectro, a luz vermelha, limitando o uso dessas lâmpadas a ambientes em que não haja necessidade de boa reprodução de cores. Para corrigir essa deficiência, utiliza-se o fósforo em alguns tipos de lâmpadas.

As lâmpadas a vapor de mercúrio têm uma elevada eficiência, em geral de cerca de 55 lúmens/watt. Nesse particular, apresentam uma série desvantagem ao longo de sua vida útil média, que é de 18.000 horas, durante a qual sua eficiência cai para um nível de aproximadamente 35 lúmens/watt. Quando se desliga uma lâmpada a vapor de mercúrio é necessário um tempo de 5 a 10 minutos para que se possa reacendê-la, tempo suficiente para possibilitar as condições mínimas de reionização do mercúrio.

Quando a queda de tensão no circuito de alimentação é de 1%, o fluxo luminoso das lâmpadas VM cai para 3% aproximadamente. Já quedas de tensão de 5% comprometem a ignição das lâmpadas.

Uma característica particular do bulbo externo é absorver as radiações potencialmente perigosas emitidas do interior do tubo de arco (quartzo). As paredes internas do bulbo externo são revestidas de substâncias fluorescentes, tais como o vanadato de ítrio, que permitem uma maior ou menor reprodução de cores. A Fig. 2.11 mostra os detalhes principais de uma lâmpada a vapor de mercúrio.

2.3.4.3 – Lâmpadas a vapor de sódio

São fabricadas em dois tipos, relativamente à pressão no tubo de descarga, ou seja:

a) Lâmpadas a vapor de sódio a baixa pressão

Construtivamente são formadas por um tubo especial de vidro na forma de U, no interior do qual se produz a descarga. O tubo é colocado no interior de uma ampola tubular de vidro que atua como proteção mecânica e isolamento térmico e cujas paredes internas são cobertas por uma fina camada de óxido de estanho para refletir as radiações infravermelhas que são produzidas durante o processo de descarga.

Os eletrodos de filamento são fixados nos extremos do tubo de descarga. Sobre os eletrodos é depositado um material especial emissor de elétrons. No interior do tubo de descarga injeta-se uma certa quantidade de gás neônio, que favorece o acendimento, acrescida também de uma outra quantidade de sódio, que se condensa e se deposita em pequenas cavidades do tubo quando a lâmpada se resfria. Os gases são submetidos a uma pressão da ordem de 600 N/m^2 .

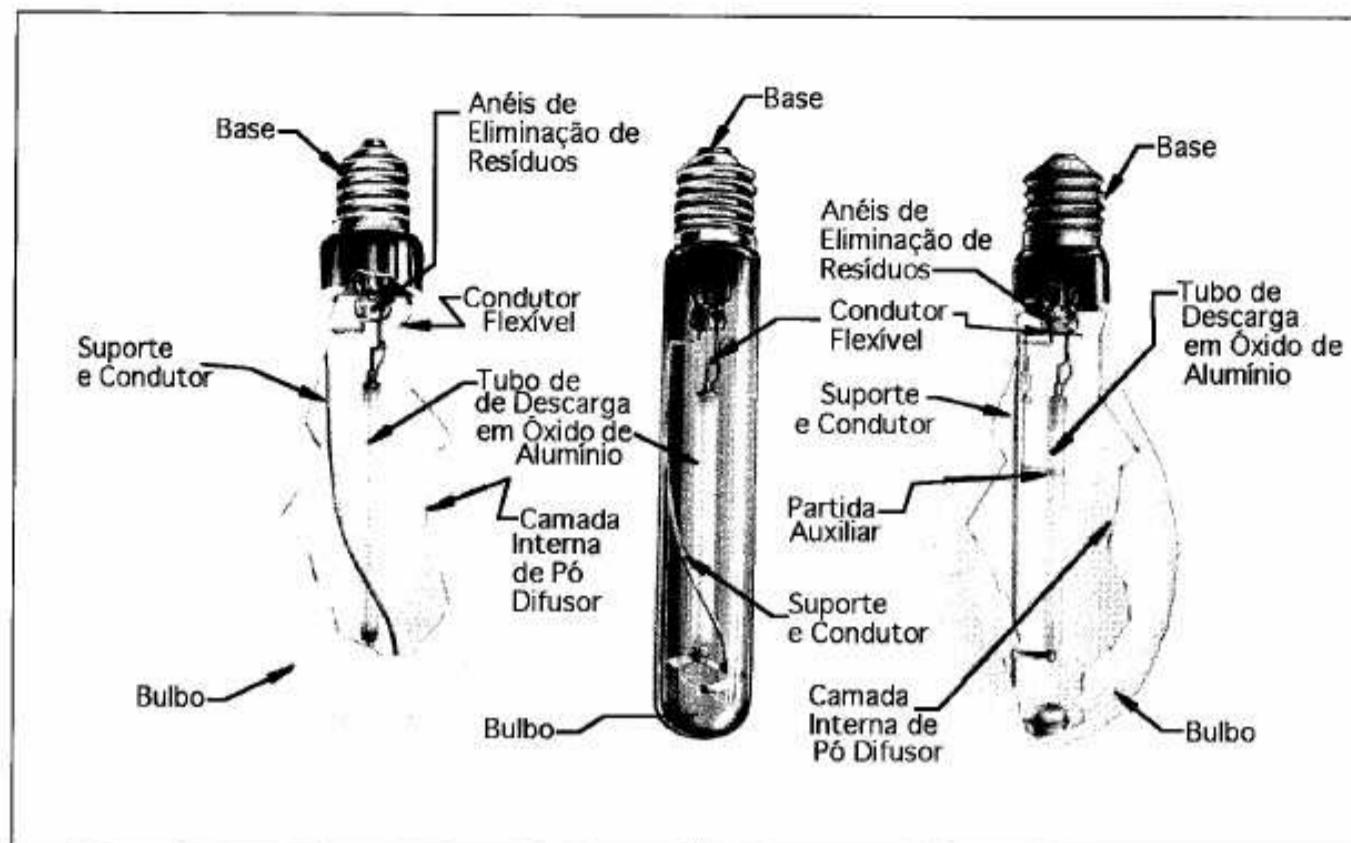


Fig. 2.12 – Lâmpada a vapor de sódio

As lâmpadas a vapor de sódio a baixa pressão são caracterizadas por emitir uma radiação quase monocromática (luz amarela), ter alta eficiência luminosa, em torno de 200 lúmens/watt e apresentar uma elevada vida útil de operação, aproximadamente de 18.000 horas. Devido à sua característica monocromática, é desaconselhável o seu uso interno em instalações industriais. No entanto, podem ser utilizadas na iluminação de pátios de descarga. A Fig. 2.12 fornece os principais componentes de diferentes modelos de lâmpadas a vapor de sódio.

b) Lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão

São constituídas de um tubo de descarga contendo um excesso de sódio que se vaporiza durante o período de acendimento em condições de saturação. É utilizado um gás inerte, o xenônio, em alta pressão, para se obter uma baixa tensão de ignição.

Ao contrário das lâmpadas a vapor de sódio a baixa pressão, apresentam um espectro visível contínuo, propiciando uma razoável reprodução de cor. A sua eficiência luminosa é de 130 lúmens/watt e sua vida útil de operação é de cerca de 18.000 horas. Devido à sua característica de reprodução de cores, podem ser utilizadas no interior de instalações industriais cujas tarefas não necessitem de uma fidelidade de cor.

2.3.4.4 – Lâmpadas a vapor metálico

É um tipo particular da lâmpada a vapor de mercúrio em que são adicionados iodeto de índio, tálio e sódio. A mistura adequada dos compostos anteriormente citados no tubo de descarga proporciona um fluxo luminoso de excelente reprodução de cores. Sua temperatura da cor é de 4.000ºK e apresentam uma elevada eficiência luminosa, vida longa alta e baixa depreciação. São industrializadas nas formas ovoidal e tubular. As lâmpadas ovoidais possuem uma cobertura que aumenta a superfície de emissão de luz, reduzindo a sua luminância.

São fornecidas lâmpadas a vapor metálico nas potências de 400 a 2.000 W.

Estas lâmpadas são indicadas particularmente para a aplicação em áreas de pátios de estacionamento, quadras esportivas, campos de futebol e galpões destinados a produtos de exposição. A Fig. 2.13 mostra os principais componentes de diferentes tipos de lâmpadas a vapor metálico.

A Tabela 2.1 fornece as principais características das lâmpadas incandescentes, fluorescentes, a vapor de mercúrio, a vapor de sódio e luz mista, de fabricação da Philips do Brasil Ltda.

2.4 – DISPOSITIVOS DE CONTROLE

São dispositivos utilizados para proporcionar a partida das lâmpadas de descarga e controlar o fluxo de corrente no seu circuito.

As lâmpadas de descarga necessitam dos seguintes dispositivos para estabilização da corrente e para a ignição.

