



COPEL

Manual de Eficiência Energética na Indústria



Prezado Cliente,

A aplicação da efficientização energética em diversos setores de nossa sociedade é uma prática que deve ser considerada essencial nos dias atuais.

Na área industrial, a efficientização energética pode trazer significativa redução de custos, bem como aumento no rendimento energético de equipamentos e instalações, com a conseqüente melhoria da qualidade dos produtos fabricados.

A Copel incentiva a realização de programas de eficiência energética em unidades industriais de seus clientes, buscando contribuir para a melhoria de seus processos produtivos, através do melhor aproveitamento dos recursos aplicados, sem comprometer a qualidade de seus produtos, sua produtividade e a segurança de seus empregados.

Uma ação concreta nesse sentido é a publicação deste ***Manual de Eficiência Energética na Indústria***, que oferece informações detalhadas sobre fornecimento de energia, análise de consumo, instalações elétricas e muitos outros temas igualmente importantes.

A utilização deste Manual no dia-a-dia de sua indústria auxiliará na gestão energética das instalações industriais de forma eficaz, permitindo um melhor aproveitamento de seu potencial fabril.

É mais um serviço da Copel para a melhoria da qualidade de vida de todos os paranaenses.

COPEL

Seus sonhos nossa energia

Companhia Paranaense de Energia  **COPEL**

Edição: NOVEMBRO/2005

Companhia Paranaense de Energia - COPEL
Diretoria de Distribuição - DDI

Desenvolvimento:

Superintendência Comercial de Distribuição - SCD
Superintendência Regional de Distribuição Centro-Sul - SDC
Superintendência Regional de Distribuição Leste - SDL
Superintendência Regional de Distribuição Noroeste - SDN
Superintendência Regional de Distribuição Norte - SDT
Superintendência Regional de Distribuição Oeste - SDO

Coordenação:

Superintendência Comercial de Distribuição - SCD
Área de Utilização de Energia - UENE
Rua José Izidoro Biazetto, 158 - Bloco C
Mossunguê - Curitiba - PR

Assessoria, processo de programação visual e gráfico

Coordenadoria de Marketing - CMK

Fotos: Adoniran Caetani
Carlos Borba

Projeto Gráfico e Diagramação: Fix to Fix - Escritório Inteligente de Comunicação
Capa: Victor S. Pinheiro

ÍNDICE ANALÍTICO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	NOÇÕES GERAIS SOBRE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	3
2.1	Tensões de Fornecimento.....	3
2.2	Grupos Tarifários.....	3
2.3	Demanda (kW).....	4
2.4	Consumo kWh - kvar.....	5
2.5	Tarifas de Energia Elétrica.....	5
2.6	Sistema Tarifário Convencional.....	5
2.7	Sistema Tarifário Horo-Sazonal.....	5
2.8	Ajuste de Fator de Potência.....	6
3.	ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DO CONSUMO.....	9
3.1	Estabelecimento de Índices de Consumo.....	9
3.2	Monitoramento do Consumo.....	10
4.	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	11
4.1	Perdas nas Instalações Elétricas.....	11
4.2	Energia Ativa e Energia Reativa.....	11
4.3	Transformadores.....	12
4.3.1	Perdas em um transformador.....	14
4.3.1.1	Perdas no núcleo.....	14
4.3.1.2	Perdas nos enrolamentos.....	14
4.3.2	Redução das perdas em transformadores.....	16
4.3.2.1	Redução das perdas por medidas de conservação de energia.....	16
4.3.2.2	Redução das perdas nos enrolamentos pela elevação do fator de potência.....	16
4.3.2.3	Redução das perdas nos enrolamentos pela redistribuição das cargas entre os transformadores.....	17
4.3.2.4	Redução das perdas de energia no núcleo de um transformador.....	18
4.4	Circuitos de Distribuição.....	18

4.4.1	Perdas ôhmicas devido às resistências elétricas dos componentes de um sistema da distribuição.....	24
4.4.1.1	Perdas ôhmicas em cabos condutores.....	24
4.4.1.2	Perdas ôhmicas em conexões elétricas.....	26
4.4.2	Redução das perdas ôhmicas em condutores.....	27
4.4.2.1	Ação sobre as resistências dos condutores.....	27
4.4.2.2	Ações sobre as correntes de carga que circulam pelos condutores.....	29
4.5	Motores Elétricos.....	31
4.5.1	Rendimento de motores de indução.....	32
4.5.2	Fator de potência de motores de indução.....	35
4.5.3	Escolha de um motor de indução.....	37
4.5.4	Operação de motores de indução visando o uso racional de energia elétrica.....	38
4.5.5	Tensão de alimentação de um motor.....	40
4.5.6	Manutenção de motores elétricos.....	41
4.6	Iluminação.....	42
4.6.1	Características de um Bom Sistema de Iluminação.....	42
4.6.2	Unidades Fotométricas.....	43
4.6.3	Níveis de Iluminância Recomendáveis.....	45
4.6.4	Tipos de Lâmpadas Usuais.....	47
4.6.5	Reatores.....	51
4.6.6	Luminárias e Difusores.....	53
4.6.7	Substituição de Lâmpadas.....	54
4.6.8	Medidas Práticas para Conservar Energia Elétrica na Iluminação.....	56
4.6.9	Manutenção dos Sistemas de Iluminação.....	58
4.7	Fornos Elétricos, Estufas e Sistemas de Geração de Calor.....	62
4.7.1	Perdas de Energia nos Equipamentos de Aquecimento.....	62
4.7.2	Redução das perdas devido às características construtivas dos fornos elétricos.....	63
4.7.3	Economia de energia na operação do forno.....	67
4.7.3.1	Conservação de energia nas operações anteriores ao aquecimento.....	67
4.7.3.2	Conservação de energia durante o aquecimento do material.....	69
4.7.4	Sistemas de Produção de Calor.....	71
4.7.4.1	Geradores de Vapor.....	71
4.7.4.1.1	Caldeiras Elétricas Tipo Resistência.....	72
4.7.4.1.2	Caldeiras Elétricas Tipo Eletrodo Submerso.....	72
4.7.4.1.3	Caldeiras Elétricas Tipo Jato de Água.....	72

4.7.4.2	Geradores de Água Quente.....	73
4.7.4.2.1	Gerador de passagem.....	73
4.7.4.2.2	Gerador de passagem com acumulação.....	73
4.7.4.2.3	Gerador de acumulação (boiler).....	73
4.7.4.3	Linhas de Vapor.....	74
4.7.4.3.1	Otimização do Uso do Condensado.....	74
4.7.4.4	Gerador Elétrico de Ar Quente.....	75
4.7.4.5	Bomba de Calor.....	76
4.8	Sistemas de Refrigeração, Ar Comprimido, Ar Condicionado e Ventilação.....	76
4.8.1	Sistemas de Refrigeração.....	76
4.8.2	Bombeamento de Água.....	83
4.8.3	Sistemas de Ar Comprimido.....	86
4.8.4	Sistemas de Ar Condicionado e Ventilação.....	89
4.8.4.1	Cuidados na manutenção.....	90
4.8.4.2	Redução do fluxo de ar nos ambientes.....	90
4.8.4.3	Redução do fluxo de ar no sistema de ventilação.....	91
4.8.4.4	Redução da velocidade dos ventiladores.....	91
4.8.4.5	Controle da velocidade do motor de ventiladores.....	94
4.8.4.6	Medidas para Conservar Energia.....	95
4.9	Recomendações Básicas.....	96
5.	CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	99
5.1	Principais Causas do Baixo Fator de Potência.....	99
5.2	Conseqüências para a Instalação.....	100
5.3	Métodos de Correção do Fator de Potência.....	101
5.3.1	Correção do Fator de potência de Motores de Indução.....	105
5.3.1.1	Esquemas de ligação de bancos de capacitores de baixa tensão junto a motores de indução.....	107
6.	CONTROLE DE DEMANDA.....	111
6.1	Conceito de demanda de potência.....	111
6.2	Programação de cargas elétricas.....	111
6.3	Controladores automáticos de demanda.....	112
6.4	Projeto para se instalar um sistema controlador de demanda em uma indústria.....	112

7.	ADMINISTRAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	117
7.1	Projeto e construção da planta industrial.....	117
7.2	Programação e controle da produção.....	117
7.3	Especificação do produto.....	118
7.4	Aprimoramento dos processos produtivos.....	118
7.5	Qualidade do produto fabricado.....	119
7.6	Automação.....	119
7.7	Manutenção.....	119
7.8	Comissão Interna de Conservação de Energia - CICE.....	120
7.8.1	Introdução.....	120
7.8.2	Programa Interno de Conservação de Energia.....	120
7.8.3	Aspectos Administrativos.....	120
7.8.4	Orientações Gerais.....	121
7.8.5	Criação da CICE.....	122
7.8.5.1	Estrutura da CICE.....	124
7.8.5.2	Operacionalização da CICE.....	124
7.8.5.3	Atribuições da CICE.....	125
7.8.5.4	Necessidade de Pequenos Investimentos.....	128
7.8.5.5	Necessidade de Investimento Significativos.....	129
7.8.6	Gestão Energética.....	129
7.8.6.1	Acompanhamento do Consumo de Energia Elétrica.....	130
7.8.6.2	Consumo por Setores.....	130
7.8.6.3	Análise de Demanda.....	131
7.8.6.4	Fator de Carga.....	132
7.8.6.5	Tarifas de Energia Elétrica.....	133
7.8.6.6	Influência do Fator de Carga.....	136
7.8.6.7	Tabela de Acompanhamento.....	137
8.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	139

1. INTRODUÇÃO

Este manual é dirigido aos consumidores industriais interessados em melhorar o rendimento energético de suas instalações elétricas e, por conseqüência, reduzir suas despesas mensais com energia elétrica, sem comprometer a segurança, a qualidade do seu produto ou sua capacidade de produção. As informações prestadas abrangem uma larga faixa dos principais usos de energia elétrica no processo produtivo, tendo em vista que a classe industrial apresenta uma grande variedade de atividades.

Por que melhorar o rendimento energético das instalações elétricas?

Porque os rendimentos energéticos das instalações elétricas proporcionam as seguintes vantagens:

Para sua Indústria:

- Melhora do aproveitamento das instalações e equipamentos elétricos, com conseqüente melhoria na qualidade do produto;
- Redução do consumo energético e conseqüente aumento da produtividade, sem afetar a segurança;
- Redução das despesas com eletricidade.

Para a Sociedade em Geral:

- Redução dos investimentos para a construção de usinas e redes elétricas e conseqüente redução dos custos da eletricidade;
- Redução dos preços de produtos e serviços;
- Maior garantia de fornecimento de energia elétrica e de atendimento a novos consumidores no futuro.

Veja, a seguir, algumas recomendações úteis para você conservar energia elétrica em seus diversos usos, além de outras informações de grande importância para a adequada utilização de eletricidade.

2. NOÇÕES GERAIS SOBRE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os investimentos em conservação de energia elétrica poderão ser viabilizados em função da adequada utilização de energia elétrica, tendo em vista as condições gerais de fornecimento em vigência - Resolução ANEEL nº 456 de 29/11/2000.