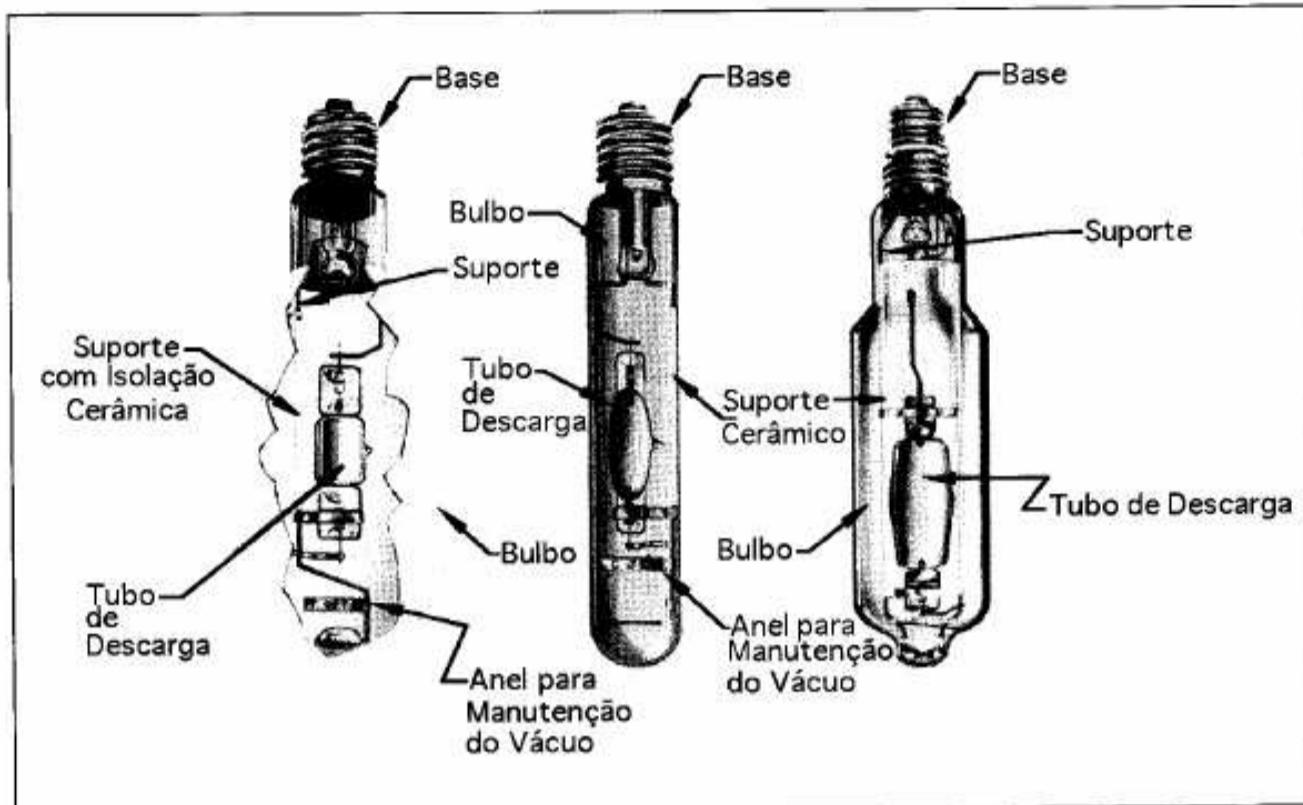


Fig. 2.13 – Lâmpada a vapor metálico

Tabela 2.1 – Características das lâmpadas — fluxo luminoso inicial

Lâmpadas incandescentes			Vapor de mercúrio	
Potência Watts	Fluxo		Potência	Fluxo
	120V	220V		
40	510	430	125	6.000
60	840	720	250	12.000
100	1.570	1.380	400	22.000
150	2.520	2.190	700	35.000
200	3.460	3.120	Vapor de sódio de alta pressão	
300	5.310	5.040	Potência	Fluxo
500	9.400	8.650	250	25.000
Fluorescente			400	46.000
			1.000	130.000
Potência		Fluxo	Luz mista	
20		1.200	Potência	
40		3.000	160	3.000
65		4.900	250	5.500
110		8.900	500	13.500
Hologênicas			Vapor metálico	
Potência	Fluxo		Potência	Fluxo
300	5.100		400	28.500
500	10.000		1.000	90.000
1.000	22.000		2.000	182.000
2.000	44.000			

2.4.1 – Reatores

São elementos do circuito da lâmpada responsáveis pela estabilização da corrente a um nível adequado de projeto da lâmpada. Os reatores se apresentam como uma reatância série do circuito da lâmpada.

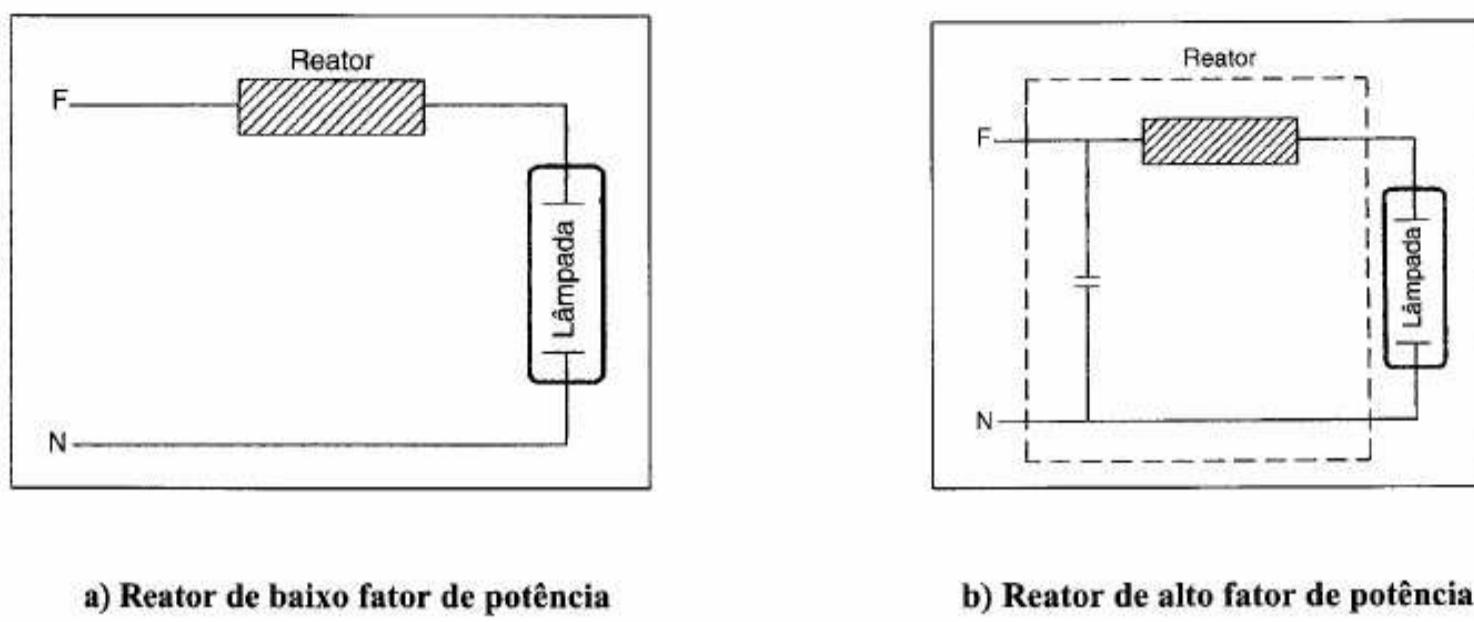


Fig. 2.14 – Reator para lâmpadas de descarga

Quando a tensão na rede é suficiente para permitir a partida da lâmpada de descarga, basta que se utilizem reatores série que são formados por uma simples bobina enrolada sobre um núcleo de ferro, cuja função é regular o fluxo de corrente da lâmpada. O reator é de construção simples e de menor custo, porém opera com fator de potência entre 0,40 a 0,60 indutivo. Se for agregado a esse reator um capacitor ligado em paralelo, formando um único dispositivo, melhora-se a condição operacional da rede, devido ao novo fator de potência, que é da ordem de 0,95 a 0,98. A conexão dos dois tipos de reatores com as respectivas lâmpadas é dada na Fig. 2.14 (a) e (b). No entanto, pode-se agregar ao reator simples um capacitor ligado em série. São reatores aplicados em redes onde a regulação de tensão é muito elevada.

Existem no mercado dois diferentes tipos de reatores.

2.4.1.1 – Reatores eletromagnéticos

São de fabricação convencional, dotados de um núcleo de ferro e de um enrolamento de cobre. No entanto, são comercializados dois diferentes tipos:

a) Reator eletromagnético a baixo fator de potência

O reator eletromagnético consiste basicamente de um núcleo de lâminas de aço especial, coladas e soldadas, associado a uma bobina de fio de cobre esmaltado. O conjunto é montado no interior de caixa metálica, denominada de carcaça, construída em chapa de aço. Os espaços vazios no interior da carcaça são preenchidos com uma massa de poliéster.

Os reatores para lâmpadas fluorescentes são fornecidos para ligação de uma única lâmpada – reatores simples – ou para ligação de duas lâmpadas – reatores duplos.

b) Reator eletromagnético a alto fator de potência

São dotados um núcleo de ferro e um enrolamento de cobre além de um capacitor ligado em paralelo que permite elevar o fator de potência conforme informação anterior.