A seguir apresentamos algumas definições adotadas na Resolução ANEEL nº 456 de 29/11/2000:

2.1 Tensões de Fornecimento

A Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL estabelece qual é o nível de tensão de fornecimento para a unidade consumidora, observando os seguintes limites:

- Tensão secundária de distribuição: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW;
- Tensão primária de distribuição inferior a 69.000 V: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda contratada ou estimada pelo interessado para o fornecimento for igual ou inferior a 2.500 kW;
- Tensão primária de distribuição igual ou superior a 69.000 V: quando a demanda contratada ou estimada pelo interessado para o fornecimento for superior a 2.500 kW;

Em determinadas condições, previstas na legislação, a concessionária poderá adotar outros limites para estabelecimento da tensão de fornecimento.

2.2 Grupos Tarifários

Para efeito de faturamento da energia elétrica, distinguem-se dois grupos tarifários:

Grupo “A”

Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2.300 V, ou, ainda, atendidas em tensão inferior a 2.300 V a partir de sistema subterrâneo de distribuição, caracterizado pela estruturação tarifária binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) Subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230.000 V;
- b) Subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88.000 V a 138.000 V;
- c) Subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69.000 V;
- d) Subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30.000 V a 44.000 V;
- e) Subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2.300 V a 25.000 V;
- f) Subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2.300 V, atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste Grupo em caráter opcional.

Grupo “B”

Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2.300 V, ou, ainda, atendidas em tensão superior a 2.300 V, caracterizado pela estruturação tarifária monômnia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) Subgrupo B1 - residencial;
- b) Subgrupo B1 - residencial baixa renda;
- c) Subgrupo B2 - rural;
- d) Subgrupo B2 - cooperativa de eletrificação rural;
- e) Subgrupo B2 - serviço público de irrigação;
- f) Subgrupo B3 - demais classes;
- g) Subgrupo B4 - iluminação pública.

2.3 Demanda (kW)

Média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado.

- a) Demanda contratada:

Demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

b) Demanda de ultrapassagem:

Parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW).

c) Demanda faturável:

Valor da demanda de potência ativa, identificado de acordo com os critérios estabelecidos e considerado para fins de faturamento, com aplicação da respectiva tarifa, expressa em quilowatts (kW).

d) Demanda medida:

Maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 (quinze) minutos durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

2.4 Consumo kWh

O consumo de energia faturado é o efetivamente medido no período (geralmente mensal).

2.5 Tarifas de Energia Elétrica

Conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativas de acordo com a modalidade de fornecimento.

2.6 Sistema Tarifário Convencional

Estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano.

2.7 Sistema Tarifário Horo-Sazonal

Estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, conforme especificação a seguir:

a) Tarifa Azul:

Modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia.

b) Tarifa Verde:

Modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

c) Horário de ponta (P):

Período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais, considerando as características do seu sistema elétrico.

d) Horário fora de ponta (F):

Período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.

e) Período úmido (U):

Período de 5 (cinco) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

f) Período seco (S):

Período de 7 (sete) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro.

2.8 Ajuste de Fator de Potência

Em ambos os sistemas tarifários, tanto Convencionais como Horosazonal, o ajuste é cobrado quando o fator de potência da unidade consumidora

no período de faturamento resulta inferior a 0,92 (zero vírgula noventa e dois). No caso da Tarifa Azul, o fator de potência é calculado separadamente para os dois segmentos, ponta e fora de ponta.

3. ACOMPANHAMENTO E ANÁLISE DO CONSUMO

O acompanhamento do consumo de eletricidade tem como objetivos principais: conhecer em detalhes as despesas mensais com esse insumo, verificar sua evolução ao longo do tempo e identificar ações que possam ser adotadas para minimizar os dispêndios com esse item.

Numa primeira etapa, o consumo pode ser acompanhado a partir de análise mensal das faturas apresentadas pelas concessionárias. Recomenda-se que esses dados sejam resumidos em formulário próprio, em que se possa observar, também, a sua evolução ao longo dos meses.

É importante que as contas de energia sejam analisadas pelas áreas técnicas da empresa como, por exemplo, a manutenção ou a produção, e não somente pelas áreas administrativas responsáveis pelo seu pagamento e contabilização.

Para que essa análise resulte em redução efetiva de despesas, é importante um bom conhecimento da legislação que regulamenta o fornecimento de energia elétrica, a qual estabelece as modalidades tarifárias disponíveis, as grandezas a serem utilizadas para o faturamento, os parâmetros fixados em contrato, bem como regula o relacionamento concessionária - consumidor de eletricidade.

3.1 Estabelecimento de Índices de Consumo Específico

Para um melhor gerenciamento do consumo de energia elétrica ao longo do tempo, é importante o estabelecimento de índices que indiquem a quantidade de energia necessária para cada produto manufaturado pela empresa como, por exemplo:

- kWh por quilograma de peça tratada;
- kWh por metro de produto;
- kWh por unidade produzida;
- kWh por metro cúbico de produto;
- kWh por ave congelada;
- kWh por litro de produto.

É importante que o índice escolhido tenha condições de refletir os diferentes tipos de produtos da empresa, bem como suas peculiaridades de processo. Para isso, muitas vezes, torna-se necessária a instalação de equipamentos para medição do consumo de energia elétrica e dos dados de produção.

Uma vez escolhido o índice, deve-se acompanhá-lo ao longo do tempo, estabelecendo parâmetros de valores máximos e mínimos admissíveis.

Uma prática interessante consiste em prever metas para a redução do consumo específico de eletricidade e, em função disso, identificar ações e procedimentos para atingir esses objetivos.

3.2 Monitoramento do Consumo

Muitas vezes, o acompanhamento do consumo através das contas de energia não é suficiente para um melhor conhecimento de como a eletricidade é consumida nos diversos equipamentos instalados, qual a participação de cada um no consumo da empresa e sua influência sobre o valor da conta. Nesses casos se torna necessário um acompanhamento mais freqüente, diário ou semanal, através da leitura direta dos medidores de consumo.

Quando as instalações da empresa apresentam maior porte ou complexidade, a análise das características de consumo pode ser dificultada, se dispõe de um único ponto totalizando todo o consumo. É conveniente, então, a instalação de medidores em diversos locais, como: seções, galpões, circuitos ou até máquinas, se for o caso.

Esse procedimento permite acompanhar não só o consumo de eletricidade, como também fornecer informações que possibilitem determinar a forma como a energia é consumida. É, também, fundamental para priorizar os pontos a serem atacados e identificar as ações a serem empregadas para redução do consumo.

No mercado existem diversos softwares de acompanhamento, que podem ser utilizados para elaborar relatórios gerenciais. A Copel disponibiliza mediante cadastro software capaz de efetuar análises das leituras existentes, na base de dados da Copel, traçando curvas de carga da instalação do consumidor. O sistema ACC, Análise de Comportamento de Carga, encontra-se disponível no site da empresa, opção Copel soluções ou pelo número 0800-6437575.

4. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Um adequado projeto e um bom plano de operação e manutenção das instalações elétricas podem representar significativas economias de energia, assim como garantir boas condições para funcionamento e segurança dos equipamentos e continuidade da produção.

4.1 Perdas nas Instalações Elétricas

As principais perdas que ocorrem em circuitos elétricos são de três tipos:

a) Perdas por Efeito Joule

São provocadas pela passagem de corrente elétrica através de condutores, ocasionando seu aquecimento. Aparecem em todos os componentes do circuito: transformadores, condutores, motores, lâmpadas, etc. Estas perdas são, sem dúvida, as mais significativas, variando com o quadrado da corrente elétrica.

b) Perdas por Histerese

São provocadas pela imantação remanescente do ferro, manifestando-se em todos os circuitos magnéticos submetidos a campos alternados: transformadores, motores, reatores, etc.

c) Perdas por Correntes de Foucault

São originadas pelas correntes parasitas induzidas. Tornam-se mais significativas nos circuitos magnéticos de maior porte e nos condutores de maior seção.

4.2 Energia Ativa e Energia Reativa

Todos os equipamentos que possuem um circuito magnético e funcionam em corrente alternada (motores, transformadores, etc.) absorvem dois tipos de energia: a ativa e a reativa.

Energia ativa: é aquela que efetivamente produz trabalho.

Exemplo:

A rotação do eixo de um motor.

Energia reativa: é aquela que, apesar de não produzir trabalho efetivo, é indispensável para produzir o fluxo magnético necessário ao funcionamento dos motores, transformadores, etc.

A cada uma destas energias corresponde uma corrente, também denominada de Ativa e Reativa. Estas duas correntes se somam vetorialmente para formar uma corrente aparente. Esta, embora chamada Aparente, é bastante real, percorrendo os diversos condutores do circuito, provocando seu aquecimento, e, portanto, gerando perdas por efeito Joule.

O fator de potência (**FP**) pode ser calculado pela relação da corrente ativa (**IA**) com a corrente aparente (**IAp**), ou da potência ativa (**PA**) com a potência aparente (**PAp**):

$$FP = \frac{IA}{IAp} = \frac{PA}{PAp}$$

4.3 Transformadores

Os transformadores são equipamentos estáticos que transferem energia elétrica de um circuito para outro, variando os valores de corrente e tensão. Nem todas as indústrias possuem transformadores em suas instalações. As empresas pequenas com cargas instaladas iguais ou inferiores a 75 kW, conforme norma técnica COPEL, NTC 9.01100, já recebem energia elétrica em baixa tensão, adequada as suas máquinas elétricas. Indústrias que possuem carga instalada superior aos valores acima mencionados recebem energia elétrica em tensões que variam de 13,8 kV a 230 kV sistema COPEL, conforme o seu porte. Nessas indústrias há necessidades da existência de transformadores.

Nestes equipamentos no processo de transferência de energia ocorrem perdas, que dependem da construção do transformador e do seu regime de funcionamento.

As perdas são de dois tipos: em vazio (no ferro) e em carga (no cobre).

- As perdas em vazio correspondem às ocorridas no circuito magnético, por histerese e correntes de Foucault.

- As perdas em carga são provocadas por efeito Joule, ocasionando aquecimento.

O rendimento dos transformadores é, em geral, elevado, principalmente se o equipamento é de boa qualidade. O conjunto de suas perdas pode parecer desprezível quando comparado à sua potência nominal, porém, torna-se significativo quando comparado com o consumo total da instalação, uma vez que estes equipamentos permanecem em funcionamento praticamente o tempo todo.

Apesar do transformador ser projetado para operar adequadamente em condições de carga nominal, é evidente que, quanto maior for a carga do transformador, maior será o aquecimento do equipamento, provocando uma redução em sua vida útil.

Por isso, pode-se utilizá-lo com carregamento na faixa de 30 a 80 % de sua potência nominal, obtendo-se rendimento e vida útil satisfatórios.

Veja a seguir outros pontos importantes:

Elimine progressivamente os transformadores muito antigos, substituindo-os, quando ocorrerem avarias, por outros mais modernos.

Quando um transformador é mantido sob tensão e não fornece nenhuma potência, suas “perdas no cobre” são praticamente nulas, enquanto que as “perdas no ferro” ocorrem sempre. Assim, é aconselhável deixar os transformadores desligados da rede quando não estão em serviço, durante prazos relativamente curtos (períodos não superiores a uma semana), evitando-se problemas decorrentes da absorção de umidade.

Quando existirem diversos transformadores para alimentar a mesma instalação, seria teoricamente econômico ajustar a carga em funcionamento, alternando o uso dos transformadores, quando cabível, limitando-se assim as perdas em vazio nas horas de baixa carga, ou em que a indústria não esteja funcionando. Em muitos casos pode ser interessante se dispor de um transformador de menor porte, exclusivo para alimentação da iluminação de modo mantê-la ligada durante a execução dos serviços de limpeza e vigilância nos horários em que a empresa não esteja funcionando.

Faça manutenção preventiva nos transformadores, visando eliminar paralisações de emergência. A manutenção de transformadores é relativamente simples e se constitui basicamente dos seguintes itens: detecção de vazamentos, ensaio de rigidez dielétrica do óleo, inspeção das partes metálicas, testes de isolamento e limpeza geral.

Compre equipamentos de boa qualidade, observando sempre as normas brasileiras.

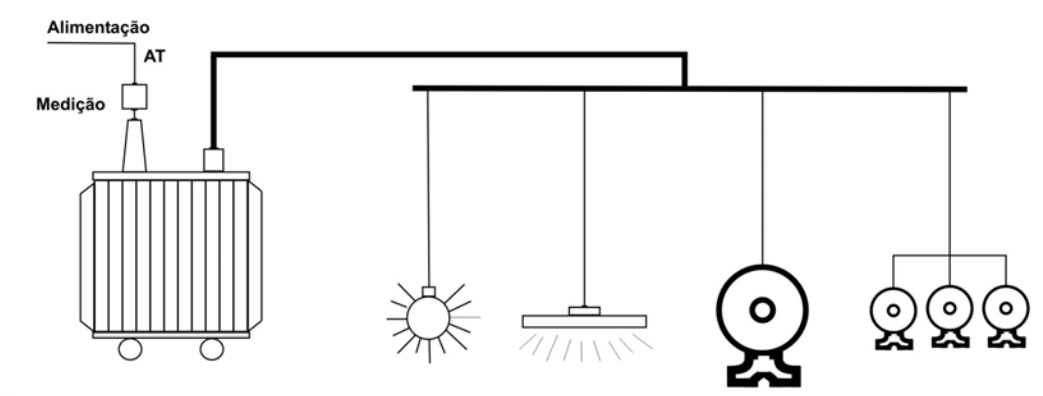


Figura 4.1
Alimentação de circuitos de distribuição

4.3.1 Perdas em um transformador

Como toda máquina, o transformador apresenta perdas, que são pequenas em relação a sua potência nominal. Essas perdas podem ser classificadas em dois tipos: perdas no núcleo magnético, ou perdas no ferro, e perdas nos enrolamentos, ou perdas no cobre.

4.3.1.1 Perdas no núcleo

As perdas no núcleo existem desde que o transformador esteja ligado à rede elétrica e são devidas às características magnéticas dos materiais empregados na sua fabricação e se caracterizam por praticamente não variarem com a carga solicitada do transformador.

Essas perdas dependem dos materiais utilizados, principalmente das chapas de ferrossilício. Os transformadores mais modernos apresentam menores perdas devido ao desenvolvimento tecnológico na fabricação das chapas de ferro e aos projetos mais bem elaborados.

4.3.1.2 Perdas nos enrolamentos

Os enrolamentos dos transformadores são feitos de materiais de elevada condutibilidade, principalmente de cobre e, mais raramente, de alumínio. Ao circular corrente elétrica por um condutor ocorrem perdas, chamadas de perdas ôhmicas ou perdas joule, que se caracterizam por variar com a resistência do condutor e com o quadrado da corrente elétrica que por ele circula. Como em um transformador as resistências dos seus enrolamentos são, praticamente,

constantes, pode-se afirmar que as perdas nos enrolamentos variam com o quadrado da corrente de carga, ou seja:

$$\text{Perdas no Enrolamento} = R I_{\text{carga}}^2$$

Nos transformadores modernos, as perdas nos enrolamentos à plena carga, ou seja, quando se está solicitando do transformador sua potência nominal, são em média três vezes superiores às perdas no núcleo.

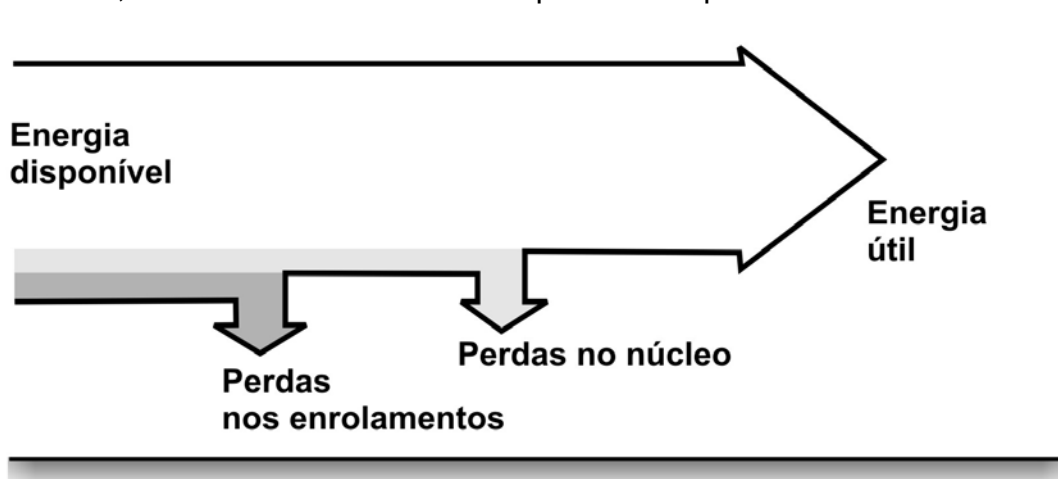


Figura 4.2
Perdas de energia em transformadores

Tabela 4.1
Perdas em transformadores conforme Normas ABNT

Potência (kVa)	Perdas no Ferro (W)	Perdas Totais (W)
15	120	460
30	200	770
45	260	1040
75	390	1530
112,5	520	2070
150	640	2550
225	900	3600
300	1120	4480
500	1350	6700
750	1500	13500
1000	1900	16500
1500	2500	25000
2000	3900	25100
3000	4900	31700

4.3.2 Redução das perdas em transformadores

Conforme citado, as perdas nos enrolamentos de um transformador são dadas pelo produto da resistência pelo quadrado da corrente de carga. Como a resistência elétrica do enrolamento não varia com o carregamento do transformador, a redução das perdas é obtida através de medidas de conservação de energia nas correntes de cargas alimentadas pelo transformador, como a elevação do fator de potência e a distribuição adequada das cargas entre os transformadores, quando existir mais de um em uma indústria.

No caso das perdas no ferro, elas somente deixarão de existir caso o transformador seja desligado da rede elétrica, como será visto a seguir.

4.3.2.1 Redução das perdas por medidas de conservação de energia

As medidas de conservação de energia elétrica adotadas no âmbito da empresa resultam em uma menor solicitação de potência e, conseqüentemente, menor corrente de carga a ser suprida pelo transformador. Quanto menor a corrente, menor serão as perdas nos enrolamentos do equipamento.

4.3.2.2 Redução das perdas nos enrolamentos pela elevação do fator de potência

Outra ação tecnicamente fácil e que exige baixos investimentos, para a redução das perdas nos enrolamentos de um transformador, é a elevação do fator de potência com o qual o conjunto das cargas alimentadas pelo transformador opera. A elevação do fator de potência reduz a componente indutiva da corrente, reduzindo o valor da corrente da carga.

Essa redução das perdas no transformador, pela elevação do fator de potência com o qual as cargas elétricas alimentadas operam, é dada pela expressão:

$$R = 1 - \left(\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2$$

em que:

$\cos \varphi_1$ - é o fator de potência antes da correção.

$\cos \varphi_2$ - é o fator de potência depois da correção.

4.3.2.3 Redução das perdas nos enrolamentos pela redistribuição das cargas entre os transformadores

Quando uma indústria dispõe de mais de um transformador, pode-se obter uma redução das perdas com uma adequada redistribuição das cargas elétricas entre os transformadores, de forma que os que operam com carregamento elevado tenham sua corrente reduzida, enquanto que outros, com carregamento baixo, recebam parte da carga.

Exemplo:

Considere uma indústria com dois transformadores idênticos, com uma distribuição de carga tal que um opera a plena carga e outro com 50 % de sua capacidade.

Nestas condições, as perdas nos enrolamentos dos dois transformadores são:

$$P_1 = R \times I_n^2$$

$$P_2 = R \times (0,5 \times I_n)^2$$

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = R \times I_n^2 + R \times (0,5 \times I_n)^2$$

$$P = 1,25 \times R \times I_n^2$$

Onde:

R é a resistência equivalente dos enrolamentos de cada transformador.

I_n é a corrente nominal de cada um.

Se for feita uma redistribuição de cargas, de tal sorte que cada transformador opere com 75 % de sua potência nominal, as perdas globais serão:

$$P' = R \times (0,75 \times I_n)^2 + R \times (0,75 \times I_n)^2$$

$$P' = 1,125 \times R \times I_n^2$$

A relação das perdas nas duas condições é:

$$\frac{P'}{P} = 0,90$$

Ou seja, a redistribuição das cargas entre os dois transformadores propiciou uma redução de 10 % nas perdas globais nos enrolamentos dos dois transformadores.

4.3.2.4 Redução das perdas de energia no núcleo de um transformador

Como as perdas no núcleo praticamente independem do carregamento do transformador, elas ocorrem mesmo operando em vazio. Dessa forma, uma das maneiras de se reduzir perdas é desligar o transformador quando ele não estiver alimentando nenhuma carga.

Sendo assim, indústrias que não operam no período noturno e em fins de semana reduzirão os seus consumos de energia elétrica, se desligarem seus transformadores.

Exemplo:

Seja uma indústria que solicita uma demanda de potência de 400 kW e apresenta um consumo médio de 85.000 kWh, operando 330 horas por mês. O transformador dessa indústria possui as seguintes características:

Potência nominal = 750 kVA

Perdas no núcleo = 2 kW

Considerando-se um mês médio de 730 horas, pode-se desligar o transformador 400 horas por mês. A energia economizada devido ao desligamento do transformador nos períodos não produtivos é:

$$E = 2 \text{ kW} \times 400 \text{ h} = 800 \text{ kWh}$$

ou seja, quase 1% da energia mensalmente consumida.

Deve-se tomar cuidado com a tensão de alimentação em relação à tensão nominal do transformador, principalmente em equipamentos antigos pois, caso ela seja superior à tensão nominal, as perdas no núcleo se elevam sensivelmente. Neste caso, a substituição do transformador deve ser estudada.

4.4 Circuitos de Distribuição

Os principais desenvolvimentos da tecnologia de fios e cabos não resultaram em economias de energia, mas sim na melhoria dos isolantes. Os materiais atualmente utilizados podem suportar, por tempo prolongado, temperaturas maiores, elevando a capacidade de condução de corrente dos condutores. No entanto, as perdas por efeito Joule crescem devido ao aumento da resistividade decorrente da elevação da temperatura dos condutores.

Deve-se, para cada instalação, calcular a seção ótima e mais econômica dos condutores, considerando-se os diversos parâmetros, como o custo do capital e o preço da energia. Esta análise é fácil quando da concepção de novas instalações e difícil quando em instalações já existentes.

A Norma Brasileira NBR-5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão - define, entre outras, as máximas intensidades de corrente admissíveis em condutores em função do tipo de eletroduto utilizado. Se estes valores não são respeitados, os isolantes serão submetidos a temperaturas incompatíveis com suas características técnicas, comprometendo sua segurança.