2.4.1.2 – Reatores eletrônicos

Esses reatores são constituídos por três diferentes blocos funcionais, ou seja:

a) Fonte

Responsável pela redução da tensão da rede de alimentação e conversão dessa tensão na frequência de 50/60 Hz em tensão contínua. Adicionalmente, a fonte desempenha as seguintes funções:

- suprime os sinais de radiofrequência para compatibilizar com a classe de imunidade do reator;
- protege os diversos componentes eletrônicos do conversor contra surtos de tensão;
- protege a rede de alimentação contra falhas do conversor;
- limita a injeção de componentes harmônicos no sistema de alimentação.

b) Inversor

46 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

É responsável pela conversão da tensão contínua em tensão ou corrente alternada de alta freqüência, dependendo do tipo de lâmpada utilizado.

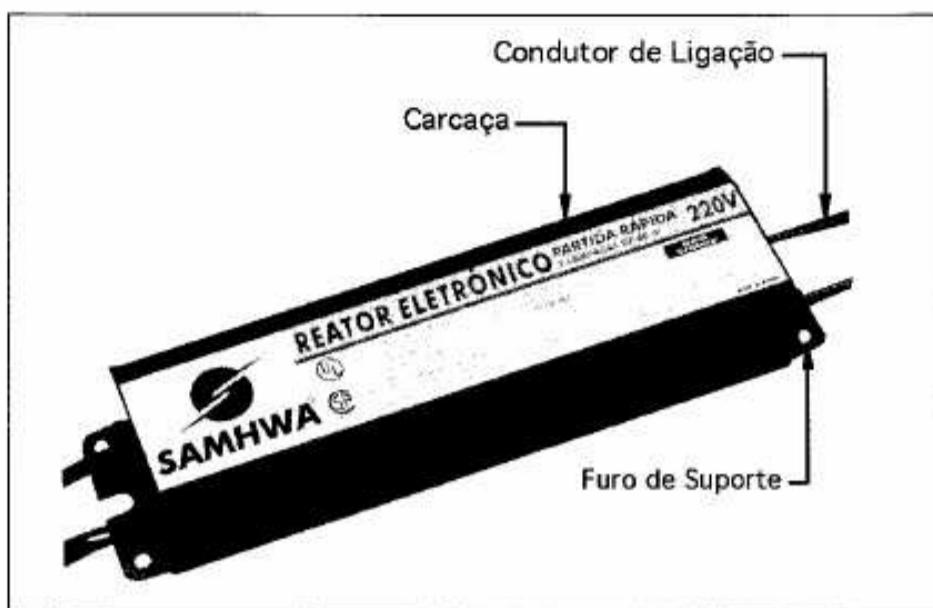


Fig. 2.15 – Reator

Tabela 2.2 – Características dos reatores RTL Philips

Lâmpadas	Tensão	Corrente	Fator de potência	Perdas (W)	Starter
Reatores simples					
1 x 20	118	0,36	0,57	6,1	S-2
1 _ 20	220	0,37	0,34	10,0	S-2
1 x 40	118	0,91	0,49	12,9	S-10
1 x 40 - 2 x 20	220	0,43	0,50	10,5	S-10/2S-2
1 x 65	220	0,67	0,50	11,9	S-10
1 x 20	118	0,75	0,37	12,1	-
1 x 20	220	0,57	0,28	14,4	-
1 x 40	118	0,93	0,45	14,9	-
1 x 40	220	0,64	0,40	15,3	-
1 x 110	220	0,62	0,90	17,3	-
Reatores duplos					
2 x 40	118	0,87	0,90	21,9	2S-10
2 x 40 - 4 x 20	220	0,44	0,90	18,3	2S-10/4S-2
2 x 20	220	0,33	0,90	19,5	-
2 x 40	115	0,95	0,90	22,5	-
2 x 40	125	0,88	0,90	20,4	-
2 x 40	220	0,51	0,90	24,1	-
2 x 65	220	0,71	0,90	23,3	2S-10
2 x 110	220	1,20	0,90	32,0	-

c) Circuito de partida e estabilização

Este circuito está associado normalmente ao inversor. Em geral, são utilizadas indutâncias e capacitâncias combinadas de forma a fornecer adequadamente os parâmetros elétricos que a lâmpada requer.

Os reatores eletrônicos possuem grandes vantagens sobre os reatores eletromagnéticos, apesar de seu preço ser significativamente superior ao do reator eletromagnético, ou seja:

- reduzem as oscilações das lâmpadas devido à alta freqüência com que operam;
- atenuam ou praticamente eliminam o efeito estroboscópico;

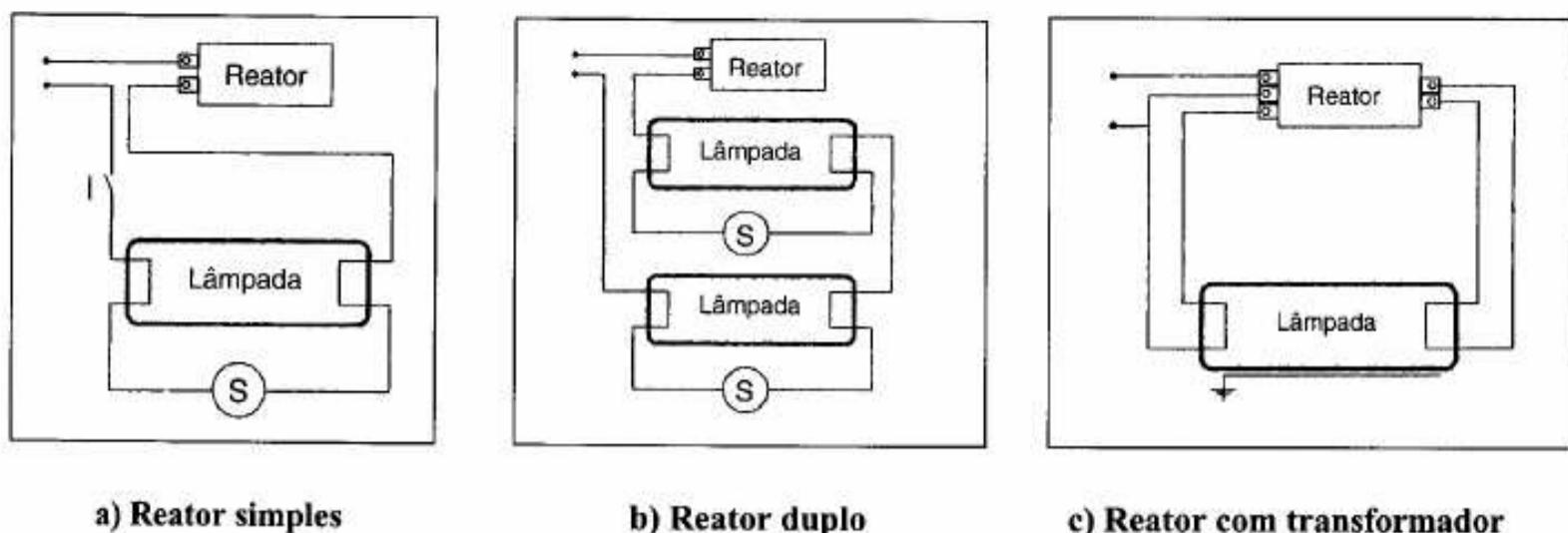


Fig. 2.16 – Ligações típicas dos reatores às respectivas lâmpadas

- operam a alto fator de potência, alcançando cerca de 0,99;
- operam com baixas perdas ôhmicas;
- apresentam, em geral, baixa distorção harmônica;
- permitem o uso de *dimer* e, consequentemente, possibilitam obter-se redução do custo de energia;
- permitem elevar a vida útil da lâmpada;
- permitem ser associados a sistemas automáticos de controle e conservação de energia.

Normalmente, os reatores para qualquer tipo de lâmpada trazem impresso o diagrama de ligação na parte superior da carcaça, como se pode observar na Fig. 2.15. Como exemplo, a Fig. 2.16 mostra alguns diagramas de ligação referentes a vários tipos de reatores.

A Tabela 2.2 fornece as principais características técnicas dos reatores Philips.

2.4.2 – Starters

São dispositivos constituídos de um pequeno tubo de vidro dentro do qual são colocados dois eletrodos imersos em gás inerte responsável pela formação inicial do arco que permitirá estabelecer um contato direto entre os referidos eletrodos. Somente um eletrodo é constituído de uma lâmina bimetálica que volta ao estado inicial decorridos alguns instantes. Sua operação é feita da seguinte forma: ao acionarmos o interruptor I da Fig. 2.16 (a), produz-se um arco no dispositivo de partida S (starter) entre as lâminas A e B, conforme a Fig. 2.17 (a), cujo calor resultante provoca o estabelecimento do contato elétrico entre as mesmas, fazendo a corrente elétrica percorrer o circuito no qual estão inseridos os eletrodos E da lâmpada, os quais se aquecem e emitem elétrons. Decorrido um pequeno intervalo de tempo, o contato entre as lâminas A e B é desfeito, pois a corrente que as atravessa não é suficiente para mantê-las em operação. Neste instante, produz-se uma variação de corrente responsável pelo aparecimento da força eletromotriz de elevado valor na indutância do reator, provocando um arco entre os eletrodos E da lâmpada e, em consequência, o acendimento da mesma. Pelo efeito da reatância série, a tensão entre os eletrodos diminui, não mais estabelecendo um arco entre as lâminas A e B do starter. A partir de então o reator passa a funcionar como estabilizador de corrente, através de sua impedância própria, limitando a tensão ao valor requerido. O capacitor C acoplado ao circuito do starter tem por finalidade diminuir a interferência sobre os aparelhos de rádio e comunicação durante o processo de acendimento da lâmpada.