Utilizar condutores mal dimensionados equivale a efetuar desperdícios consideráveis de energia, além de comprometer a segurança da instalação.

A norma conduz a determinação das bitolas mínimas a serem utilizadas.

Tais normas, no entanto, não restringem a utilização de bitolas superiores aos valores mínimos, pois quanto maior a bitola menor resistividade dos condutores e, portanto, menores perdas por efeito Joule.

Para realizar uma instalação elétrica sob os diversos pontos de vista, deve-se, portanto, sempre respeitando as normas, estabelecer um equilíbrio entre o investimento em material de melhor qualidade e as economias de energia que se possa realizar.

O transporte de elevadas correntes em baixa tensão é muito oneroso, seja em função das maiores bitolas de condutores exigidos (em cobre ou em alumínio) seja pelas perdas de energia devido ao efeito Joule. Podem-se reduzir, simultaneamente, estes dois custos, implantando centros de transformação nas proximidades dos centros de carga das instalações.

Esta política conduz a um aumento no número de transformadores existentes e exige a implantação de uma rede interna de alta tensão para alimentá-los. Os longos circuitos de distribuição mais carregados são assim substituídos por cabos de alta tensão com seções menores, com perdas significativamente inferiores.

Utilizar a tensão de 380 V é, na prática, suficiente para a alimentação da maior parte dos equipamentos encontrados na indústria. Entretanto, se existir um ou mais equipamentos de elevada potência, se torna vantajoso alimentá-los diretamente com alta tensão. Esta prática pode não só reduzir os custos da instalação elétrica, como também evitar desperdícios desnecessários de energia elétrica.

O sistema elétrico de distribuição de energia de uma instalação industrial pode apresentar diversos arranjos, cujas configurações são definidas em função:

- da confiabilidade do suprimento desejado de energia elétrica;
- da regulação de tensão adequada às necessidades das cargas elétricas;
- da flexibilidade de operação do sistema;

- da facilidade para a adição de novas cargas;
- e dos investimentos necessários para sua implantação.

Os sistemas de distribuição de energia elétrica radiais são os mais encontrados nas instalações industriais, principalmente nas de pequeno e médio porte, por serem mais simples e de menores custos. Na maioria dos casos, particularmente nas indústrias médias, os transformadores de médio-baixa tensões se encontram instalados em um único local. Por via de regra, próximo à entrada de energia, exigindo longos circuitos de distribuição em baixa tensão, o que encarece a instalação e eleva substancialmente as perdas de energia. A Figura 4.3 mostra, esquematicamente, esse tipo de sistema de distribuição de energia elétrica.

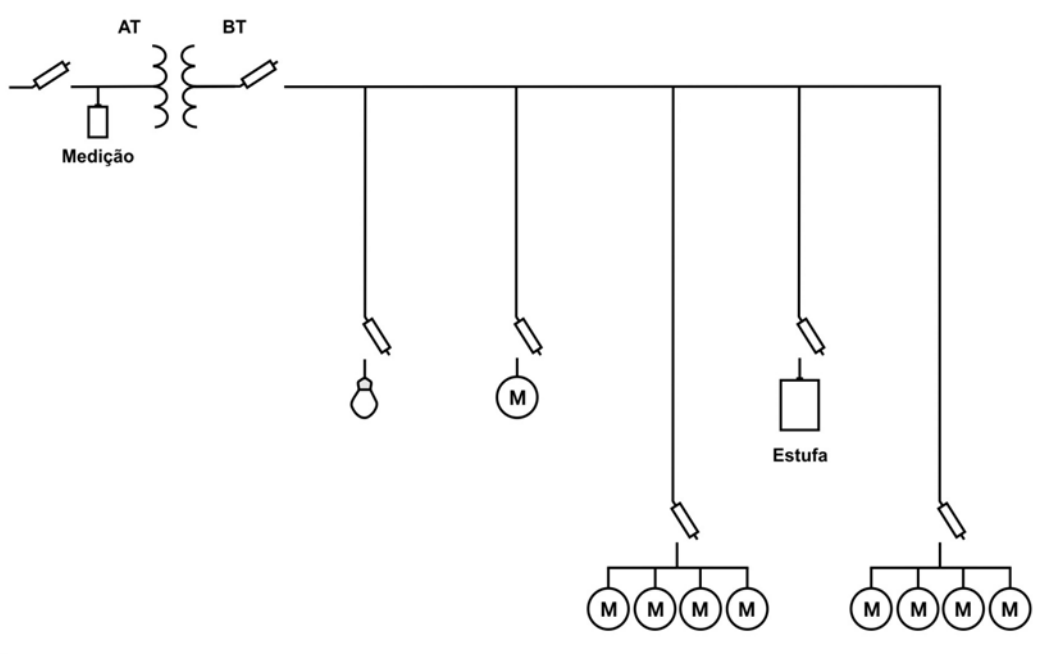


Figura 4.3
Instalação elétrica com transformador na entrada de energia elétrica

Sistemas radiais bem projetados em termos de redução de quedas de tensão e de perdas de energia são aqueles em que os transformadores são instalados próximo aos centros de carga, conforme mostra a Figura 4.4. Nesse tipo de arranjo os circuitos de baixa tensão são menores, havendo, conseqüentemente, menores quedas de tensão e reduções significativas de perdas de energia nos circuitos.

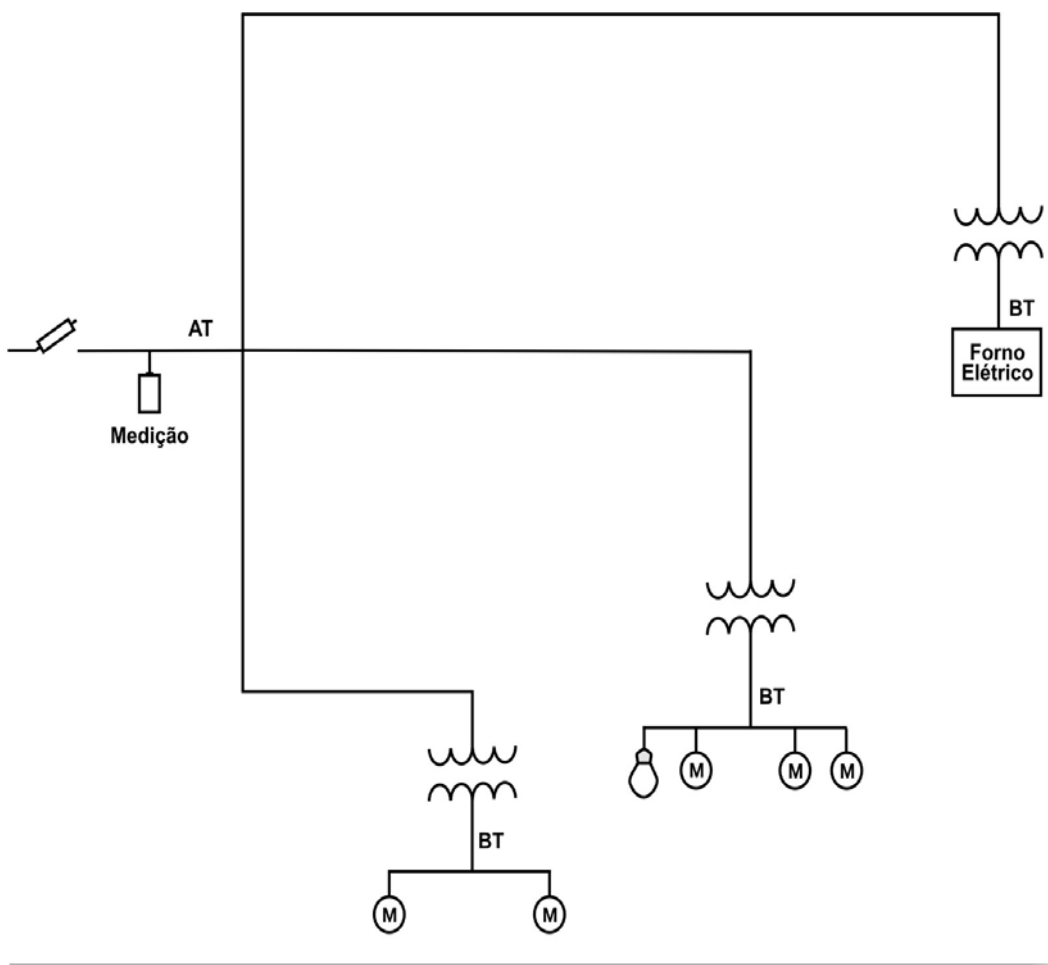


Figura 4.4

Circuito de distribuição com transformadores distribuídos próximos aos centros de carga

Nas instalações de maior porte, que requerem maior confiabilidade e maior flexibilidade operativa, utilizam-se arranjos de sistemas de distribuição com transformadores ligados em paralelo. Tais sistemas exigem maiores investimentos e, por apresentarem níveis elevados de curto-circuito, necessitam de cuidados especiais na sua operação para evitar correntes de circulação nos transformadores, o que pode causar sérios problemas na instalação e elevadas perdas de energia. A Figura 4.5 mostra, esquematicamente, um arranjo com essa configuração.

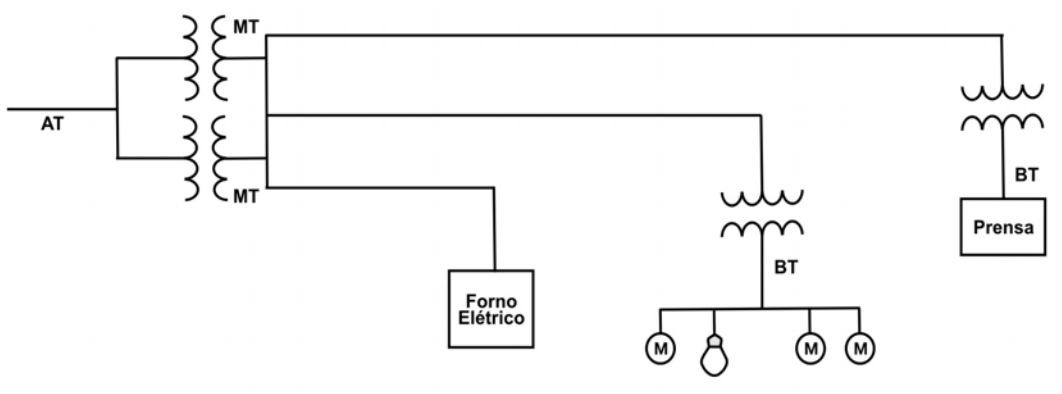


Figura 4.5
Circuitos de distribuição em instalações de grande porte

Em qualquer arranjo, um sistema de distribuição é constituído de transformadores, disjuntores, chaves seccionadoras, chaves fusíveis, contadores, barramentos, cabos condutores e conectores. Todos esses dispositivos apresentam resistências elétricas.

Ao circular corrente elétrica por tais resistências, dissipa-se uma potência elétrica na forma de calor: as perdas ôhmicas ou perdas joule. Essas perdas são calculadas pela expressão:

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

onde: **R** é a resistência elétrica do dispositivo.

I é a corrente elétrica que por ele circula.

Dessa forma, em todo e qualquer sistema de distribuição de energia elétrica há perdas que podem alcançar valores elevados, aumentando o consumo de energia elétrica e, principalmente, a demanda de potência solicitada pela indústria (ver Gráficos 4.1 a 4.3).

Essas perdas aquecem o ambiente, tornando, em muitos casos, necessária a renovação do ar, que se processa através de ventiladores e exaustores, elevando ainda mais o consumo de energia e a demanda de potência solicitada.

Além das resistências inerentes aos dispositivos que compõem um sistema de distribuição, existem as resistências de contato devido às conexões elétricas entre tais dispositivos. Da mesma forma que no caso das resistências elétricas, ao circular corrente por uma resistência de contato, dissipa-se uma potência em forma de calor.

Em resumo, em um sistema de distribuição de energia elétrica de uma

indústria há dois tipos de perdas ôhmicas: aquelas devido às resistências elétricas inerentes aos dispositivos que compõem o sistema e aquelas devido às resistências de contato das conexões entre os diversos dispositivos elétricos.

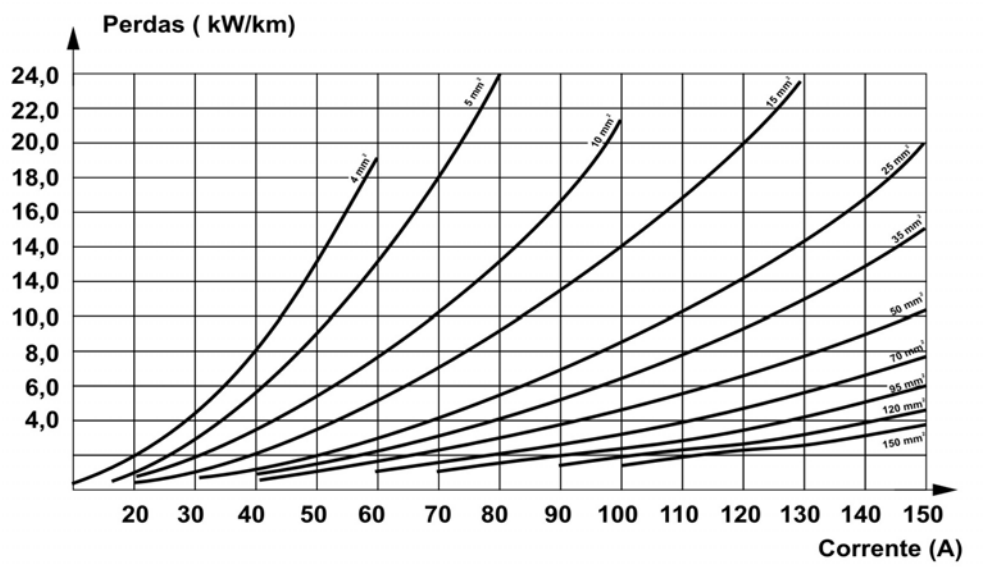


Gráfico 4.1
Perdas em condutores por efeito joule (kW/km)

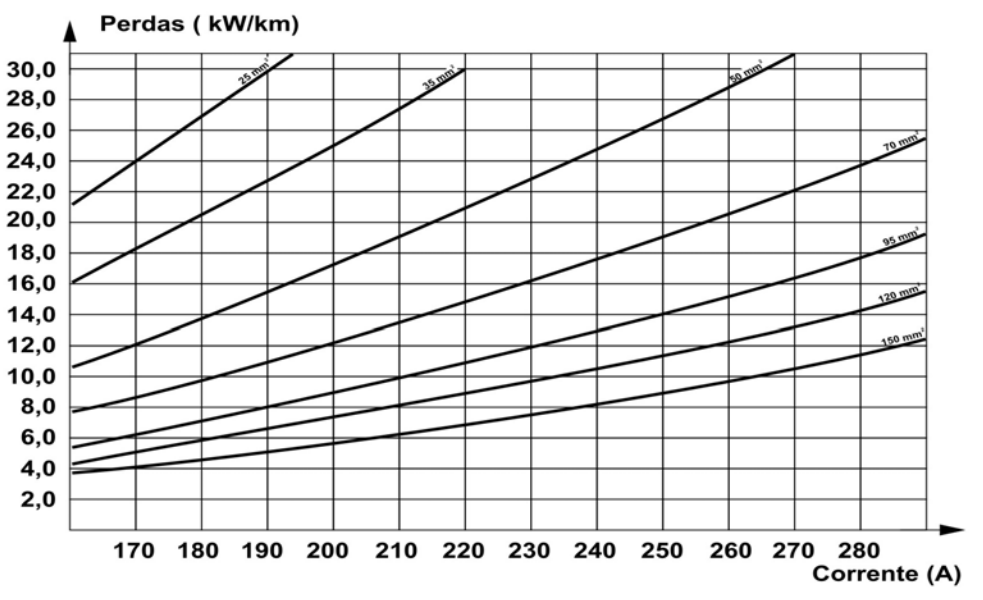


Gráfico 4.2
Perdas em condutores por efeito joule (kW/km)

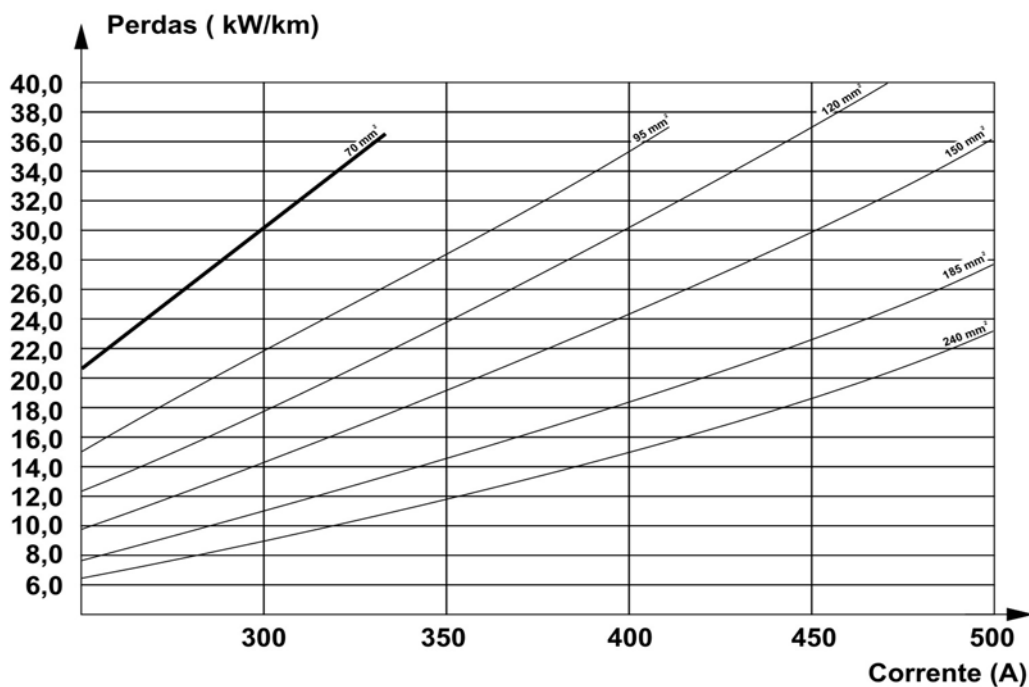


Gráfico 4.3
Perdas em condutores por efeito joule (kW/km)

4.4.1 Perdas ôhmicas devido às resistências elétricas dos componentes de um sistema da distribuição

Todos os componentes de um sistema de distribuição de energia elétrica apresentam resistências elétricas. Pode-se considerar que tais resistências sejam desprezíveis em disjuntores, chaves seccionadoras e chaves fusíveis, desde que estejam dimensionadas adequadamente para as correntes de carga que por eles circulam e estejam em boas condições operacionais. Para transformadores, tais perdas foram abordadas no capítulo referente ao uso racional desses equipamentos. Nos cabos condutores e nas conexões elétricas, essas perdas são mais significativas e serão abordadas a seguir.

4.4.1.1 Perdas ôhmicas em cabos condutores

Os cabos condutores são, usualmente, de cobre ou alumínio. Nas instalações industriais, principalmente para condutores de baixa tensão e isolados, a predominância é para o cobre.

A resistência elétrica de um condutor é dada pela expressão:

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

onde:

ρ é a resistividade do material com o qual o condutor é feito e varia com a temperatura.

l é o comprimento do condutor.

S é a área de seção transversal, ou bitola, do condutor.

Exemplo:

Um motor trifásico de 100 HP, tensão nominal de 220 V, rendimento 90 %, fator de potência igual a 0,80 a plena carga, ligado a 120 metros do transformador, através de condutores de cobre de 120 mm² de seção transversal, operando a plena carga durante 500 horas por mês.

Nessas condições, a corrente solicitada pelo motor é:

$$I = \frac{P}{(\sqrt{3}) \times V \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{100 \times 745}{(\sqrt{3}) \times 220 \times 0,8}$$

$$I = 244A$$

***NOTA:** 745 = Fator de conversão de HP para watts
736 = Fator de conversão de CV para watts

A potência solicitada da rede é:

$$P = P_n / \eta$$

$$P = (100 \times 745) / 0,9 = 83 \text{ kW}$$

O consumo mensal de energia do motor é:

$$C = P \times 500 \text{ h}$$

$$C = 83 \times 500 = 41.500 \text{ kWh}$$

Um condutor de cobre com seção transversal de 120 mm² apresenta uma resistência elétrica de 0,164 Ω/km. Então, as perdas ôhmicas nos três condutores que alimentam o motor são:

$$P = 3 \times R \times I^2$$

$$P = 3 \times (0,12 \times 0,164) \times 244^2$$

$$P = 3,5 \text{ kW}$$

As perdas mensais de energia nos condutores são:

$$P_m = 3,5 \times 500$$

$$P_m = 1.750 \text{ kWh}$$

Nesse caso, as perdas ôhmicas nos condutores representam 4,2 % da energia consumida pelo motor.

Nota-se, pelo exemplo, que as perdas de energia nos condutores podem chegar a valores consideráveis e, portanto, devem ser analisadas criteriosamente em qualquer programa de conservação de energia elétrica em uma indústria.

Utilizando-se o gráfico 4.2 para determinação das perdas nos condutores, tem-se:

$$P = 10,5 \times 0,120 \times 3$$

$$P = 3,7 \text{ kW}$$

As perdas mensais seriam:

$$P_m = 3,7 \times 500$$

$$P_m = 1.850 \text{ kWh}$$

4.4.1.2 Perdas ôhmicas em conexões elétricas

Toda conexão entre cabos condutores, ou entre cabos condutores e equipamentos elétricos, possui uma resistência elétrica de contato que apresenta perdas ôhmicas com a passagem da corrente elétrica, as quais podem ser representativas em relação ao consumo de energia elétrica de uma indústria.

Existem dois tipos de conexões: a conexão por fusão e a conexão por pressão. As conexões por fusão são aquelas resultantes da soldagem dos condutores. As conexões por pressão podem ser classificadas como conexões de aperto e conexões de compressão. As conexões mais comumente encontradas em sistemas de distribuição de energia elétrica na indústria são as por pressão.

Quanto menor o número de pontos de contato, maior a resistência elétrica. Dessa forma, se for aplicada pressão sobre os condutores, provocando uma maior união entre eles, pode-se, ou achatar os pontos de contato existentes, ampliando a superfície de contato, ou fazer surgir novos pontos de contato. Sendo assim, a pressão que se aplica em um conector é de fundamental importância para se ter uma boa conexão. Uma pressão insuficiente eleva a resistência de contato, aumentando as perdas ôhmicas.