A Fig. 2.17 (a) e (b) mostra, respectivamente, os componentes de um starter e o seu aspecto externo.

2.4.3 – Ignitores

São elementos utilizados em lâmpadas a vapor metálico e vapor de sódio e que atuam gerando uma série de pulsações de tensão elevada da ordem de 1 a 5 kV, a fim de iniciar a descarga. Uma vez que a lâmpada inicie a sua operação, o ignitor deixa automaticamente de emitir pulsos.

As lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão e as lâmpadas a vapor metálico, devido à composição e à construção dos seus tubos de descarga, necessitam na sua partida de uma tensão superior a tensão da rede normalmente utilizada. Os reatores (reator + transformador), em geral, são os responsáveis pela geração dessa tensão. No entanto, essas lâmpadas requerem uma tensão tão elevada que é necessário um equipamento auxiliar, denominado de ignitor, para proporcionar o nível de tensão exigido.

Quando as lâmpadas são desligadas por um determinado intervalo de tempo, a pressão do gás diminui. Se a lâmpada for novamente energizada, o ignitor inicia o disparo até que a pressão do gás atinja o valor mínimo de reacendimento. Quando a lâmpada inicia sua operação normal, o ignitor pára de emitir pulso.

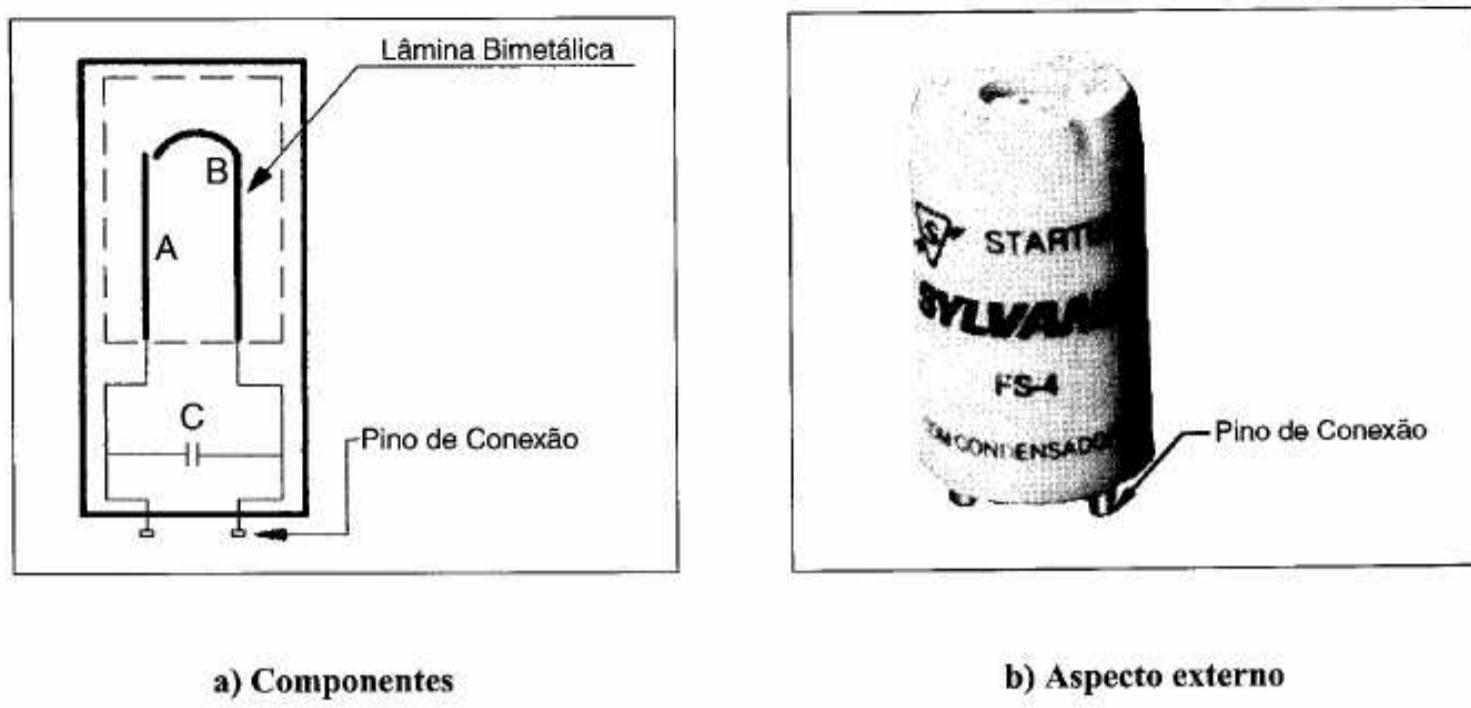


Fig. 2.17 – Starter

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão apresentam um tempo de reignição de cerca de 1 minuto, enquanto as lâmpadas a vapor metálico requerem um tempo de aproximadamente 15 minutos. Como os estádios de futebol destinados a jogos oficiais somente utilizam lâmpadas a vapor metálico, o excessivo tempo de reignição tem ocasionado grandes transtornos quando há uma falha momentânea no suprimento de energia. O jogo é paralisado durante o tempo de reignição da lâmpada. Nesse tipo de atividade é conveniente a utilização de algumas lâmpadas incandescentes, cujo acendimento é instantâneo e possibilita uma luminosidade aceitável para a movimentação das pessoas.

Os ignitores são comercializados em três diferentes tipos.

2.4.3.1 – Ignitor derivação

Esse tipo de ignitor é constituído de três terminais conectados segundo o diagrama da Fig. 2.18 (a). Nesse caso, o capacitor C se descarrega mediante o dispositivo controlador D. Os pulsos gerados pelo ignitor são aplicados sobre o reator ligado entre os pontos 2 e 3 vistos no diagrama. Através de um adequado número de espiras, o reator amplia o módulo dos pulsos e os aplica sobre os terminais da lâmpada.

Esse tipo de ignitor apresenta as seguintes características:

- utiliza o reator como transformador de impulso;
- o reator deve suportar os impulsos de tensão;
- o reator e o ignitor devem estar juntos e o conjunto afastado da lâmpada.

2.4.3.2 – Ignitor série

Esse tipo de ignitor é constituído de três terminais conectados segundo a Fig. 2.18 (b). Neste caso, o capacitor C se descarrega mediante o dispositivo controlador D. Os pulsos gerados pelo ignitor são aplicados às espiras do transformador em T, que amplifica os pulsos adequadamente, cujo módulo da tensão depende do próprio ignitor.

O ignitor série apresenta as seguintes características:

- o ignitor e o transformador estão incorporados num único invólucro;
- o ignitor funciona independentemente do reator instalado;
- deve estar próximo à lâmpada para evitar a redução da intensidade dos pulsos;
- o transformador pode estar distante da lâmpada.

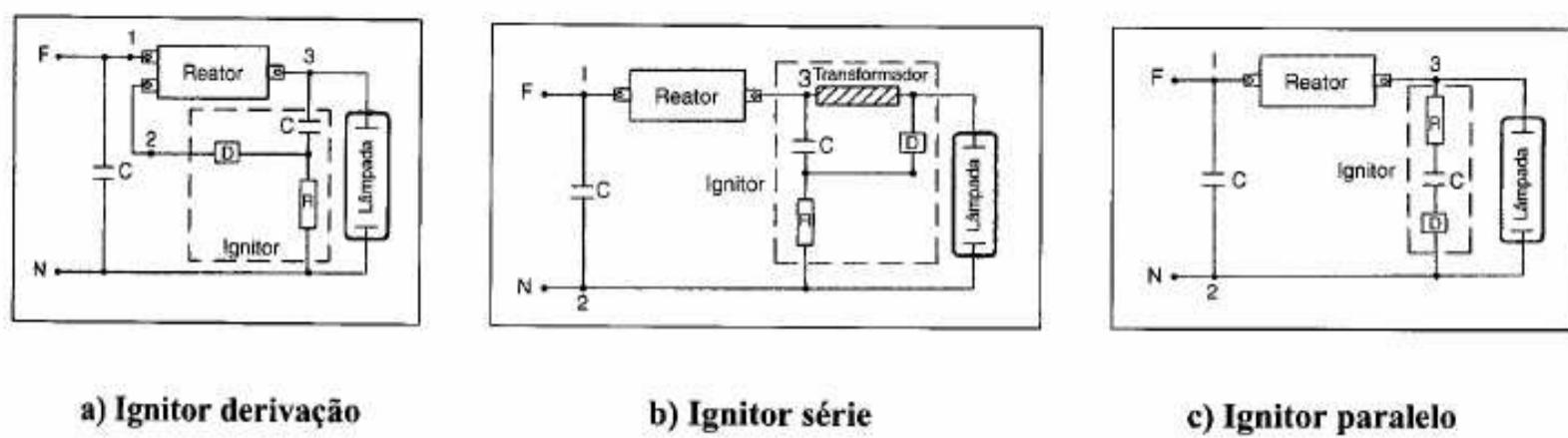


Fig. 2.18 – Ignitores

2.4.3.3 – Ignitor paralelo

Esse tipo de ignitor é constituído de dois terminais conectados de acordo com o diagrama da Fig. 2.18 (c). Neste caso, a energia armazenada no capacitor C e fornecida à lâmpada através da intervenção do circuito de disparo D, no instante em que a tensão alcança o seu valor máximo, resultando um pulso de tensão da ordem de 2 a 4 vezes a tensão da rede de alimentação, isto é, entre 600 a 1.200 V.