4.4.2 Redução das perdas ôhmicas em condutores

Pela expressão que determina as perdas ôhmicas em condutores, verifica-se que para reduzi-las deve-se atuar sobre as resistências dos condutores e sobre as correntes que por eles circulam.

4.4.2.1 Ação sobre as resistências dos condutores

Para se reduzir a resistência elétrica de um condutor, há as seguintes recomendações:

- Utilizar materiais de baixa resistividade: Os materiais empregados em condutores instalados em uma indústria são de cobre e, mais raramente, de alumínio, que são metais de baixa resistividade.
- Utilizar condutores de maiores seções transversais: A utilização de condutores de maiores seções transversais tem limitações econômicas, pois a sua aplicação pode encarecer a instalação. Dessa forma, devem ser empregados condutores recomendados pelas normas técnicas, evitando-se a utilização dos que têm seções transversais inferiores àquelas recomendadas.
- Reduzir o comprimento dos condutores: A redução do comprimento dos condutores utilizados, principalmente em baixa tensão, é a forma mais adequada de minimizar perdas ôhmicas através da redução da resistência elétrica. Isso pode ser conseguido a partir de uma revisão dos circuitos de alimentação, tornando seu comprimento o menor possível.

Para melhor se visualizar a diminuição das perdas ôhmicas através da redução dos comprimentos dos condutores, considere-se o exposto abaixo:

Exemplo:

Um motor trifásico de 100 HP, 220 V, operando a plena carga, com rendimento igual a 0,85 e fator de potência igual a 0,87, está ligado a um transformador 13.800 / 220 V por condutores de cobre de seção transversal de 120 mm², conforme mostra esquematicamente a Figura 4.6.

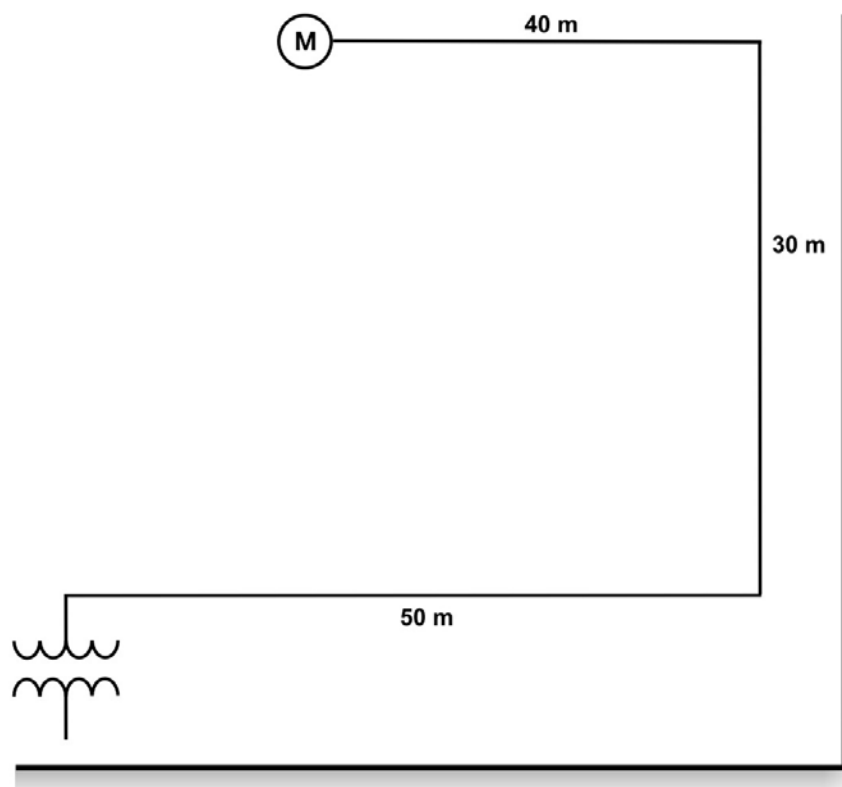


Figura 4.6
Esquema de alimentação de um motor de 100HP

A corrente de carga do motor nessas condições é de 225 A e a resistência do condutor é 0,164 Ω /km. Como o comprimento do circuito é de 120 m, a resistência dos condutores será igual a 0,0197 Ω . A potência dissipada nos condutores é 3,0 kW.

Se a alimentação do motor for feita por outro percurso, conforme mostra a Figura 4.7, o comprimento de cada condutor diminuirá para 40 m. Nesse caso, a resistência de cada condutor se reduz para 0,007 Ω , a corrente de carga praticamente permanece a mesma, e as perdas caem para 1,1 kW, havendo uma redução de 1,9 kW, ou 63 % da potência dissipada no caso anterior.

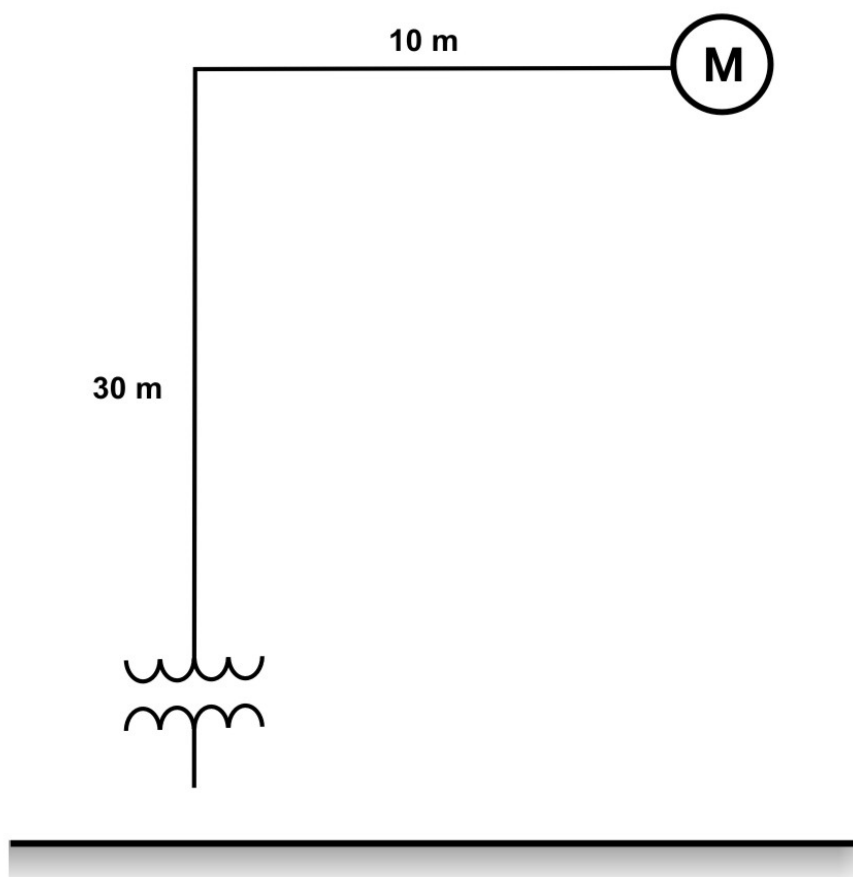


Figura 4.7
Esquema alternativo para alimentação do motor de 100HP

Recomenda-se analisar todos os circuitos elétricos da instalação industrial e verificar todas as possibilidades de racionalizar as suas disposições físicas, de tal forma que resulte em um novo arranjo com circuitos menores. Bons resultados são conseguidos em circuitos que alimentam grandes quantidades de cargas elétricas de pequenas potências, como o sistema de iluminação artificial.

4.4.2.2 Ações sobre as correntes de carga que circulam pelos condutores

Pelo fato de a potência dissipada em um condutor ser diretamente proporcional ao quadrado da corrente de carga, as ações sobre essa grandeza são as que conduzem aos melhores resultados referentes à redução de perdas em sistemas de distribuição, as quais serão descritas a seguir:

- **Redução da corrente elétrica através de medidas de conservação de energia**

Toda medida de conservação de energia em uma carga elétrica resulta na redução da potência solicitada, da energia consumida e, conseqüentemente, da corrente de carga. A redução da corrente de carga proporcionará a diminuição das perdas nos condutores alimentadores.

- **Redução das perdas pela elevação do fator de potência**

A corrente elétrica é uma grandeza vetorial e quando alimenta cargas indutivas, tais como motores elétricos, apresenta uma componente ativa, que produz trabalho, e uma componente reativa, que possibilita a magnetização dos equipamentos eletromagnéticos, para que possam funcionar. A soma vetorial das correntes ativa e reativa determina a corrente de carga. A relação entre a corrente ativa e a corrente de carga é chamada de fator de potência. Dessa forma, quanto maior for o fator de potência, menor será a corrente de carga que circula pelos condutores e, portanto, menores serão as perdas.

A redução das perdas, em função da alteração do fator de potência, pode ser facilmente calculada pela expressão:

$$\text{Red} = 1 - \left(\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2$$

A operação de uma carga indutiva com fator de potência elevado é conseguida das seguintes maneiras:

- escolha adequada da carga elétrica, ou seja, a sua potência de operação deve ser a mais próxima de sua potência nominal;
- uma carga indutiva não deve operar subcarregada, ou seja, a sua potência de operação deve estar próxima da potência de plena carga;
- deve-se evitar operar uma carga indutiva em vazio (sem carga), devendo sempre que possível ser desligada da rede nessas condições;

- instalação de capacitores junto às cargas indutivas para compensar a corrente indutiva e, assim, elevar o seu fator de potência;
- redistribuição adequada das cargas elétricas pelos diversos condutores;
- é muito comum sistemas de distribuição de energia elétrica estarem arrançados de tal forma que alguns condutores fiquem sobrecarregados e outros subcarregados, o que eleva as perdas de energia nos condutores. As cargas elétricas devem ser distribuídas pelos diversos condutores de maneira que os seus carregamentos sejam homogêneos;
- redução das perdas pela elevação do nível de tensão no sistema de distribuição;
- quanto maior o nível de tensão em uma carga elétrica de uma potência determinada, menor a corrente solicitada. Quanto menor a corrente, menores serão as perdas no condutor que alimenta a carga, pois essas variam com o quadrado da corrente.

Sendo assim, quando possível, devem ser utilizados níveis de tensão mais elevados. Por exemplo, se o nível de tensão de 220 V for substituído por 380 V, a redução das perdas no circuito existente será da ordem de 40 %.

A mudança de tensão deve ser cuidadosamente analisada e torna-se muito interessante, quando de uma reforma, ampliações ou construção de uma nova planta industrial.

4.5 Motores Elétricos

Os tipos de motores elétricos mais utilizados pelas indústrias são os trifásicos e os monofásicos de indução, os síncronos e os de corrente contínua. Existem milhares desses motores em operação, com potências nominais que variam de valores inferiores a 1 kW até centenas de kW.

A participação dos motores elétricos no consumo industrial no Brasil é expressiva, exigindo atenção especial em qualquer programa de conservação de energia elétrica.

Dos diversos tipos de motores mencionados acima, os trifásicos de indução são os mais significativos, quer em número, quer em consumo de energia. Sendo assim, neste capítulo serão abordadas somente medidas de conservação de energia elétrica para estes motores.