Os ignitores paralelos apresentam as seguintes características:

- são utilizados somente com alguns tipos de lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapor de sódio de baixa pressão;
- a tensão de impulso de 1.200 V pode perfurar o isolamento dos componentes do circuito da lâmpada no caso em que esta não chegue a acender.

2.5 – LUMINÁRIAS

São aparelhos destinados à fixação das lâmpadas, devendo apresentar as seguintes características básicas:

- serem agradáveis ao observador;
- modificarem o fluxo luminoso da fonte de luz;
- possibilitem fácil instalação e posterior manutenção.

A seleção de luminárias em recintos industriais deve ser precedida de algumas precauções, relativamente à atividade produtiva do projeto. Assim, para ambientes onde haja presença de gases combustíveis em suspensão, é necessário escolher luminárias fabricadas com corpo resistente à pressão ou de segurança reforçada, prevenindo, desta forma, acidentes sérios provocados, por exemplo, pela explosão de uma lâmpada. Também, em indústrias têxteis, onde há uma excessiva poluição de pó de algodão em estado de suspensão no ar, é aconselhável adotar no projeto luminárias do tipo fechado.

2.5.1 – Características quanto à direção do fluxo luminoso

Para iluminação geral, a IEC adotou as seguintes classes para as luminárias:

2.5.1.1 – Direta

Quando o fluxo luminoso é dirigido diretamente ao plano de trabalho. Nesta classe se enquadram as luminárias refletoras espelhadas, comumente chamadas de *spots*.

2.5.1.2 – Indireta

Quando o fluxo luminoso é dirigido diretamente em oposição ao plano de trabalho. A luminárias que atendem a esta classe em geral assumem uma função decorativa no ambiente iluminado.

2.5.1.3 – Semidireta

Quando parte do fluxo luminoso chega ao plano de trabalho diretamente dirigido e outra parte atinge o mesmo plano por reflexão. Neste caso, deve haver predominância do efeito direto.

2.5.1.4 – Semi-indireta

Quando parte do fluxo luminoso chega ao plano de trabalho por efeito indireto e outra parte é diretamente dirigida ao mesmo. Neste caso, o efeito predominante deve ser o indireto.

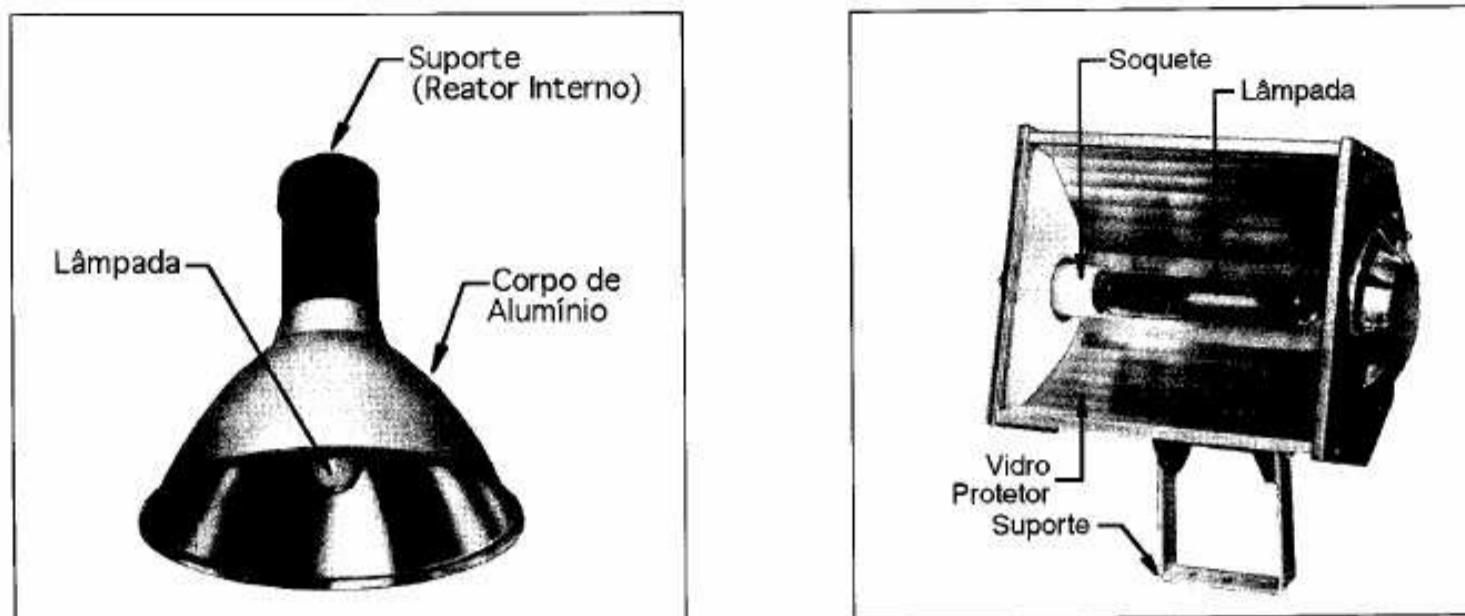


Fig. 2.19 – Projetores industriais

2.5.1.5 – Geral-difusa

Quando o fluxo luminoso apresenta praticamente a mesma intensidade em todas as direções.
Para maiores informações sobre o assunto, consultar literatura específica.

2.5.2 – Características quanto à modificação do fluxo luminoso

As luminárias têm a propriedade de poder modificar o fluxo luminoso produzido por sua fonte luminosa (a lâmpada). Assim, se uma luminária é dotada de um vidro protetor transparente, parte do fluxo luminoso é refletida para o interior da luminária, parte é transformada em calor e finalmente a maior parte é dirigida ao ambiente a iluminar. Dessa forma, as luminárias podem ser assim classificadas de acordo com as suas propriedades de modificar o fluxo luminoso.

2.5.2.1 – Absorção

É a característica da luminária de absorver parte do fluxo luminoso incidente na sua superfície. Quanto mais escura for a superfície interna da luminária, maior será o índice de absorção.

2.5.2.2 – Refração

É a característica das luminárias de poder direcionar o fluxo luminoso da fonte, que é composta pela lâmpada e refletor, através de um vidro transparente de construção específica, podendo ser plano (não há modificação da direção do fluxo) ou prismático. Os faróis de automóveis são exemplos de luminárias refratoras prismáticas.

2.5.2.3 – Reflexão

É a característica das luminárias de modificar a distribuição do fluxo luminoso através da sua superfície interna e segundo a sua forma geométrica de construção (parabólica, elíptica, etc.).

2.5.2.4 – Difusão

É a característica das luminárias de reduzir a sua luminância, diminuindo consequentemente os efeitos inconvenientes do ofuscamento através de uma placa de acrílico ou de vidro.

2.5.2.5 – Louvers

O painel destas luminárias é constituído por aletas de material plástico ou metálico, em geral esmaltado na cor branca, não permitindo que a lâmpada seja vista pelo observador dentro de um determinado ângulo.

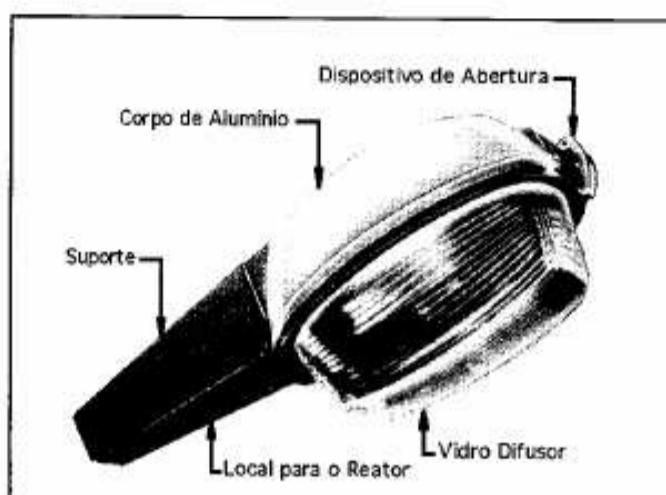


Fig. 2.20 – Luminária externa

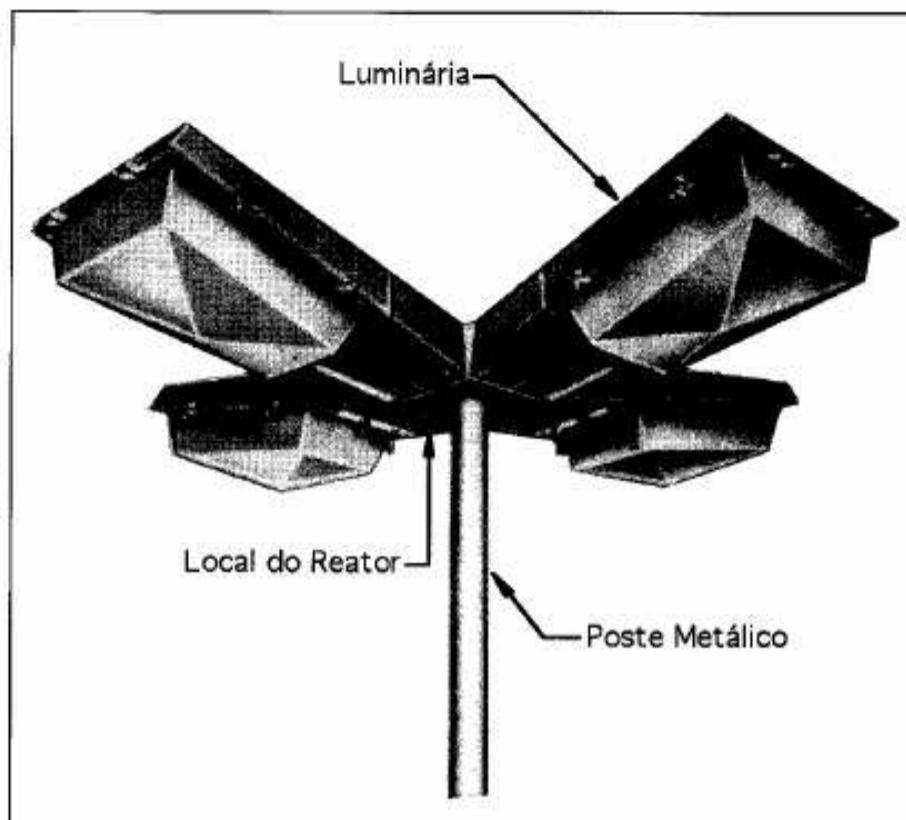


Fig. 2.21 – Sistema de iluminação externa

2.5.3 – Aplicação

As luminárias devem ser aplicadas de acordo com o ambiente a iluminar e com o tipo de atividade desenvolvida no local. Em geral, são conhecidos os seguintes tipos:

- luminárias comerciais;
- luminárias industriais;
- luminárias para logradouros públicos;
- luminárias para jardins.

Nas instalações comerciais, as luminárias mais empregadas são as fluorescentes. Há vários tipos disponíveis no mercado e a escolha de um deles deve ser estudada tanto do ponto de vista econômico como técnico. Em geral, a sua aplicação é conveniente em ambientes cuja altura não ultrapasse 6 m.

Nas instalações industriais, é mais freqüente o emprego de luminárias de facho de abertura média para lâmpadas de descarga. A preferência recai sobre as lâmpadas a vapor de mercúrio. São aplicadas mais comumente em galpões industriais com altura superior a 6 m. A Fig. 2.19 (a) mostra um modelo de projetor industrial muito utilizado em instalações industriais e próprio para lâmpadas a vapor de mercúrio ou a vapor de sódio. Se o projeto utiliza lâmpadas a vapor metálico, é comum o uso do projetor da Fig. 2.19 (b).

As luminárias para áreas externas são construídas para fixação em poste. A Fig. 2.20 mostra uma luminária de uso muito comum em áreas externas de complexos industriais. Alternativamente são também utilizadas luminárias específicas montadas em postes tubulares metálicos do tipo apresentado na Fig. 2.21.

No ajardinamento dessas áreas são, freqüentemente, aplicadas luminárias específicas com aparência agradável, com fins decorativos. A sensibilidade estética do projetista, aliada aos conhecimentos necessários de luminotécnica, leva à elaboração de bons projetos de iluminação.

2.5.4 – Características fotométricas

Cada tipo de luminária, juntamente com a sua fonte luminosa, produz um fluxo luminoso de efeito não uniforme. Se a fonte luminosa distribui o fluxo de maneira espacialmente uniforme, em todas as direções, a in-

tensidade luminosa é igual para cada distância tomada da referida fonte. Caso contrário, para cada plano numa dada direção, a intensidade luminosa toma diferentes valores. A distribuição deste fluxo em forma de intensidade luminosa é representada através de um diagrama de coordenadas polares, cuja fonte luminosa se localiza no seu centro.

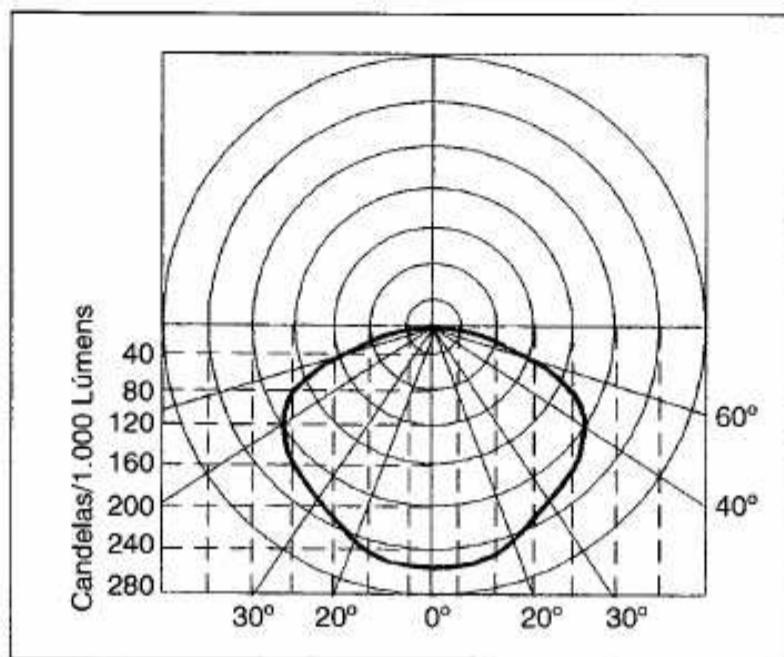


Fig. 2.22 – Curva de distribuição luminosa

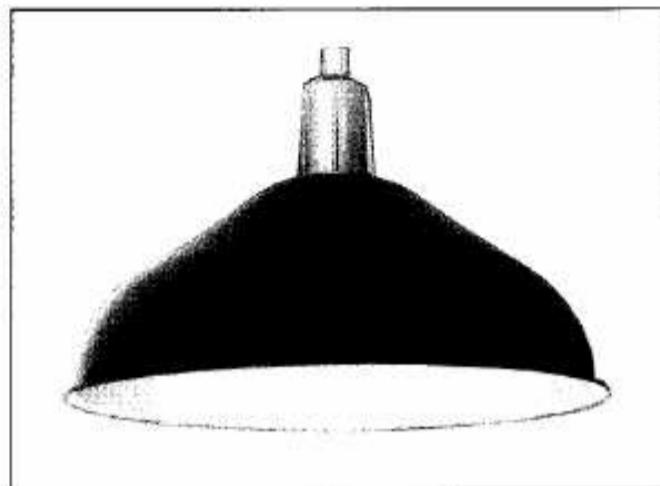


Fig. 2.23 – Luminária

Tomando-se como base este ponto, a intensidade é determinada em função das várias direções consideradas. Para citar um exemplo, observar o diagrama da Fig. 2.22, onde a intensidade luminosa para ângulo de 0°, diretamente abaixo da luminária, é de 260 candelas para 1.000 lúmens da lâmpada, e, a um ângulo de 60°, a intensidade luminosa reduz-se a 40 candelas para 1.000 lúmens. Como a intensidade luminosa é proporcional ao fluxo luminoso emitido pela lâmpada, os fabricantes de luminárias, convencionalmente, elaboram estas curvas tomando como base um fluxo luminoso de 1.000 lúmens. Já a Fig. 2.23 mostra a luminária que produz a distribuição luminosa da Fig. 2.22.

As curvas de distribuição luminosa são utilizadas, com freqüência, nos projetos de iluminação, empregando o método ponto por ponto, a ser estudado posteriormente.

2.5.5 – Ofuscamento

É o fenômeno produzido por excesso de luminância de uma fonte de luz. O ofuscamento oferece ao espectador uma sensação de desconforto visual quando este permanece no recinto iluminado durante um certo intervalo de tempo. O ofuscamento direto provocado pela luminância excessiva de uma determinada fonte de luz pode ser reduzido ou eliminado através do emprego de vidros difusores ou opacos, colmeias, etc. O limite de ofuscamento é dado pela Eq. (2.5) e está representado na Fig. 2.24.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{D}{H_{no}} \quad (2.5)$$

D - distância horizontal do espectador à fonte luminosa, em m;

H_{no} - altura da fonte luminosa ao nível do olho, em m.