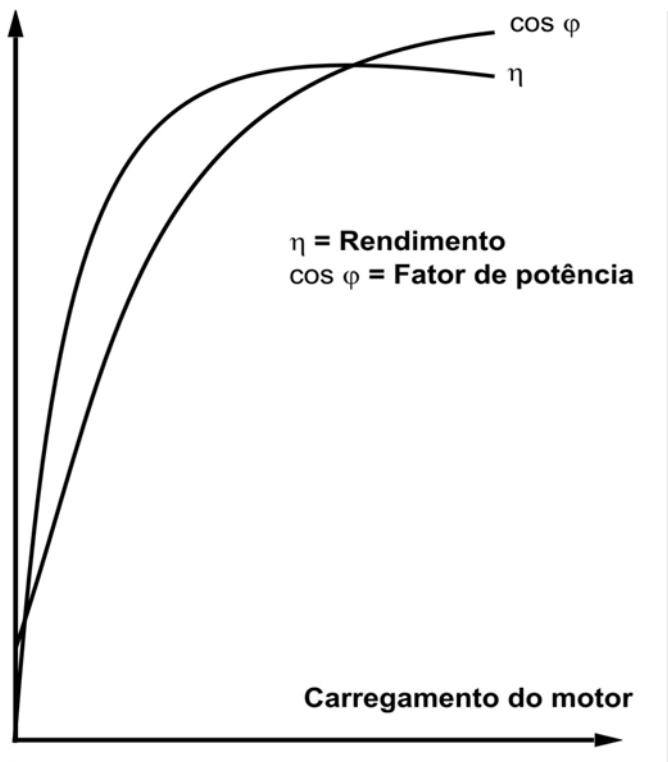


Gráfico 4.4

Rendimento e fator de potência em função do carregamento do motor

4.5.1 Rendimento de motores de indução

O rendimento de um motor de indução é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{P_e}{P_a} = \frac{P_u}{P_a}$$

em que:

Pe = perdas de energia

Pa = potência solicitada da rede elétrica (Potência aparente)

Pu = potência útil

As perdas em um motor de indução podem ser subdivididas em:

- perdas no enrolamento, ou no cobre;

- perdas no ferro, ou em vazio;
- perdas mecânicas, referentes a atritos nos mancais e potência para ventilação;
- perdas suplementares, decorrentes da distribuição não uniforme da corrente no enrolamento e das perdas adicionais no ferro.

Sob qualquer carga, o motor apresenta perdas fixas, como as no ferro e as devido à ventilação e ao atrito. Além das perdas fixas, há as perdas variáveis com o carregamento do motor, como as perdas no cobre, que crescem com o quadrado da corrente de carga. Sendo assim, com pequenas cargas, em relação a sua potência nominal, o rendimento do motor é baixo, tendo em vista serem grandes as perdas fixas em comparação com a potência fornecida.

Quando o carregamento do motor cresce, o rendimento se eleva até alcançar o seu valor máximo, que ocorre quando as perdas em vazio e as perdas devido à corrente de carga se equivalem. Além desse ponto, as perdas no cobre se tornam elevadas em relação às perdas em vazio, fazendo com que o rendimento diminua, conforme mostra o Gráfico 4.4.

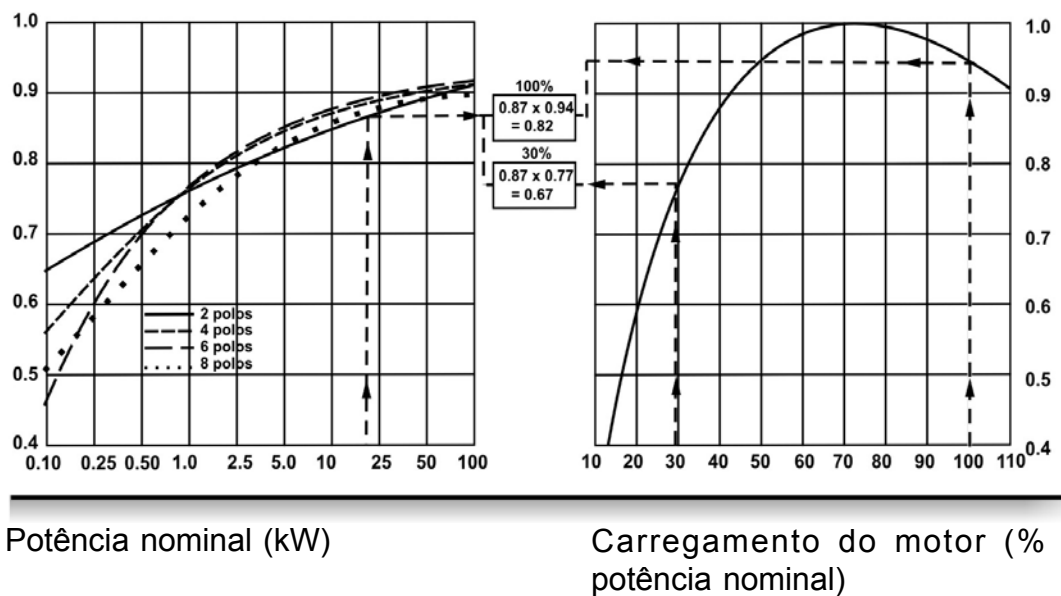


Gráfico 4.5
Rendimento máximo de um motor em função da potência nominal

Gráfico 4.6
Coeficiente multiplicador de rendimento máximo em função do carregamento

O rendimento máximo de um motor varia com suas características construtivas, ou seja, com sua potência nominal e com sua velocidade de sincronismo. O Gráfico 4.4 mostra a variação do rendimento máximo de motores encontrados no mercado, em função de sua potência nominal e de sua velocidade de sincronismo (número de pólos).

Para motores de indução trifásicos de até 100 kW, encontrados no mercado, pode-se concluir, pelos Gráficos 4.5 e 4.6, que:

- o rendimento máximo é tanto mais elevado quanto maior for a potência no terminal do motor;
- o rendimento máximo, para uma mesma potência, varia com o número de pólos dos motores;
- o rendimento máximo de um motor ocorre, comumente, quando a sua carga é igual a 75 % de sua potência nominal;
- quando um motor opera com mais de 50 % de sua potência nominal, o rendimento é muito próximo de seu rendimento máximo;
- quando um motor opera com menos de 50 % de sua potência, o seu rendimento cai acentuadamente.

Exemplo:

Um motor de indução trifásico (2 pólos) de potência nominal 50 kW aciona em regime permanente uma carga de 15 kW. Pelo Gráfico 4.5, pode-se verificar que o rendimento máximo desse motor é igual a 0,90.

Como ele trabalha com 15 kW (ou 30 % de sua potência nominal), para se calcular o seu rendimento de operação deve-se multiplicar o rendimento máximo pelo coeficiente obtido no Gráfico 4.6, que é 0,77, ou seja:

$$\eta_0 = \eta_{\max} \times 0,77$$

$$\eta_0 = 0,90 \times 0,77$$

$$\eta_0 = 0,69$$

O exemplo mostra que o rendimento máximo do motor é 0,90; contudo, operando com 30 % de sua potência nominal, o rendimento cai para 0,69.

A potência absorvida da rede pelo motor nas condições de operação é:

$$P_a = P / \eta_0$$

$$P_a = 15 / 0,69$$

$$P_a = 21,7 \text{ Kw}$$

As perdas no motor são:

$$P_e = P_a - P$$

$$P_e = 21,7 - 15$$

$$P_e = 6,7 \text{ kW, ou } 31 \%$$

Pode-se observar pelo Gráfico 4.6 que, se o mesmo motor acionasse uma carga de 25 kW, ou 50 % de sua potência nominal, o seu rendimento de operação seria igual a seu rendimento máximo multiplicado por 0,96, ou seja, muito próximo do valor máximo.

Se esse mesmo motor acionasse uma carga igual a 37,5 kW, ou seja, 75 % de sua potência nominal, o seu rendimento de operação seria igual ao rendimento máximo, pois o coeficiente multiplicativo é unitário (Gráfico 4.6).

4.5.2 Fator de potência de motores de indução

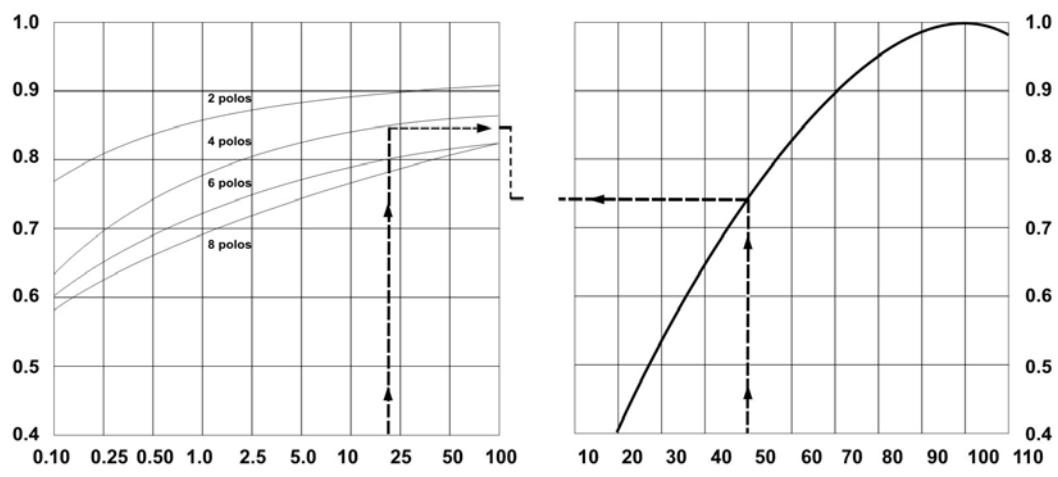
O motor de indução é um equipamento eletromagnético e, portanto, para funcionar necessita de uma corrente indutiva que possibilita a sua magnetização.

Em vazio (sem carga), o fator de potência ($\cos \phi$) é muito baixo, apresentando valores da ordem de 0,1 a 0,15. Com a aplicação de carga no motor, o fator de potência cresce, atingindo o seu valor máximo a plena carga (ver Gráfico 4.7).

Em geral, quanto menor a velocidade do motor (maior número de pólos), menor o fator de potência. Para uma mesma velocidade de sincronismo, quanto maior a potência do motor, maior o seu fator de potência.

O Gráfico 4.7 mostra a variação do fator de potência máxima em função da velocidade de sincronismo e da potência nominal de motores comumente encontrados no mercado.

O Gráfico 4.8 mostra o coeficiente que deve ser multiplicado pelo fator de potência máximo, para se obter o fator de potência de operação em função do carregamento do motor.



Potência Nominal (kW)

Carga do Motor (% da potência nominal)

Gráfico 4.7

Fator de potência a plena carga em função da potência nominal

Gráfico 4.8

Coeficiente multiplicador do fator de potência em função da carga

Exemplo:

Um motor de 50 kW, de 2 pólos, aciona uma carga de 15 kW, ou seja, com 30 % de sua potência nominal. Pelo Gráfico 4.7 verifica-se que o fator de potência desse motor é igual a 0,92.

Para se obter o fator de potência com que o motor opera, utiliza-se o Gráfico 4.8, que fornece o coeficiente pelo qual deve ser multiplicado o fator de potência máximo. Para 30 % da potência nominal esse coeficiente é igual a 0,53. Portanto, o fator de potência de operação do motor é:

$\cos \varphi = 0,92 \times 0,53$

$\cos \varphi = 0,49$

Com 75 % de sua potência nominal, pelo Gráfico 4.8 obtém-se um coeficiente multiplicador igual a 0,93, que resulta em um fator de potência igual a:

$\cos \varphi = 0,93 \times 0,92$

$\cos \varphi = 0,86$

O exemplo mostra que o fator de potência sobe proporcionalmente ao carregamento do motor, atingindo valores razoáveis quando o motor estiver operando a 75 % de sua potência nominal.