Há vários métodos de avaliação do ofuscamento adotados em diferentes países europeus. Um dos mais utilizados baseia-se na satisfação visual dos observadores em função dos níveis de iluminação, ângulo de visão φ e das dimensões *D* e *H_{no}*.

O ângulo φ , igual a 45°, representa o valor máximo acima do qual são considerados os limites de luminância para luminárias observadas sob uma direção normal da visão.

As normas alemãs DIN 5035 apresentam três classes de ofuscamento, de acordo com a qualidade exigida para o ambiente de trabalho:

a) Classe C1

Deve-se adotar uma excelente qualidade em relação ao ofuscamento. São ambientes característicos de salas de aula, lojas de exposição, museus, salas de desenho, recintos de trabalho manual fino, recintos com máquinas operatrizes de produção de alta velocidade.

b) Classe C2

Condições médias em relação ao ofuscamento. São ambientes característicos de fabricação industrial bruta, tais como galvanização, sala de máquinas, vestiários fabris, oficinas mecânicas e similares.

c) Classe C3

Condições desfavoráveis em relação ao ofuscamento e que devem ser evitadas em qualquer tipo de iluminação industrial.

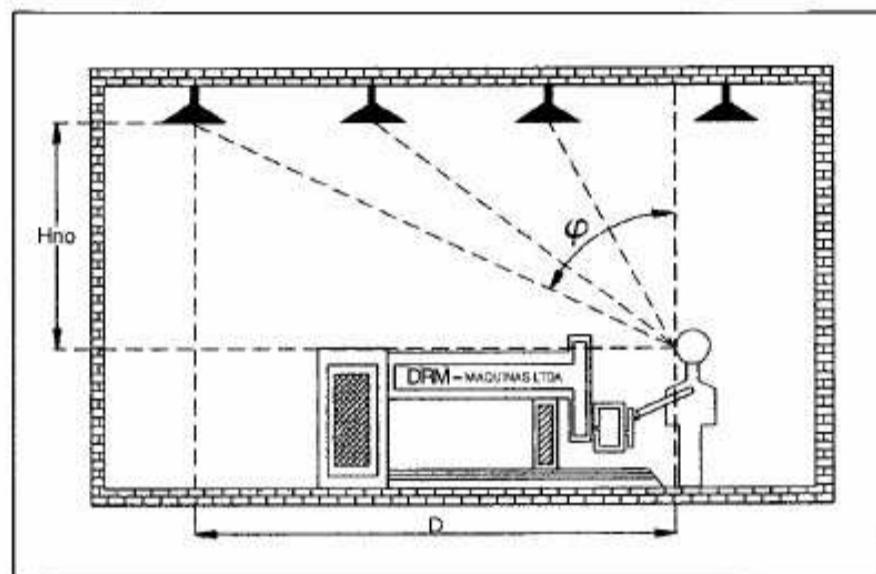


Fig. 2.24 – Ofuscamento de um operador de máquina

2.5.6 – Superfícies internas das luminárias

O tipo e a qualidade das superfícies reflexivas das luminárias são responsáveis pelo nível de eficiência da iluminação de uma determinada área. As luminárias podem, então, ser classificadas a partir do material de cobertura da sua superfície em três diferentes tipos.

- luminárias de superfície esmaltada;
- luminárias de superfície anodizada;
- luminárias de superfície pelicular.

Independentemente do tipo das luminárias, em geral elas são fabricadas em chapas de alumínio. Alguns fabricantes têm lançado luminárias confeccionadas em fibras especiais, utilizadas notadamente em iluminação pública, reduzindo o efeito do vandalismo.

2.5.6.1 – Luminárias de superfície esmaltada

Também conhecidas como luminárias convencionais, estas luminárias recebem uma camada de tinta branca esmaltada e polida que permite um nível de reflexão médio de 50%. No entanto, há luminárias com cobertura de esmalte branco especial que alcança um nível de reflexão de até 87%.

2.5.6.2 – Luminárias de superfície anodizada

São luminárias confeccionadas em chapa de alumínio revestida internamente por uma camada de óxido de alumínio, cuja finalidade é proteger a superfície preservando o brilho pelo maior tempo possível, evitando que a superfície refletora adquira precocemente uma textura amarelada.

Enquanto a luminária convencional apresenta uma reflexão difusa, em que os raios luminosos são refletidos em diversos ângulos, direcionando parte do fluxo para as paredes, a luminária anodizada é concebida para direcionar o fluxo luminoso para o plano de trabalho.

2.5.6.3 – Luminárias de superfície pelicular

São luminárias confeccionadas em chapa de alumínio revestida internamente por uma fina película de filme reflexivo e com a deposição de um fina camada de prata e auto-adesivo, criando uma superfície de elevada reflexão e alto brilho, alcançando um índice de reflexão de 92%. O filme tem uma vantagem sobre os demais processos utilizados para aumentar a reflexão das luminárias devido à sua baixa depreciação, elevando, em consequência, o tempo de limpeza das luminárias. Em quatro anos a sua depreciação atinge um valor de apenas 3%, resultando em economia para a instalação.

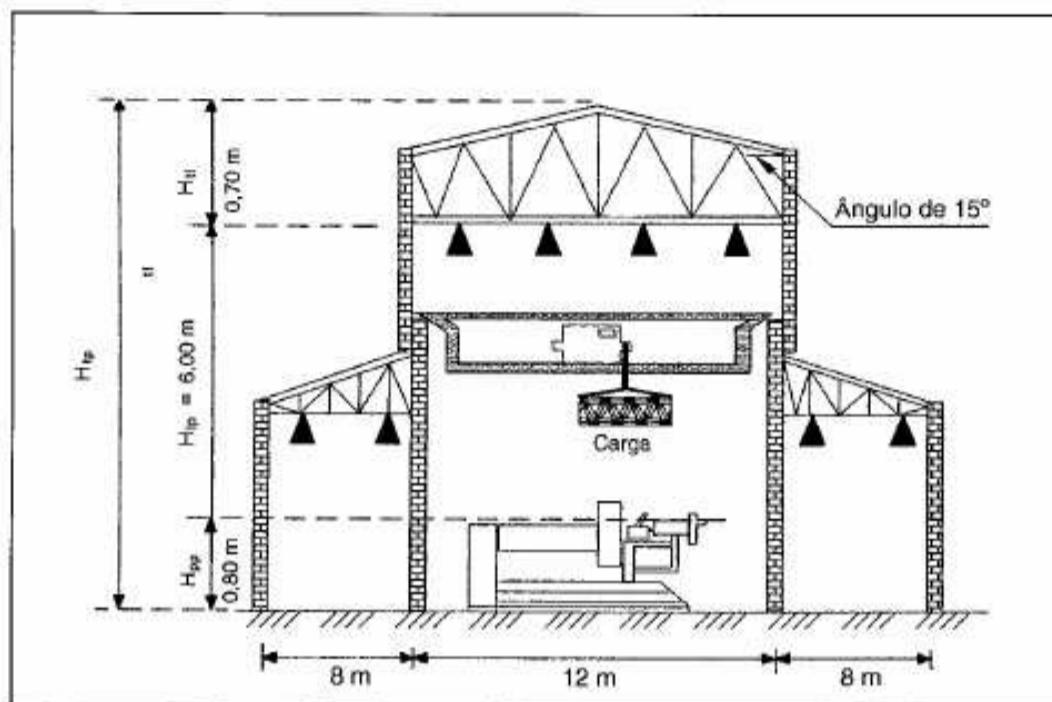


Fig. 2.25 – Maneira de instalar os projetores

De forma geral, as luminárias aumentam o seu rendimento quando são utilizadas lâmpadas com diâmetro reduzido. Um exemplo é o das lâmpadas fluorescentes tipo T5, em que os raios luminosos refletidos pela superfície interna da luminária encontram menor área de obstáculo para atingir o plano de trabalho.

2.6 – ILUMINAÇÃO DE INTERIORES

Um projeto de iluminação industrial requer um estudo apurado para indicar a solução mais conveniente em função das atividades desenvolvidas, da arquitetura do prédio, dos riscos de explosão, ou de outros detalhes peculiares a cada ambiente.

Em geral, as construções industriais têm um pé-direito que pode variar de 3,5 m até 9 m. É comum a utilização de projetores de facho de abertura média com lâmpadas a vapor de mercúrio ou de luminária com pintura difusora com lâmpadas fluorescentes. As luminárias fluorescentes podem ser dispostas em linha, de maneira contínua ou espaçada. Os projetores são fixados em pontos mais elevados, a fim de se obter uma uniformidade desejada no plano de trabalho. As luminárias fluorescentes, em geral, são fixadas em pontos de altura inferior. As Figs. 2.25 e 2.26 mostram, respectivamente, as maneiras de instalar os projetores e luminárias para lâmpadas fluorescentes.

Algumas considerações básicas são interessantes para orientar o profissional num projeto de iluminação industrial, ou seja:

- não utilizar lâmpadas incandescentes na iluminação principal;
- utilizar lâmpadas incandescentes somente na iluminação de emergência ou na iluminação localizada em certos tipos de máquinas. É comum também o seu uso em banheiros sociais, como iluminação decorativa e em outras aplicações em que é exigida pouca iluminância e número reduzido de luminárias;
- tornar a iluminação o mais uniforme possível;
- a relação entre as iluminâncias dos pontos de menor e maior iluminamento, preferencialmente, não deve ser inferior a 0,70;
- em prédios com pé-direito igual ou inferior a 6 m é conveniente utilizar lâmpadas fluorescentes em linhas contínuas ou ininterruptas;

- em prédios com pé-direito superior a 6 m é conveniente utilizar lâmpadas de descarga de alto fluxo luminoso;
- quando empregar projetores, utilizar lâmpadas a vapor de mercúrio ou vapor de sódio;
- em ambientes onde é exigida uma boa reprodução de cores, não utilizar lâmpadas a vapor de sódio;
- nos ambientes em que operam pontes rolantes, tomar cuidado com o posicionamento das luminárias.

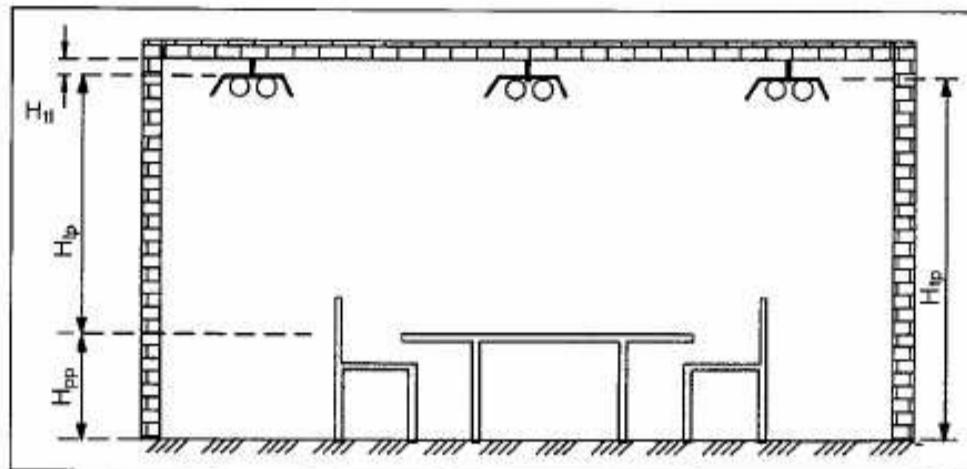


Fig. 2.26 – Maneira de instalar luminárias fluorescentes

Para se elaborar um bom projeto de uma instalação, é necessário que sejam observados os seguintes aspectos:

2.6.1 – Iluminâncias

Para que os ambientes sejam iluminados adequadamente é necessário que o projetista adote os valores de iluminância estabelecidos pela NB 5413, para cada grupo de tarefas visuais, o que é reproduzido na Tabela 2.3.

Para a determinação da iluminância adequada aos ambientes, pode-se adotar o seguinte procedimento recomendado pela NB 5413:

- analisar cada característica dada na Tabela 2.4 para determinar o seu peso;
- somar os três valores encontrados algebraicamente, considerando o sinal;
- quando o valor total do sinal for igual a - 2 ou - 3, usar a iluminância mais baixa do grupo; usar a iluminância superior quando a soma for + 2 ou + 3; nos outros, casos utilizar o valor médio.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Determinar a iluminância adequada para o ambiente de inspeção de produtos têxteis numa indústria cuja idade média dos trabalhadores é inferior a 40 anos e onde é necessária uma elevada refletância.

Pela Tabela 2.4, obtém-se o somatório dos pesos:

- idade: - 1;
- velocidade e precisão: 0;
- refletância do fundo da tarefa: - 1;
- total dos pesos: - 2.

Nesse caso, utiliza-se a iluminância mais baixa do grupo, faixa B da Tabela 2.3, isto é, 1.000 lux (tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas).

A NB 5413 também estabelece as iluminâncias mínimas para os diversos tipos de ambientes em função das tarefas visuais ali desenvolvidas e aqui resumidamente reproduzidas na Tabela 2.5.

56 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAS

É interessante observar que o olho distingue luminância e não iluminância, isto significa que um determinado desenho de cor preta, pintado numa folha de papel branco e submetido a uma determinada iluminância, apresenta diferenças de luminância (partes branca e preta), o que permite uma melhor visão do mesmo por meio do contraste. A prática, porém, consagrou o conceito de iluminância como medida adequada para a percepção.

2.6.2 – Distribuição uniforme do iluminamento

É necessário que exista uma uniformidade razoável de iluminamento no ambiente iluminado. O fator de uniformidade, que representa o quociente entre os iluminamentos de maior e menor intensidade no mesmo recinto, não deve ser inferior a 0,33, porém deve-se conservar na prática um número aproximadamente de 0,70.

Tabela 2.3 – Iluminâncias para cada grupo de tarefas visuais

Faixas	Iluminâncias (lux)	Tipo de atividade
A - Iluminação geral para áreas usadas ininterruptamente ou com tarefas visuais simples	20 30 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 75 100	Orientação simples para permanência curta
	100 150 200	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos
	200 300 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
	500 750 1.000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, auditórios
	1.000 1.500 2.000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
B - Iluminação geral para áreas de trabalho	2.000 3.000 5.000	Tarefas visuais extras e prolongadas, eletrônicas e tamanho pequeno
	5.000 7.500 10.000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10.000 15.000 20.000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia
C - Iluminação adicional para tarefas difíceis	2.000 3.000 5.000	Tarefas visuais extras e prolongadas, eletrônicas e tamanho pequeno
	5.000 7.500 10.000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10.000 15.000 20.000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Tabela 2.4 – Fatores determinantes da iluminância adequada

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	Entre 40 e 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Critica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	Entre 30 e 70%	Inferior a 30%

2.6.3 – Temperatura da cor

Para que se entenda a temperatura da cor é necessário definir corpo negro. Corpo negro é um objeto imaginário que emitiria uma radiação de forma contínua. A sua cor é função da temperatura de trabalho, medida em graus Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).

Assim, um corpo negro que tem uma temperatura de cor de 2.800°K (lâmpada incandescente) terá sempre a mesma aparência de cor para um observador-padrão.

Na prática, não existe o corpo negro, porém alguns materiais comportam-se como ele, como é o caso do filamento de tungstênio das lâmpadas incandescentes. Também o sol é considerado como um corpo negro, por isso a sua luz é tomada para comparação de cores. A temperatura da cor da luz do sol, por exemplo, ao meio-dia é cerca de 5.300°K. Quanto maior for a temperatura do corpo negro, maior será a percentagem de energia visível.

Tabela 2.5 – Iluminâncias mínimas em lux, por tipo de atividade (valores médios em serviço)

Tipo de ambiente	Lux	Tipo de ambiente	Lux
Auditório e anfiteatros		Indústria alimentícia	
Tribuna	500	Enlatamento	200
Platéia	150	Acabamento	150
Sala de espera	150	Classificação	1.000
Bancos		Indústria de calçados	
Atendimento ao público	500	Classificação	1.000
Salas de recepção	150	Lavagem	150
Bibliotecas		Indústria de cimento	
Sala de leitura	500	Acabamento	500
Recinto das estantes	300	Ensacamento	150
Escolas		Indústria de confeitos	
Salas de aula	300	Seleção	200
Sala de trabalho manual	300	Mistura	200
Laboratórios (geral)	200	Fabricação de balas	500
Refeitórios	100	Moagem, fornos	150
Garagens		Indústrias cerâmicas	
Oficinas	200	Trituração	150
Estacionamento interno	150	Acabamento e moldagem	150
Hospitais		Indústrias de papéis	
Sala de médicos	150	Trituração	200
Sala de espera	150	Máquinas de papel	200
Corredores e escadas	100	Indústrias químicas	
Cozinhas	200	Fornos, secadores	200
Sala de operação (geral)	500	Filtragem	200
Quartos para pacientes	150	Indústrias têxteis	
Hotéis e restaurantes		Batedores	200
Banheiros	200	Cardação	300
Corredores e escadas	100	Inspeção	500
Cozinha	200	Tecelagem	300
Quartos	150	Tingimento	200
Exposições	300	Fiação	300
Sala de reuniões	150	Urdimento	500
Restaurantes	150	Locais de armazenamento	
Portaria-recepção	200	Geral	100
Lojas		Pequenos volumes	200
Vitrinas e balcões	1.000	Grandes volumes	200
Hall (escadas)	100	Indústrias metalúrgicas	
Centros comerciais	500	Usinagem grosseira	500
Banheiros (geral)	150	Tornos e polimento	1.000
Soldas		Usinagem - alta precisão	2.000
Iluminação geral	200	Escritórios	
Solda de arco	2.000	Sala de trabalho	250
Esporte		Arquivo	200
Futebol de salão	200	Sala de desenho	500
Voleibol	200	Recepção	250