4.5.3 Escolha de um motor de indução

Sob o ponto de vista da conservação de energia elétrica, o principal parâmetro a ser observado é a potência nominal do motor, que deve ser adequada para o serviço a que se destine. Potências nominais muito superiores à realmente necessária resultam em desperdícios de energia, elevação da potência solicitada, redução do fator de potência da instalação elétrica da indústria e maiores perdas nas redes de distribuição de energia e nos transformadores.

Deve-se, sempre que possível, escolher o motor de modo que seu carregamento seja no mínimo superior a 50 %, dando preferência a que ele seja maior que 75 %.

Para exemplificar, suponha-se que para um dado serviço seja necessária uma potência mecânica de 15 kW. Utilizando-se os Gráficos 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8, pode-se construir a Tabela 4.2, que apresenta as vantagens de utilização de um motor trabalhando com 75% de sua potência nominal, ou seja, 20 kW sobre um outro superdimensionado, como, por exemplo, de 50kW.

Tabela 4.2

Comparação de motores trabalhando com 75% e 30% de carregamento.

	Potência nominal do motor		Redução (melhoria)
	50kW	20kW	
Rendimento (Gráficos 4.5 e 4.6)	60%	87%	26%
Potência solicitada ($15/\eta$)	21,7kW	17,2kW	4,5kW
Perdas	6,7kW	2,2kW	4,5kW
Fator de Potência (Gráficos 4.7 e 4.8)	0,49	0,84	63%
Corrente solicitada	116A	54A	53%
Perdas no sistema de alimentação	$40 \times 10^3 \times R^*$	$8,7 \times 10^3 \times R^*$	78%

*R = Resistência do condutor do cabo alimentador do motor

4.5.4 Operação de motores de indução visando o uso racional de energia elétrica

Tendo em vista as características técnicas dos motores de indução, além da escolha adequada de sua potência nominal, uma boa operação desses equipamentos pode representar grandes economias de energia elétrica, pois, como foi visto, motores operando muito abaixo de sua potência nominal apresentam baixo rendimento energético e baixo fator de potência.

Exemplo:

Para melhor expor as conseqüências de uma operação inadequada dos motores de indução, tome-se o exemplo de uma empresa que possui três misturadores idênticos, com motores de indução de 60 kW de potência nominal, velocidade síncrona de 3600 rpm, 220 V. Em um determinado dia, há necessidade de uma produção para a qual pode-se utilizar somente um misturador operando a plena capacidade, durante 10 horas, ou as três máquinas operando cada uma com 33 % de sua capacidade nominal, durante 10 horas. Cada máquina se caracteriza por solicitar, à plena capacidade, uma potência de 60 kW do motor que a aciona e, com 33 % de sua capacidade, solicitar 20 kW do motor.

Uma máquina operando a plena carga:

Rendimento do motor:

Dos Gráficos 4.5 e 4.6 tem-se:

$$\eta = 0,90 \times 0,95 \quad \eta = 0,86$$

Potência solicitada da rede:

$$P_a = \frac{60 \text{ kW}}{0,86} = 70 \text{ kW}$$

Fator de potência:

$$\cos \varphi = 0,90$$

Corrente solicitada da rede:

$$I = \frac{P_a}{1,73 \times V \times \cos \varphi}$$

$$I = \frac{70\text{kW}}{1,73 \times 220\text{V} \times 0,9} = 204\text{A}$$

Energia elétrica consumida por dia:

$$E = 70\text{kW} \times 10\text{h} \qquad E = 700\text{kWh}$$

Três máquinas operando com 33% de capacidade:

Rendimento de cada motor:

$$\eta' = 0,9 \times 0,8 \qquad \eta' = 0,72$$

Potência solicitada por motor:

$$P' = \frac{20 \text{ kW}}{0,72} = 28 \text{ kW}$$

Fator de potência de cada motor:

$$\cos \varphi' = 0,9 \times 0,55 = 0,50$$

Corrente elétrica solicitada da rede por motor:

$$I' = \frac{28\text{kW}}{1,73 \times 0,5 \times 220\text{V}} = 147 \text{ A}$$

Energia consumida por motor:

$$E' = 28\text{kW} \times 10\text{h} = 280\text{kWh}$$

Para as três máquinas operando simultaneamente, tem-se:

Potência elétrica solicitada:

$$P_t = 84\text{kW}$$

Corrente elétrica solicitada:

$$I_t = 441\text{A}$$

Energia consumida:

$$E_t = 840\text{kWh}$$

Portanto, a alternativa de três misturadores operando representa os seguintes adicionais, em relação a uma única máquina:

Potência solicitada: 14kW a mais, ou seja, 20%

Corrente solicitada: 237A a mais, ou 116%

Energia consumida: 140kWh a mais, ou 20%

Tabela 4.3

Comparação entre a operação de um misturador a plena carga e três misturadores com carregamento parcial.

TIPO DE OPERAÇÃO	UMA MÁQUINA A PLENA CARGA	TRÊS MÁQUINAS A 33% DA PLENA CARGA	ACRÉSCIMO
Potência solicitada	70 kW	84 kW	20%
Corrente solicitada	204 A	441 A	116%
Fator de potência	0,90	0,50	- 45%
Energia consumida por dia (kWh)	700	840	20%

4.5.5 Tensão de alimentação de um motor

Os motores elétricos são projetados para apresentar melhor desempenho em sua tensão nominal. Quando o motor opera em tensão inferior à nominal ocorre uma acentuada redução do conjugado motor produzido, bem como aquecimento anormal nos enrolamentos, desperdiçando energia. Por outro lado, tensão aplicada acima da nominal, além de prejudicar o funcionamento do motor, aumenta suas perdas, principalmente no ferro. Geralmente os motores apresentam uma faixa de tensão considerada como ótima para a operação, a qual varia conforme o tipo de motor, sua potência, etc. Aconselha-se consultar o fabricante a respeito.

A tensão aplicada deve ser medida com o motor acionando a máquina a plena capacidade e com certa habitualidade. Se ela estiver muito acima ou muito abaixo da tensão nominal, convém investigar a causa criteriosamente.

Para indústrias ligadas em baixa tensão, se a tensão estiver abaixo da tolerável, as causas podem ser decorrentes de quedas excessivas nos cabos alimentadores do motor, ou por tensão de fornecimento da Concessionária de energia elétrica abaixo do estabelecido pelas normas legais vigentes.

Para verificar a causa, mede-se a tensão na entrada de energia. Se estiver dentro da faixa permitida, então a causa será queda excessiva nos condutores de alimentação do motor. Pelas normas técnicas, a queda de tensão não pode ser superior a 4 % no cabo alimentador e a 1% no circuito do motor que o liga ao seu quadro de distribuição. Se essa queda for superior aos limites mencionados, devem-se substituir os condutores por outros de bitolas maiores, reforçá-los ou redistribuir os demais equipamentos ligados nesses condutores, ou ainda, elevar-se o fator de potência do motor com a instalação de capacitores junto ao mesmo.

Para empresas ligadas em alta tensão, os procedimentos são praticamente os mesmos, embora exista a possibilidade de se alterar o nível de tensão mudando-se o “tape” do transformador abaixador. Nessas indústrias deve-se tomar muito cuidado para não se compensarem quedas de tensão excessivas nos alimentadores dos motores, elevando-se demasiadamente o nível de tensão. É comum essas indústrias operarem com níveis de tensão acima do adequado. Esse procedimento provoca distúrbios nos equipamentos da fábrica e elevadas perdas de energia.

4.5.6 Manutenção de motores elétricos

A manutenção adequada de um motor elétrico e da máquina por ele acionada pode representar significativa economia de energia elétrica. É muito comum, em uma empresa, máquinas serem acionadas por motores elétricos em condições precárias de funcionamento a pretexto de não se prejudicar a produção ou por simples descaso.

A manutenção ou o reparo da máquina é, geralmente, feito somente quando a produção permite, ou quando as condições de funcionamento se tornam tão precárias que impedem a sua operação. Tal procedimento, além de poder danificar a máquina, reduz sua vida útil e, geralmente, provoca grandes desperdícios de energia.

Esses desperdícios podem ser calculados através da comparação dos consumos anteriores e posteriores à realização do reparo ou manutenção. Um programa de utilização racional de energia elétrica exige a implantação e o cumprimento de um programa ótimo de manutenção corretiva e preventiva de todos os motores elétricos e das máquinas por eles acionadas.

Além da manutenção adequada, muitas máquinas podem ser modernizadas, via de regra, com pequenos custos, resultando em menores necessidades de potência e, conseqüentemente, redução do consumo de energia elétrica. Em outros casos, compensa a substituição de máquinas

antigas e grandes consumidoras de energia elétrica por outras mais modernas, que requerem menor consumo para uma mesma produção.

Com manutenção e lubrificação convenientes, operação adequada e modernização da máquina, o motor que a aciona pode tornar-se superdimensionado, operando em faixas de potência que resultam em baixo rendimento energético e baixo fator de potência. Para esses casos é aconselhável a sua substituição por outro de potência nominal adequada às novas condições.

4.6 Iluminação

Geralmente a iluminação participa com uma pequena parte do consumo de energia elétrica nas indústrias, porém existem grandes possibilidades para obter uma redução de consumo de energia. A seguir, estão apresentados alguns conceitos e informações que lhe ajudarão na conservação de energia elétrica.

4.6.1 Características de um bom sistema de iluminação

O bom desempenho de um sistema de iluminação depende de cuidados que se iniciam no projeto elétrico, envolvendo informações sobre luminárias, perfil de utilização, tipo de atividade a ser exercida no local e outras.

É recomendável que os novos projetos de iluminação considerem os seguintes pontos para obtenção de maior eficiência:

- máximo aproveitamento da luz natural;
- determinação de áreas efetivas de utilização;
- nível de iluminação adequado ao trabalho, solicitado conforme recomenda a Norma Brasileira NBR-5413 Iluminância de Interiores;
- circuitos independentes para utilização de iluminação parcial e por setores;
- iluminação localizada e pontos especiais como: máquinas operatrizes, pranchetas de desenho, etc.;

- sistemas que permitam desviar o calor gerado pela iluminação para fora do ambiente, visando reduzir a carga térmica dos condicionadores de ar;
- seleção cuidadosa de lâmpadas e luminárias, buscando conforto visual com mínima carga térmica ambiental;
- utilização de luminárias espelhadas, também chamadas de alta eficiência;
- seleção cuidadosa dos reatores buscando a redução das perdas e fator de potência mais alto;
- utilização de relés fotoelétricos para controlar o número de lâmpadas acesas, em função da luz natural no local.

O sistema de iluminação de um local de trabalho deve proporcionar:

- luz uniforme sobre todos os planos de trabalho;
- luz suficientemente difusa, bem dirigida e distribuída para evitar sombras e contrastes nocivos;
- iluminação adequada com um mínimo de ofuscamento, direto ou refletido;
- reprodução de cor compatível com a natureza do trabalho.

4.6.2 Unidades fotométricas

A seguir, citaremos as unidades fotométricas mais usuais:

- a) **FLUXO LUMINOSO:** é o fluxo de energia luminosa emitido em todas as direções por uma fonte no espaço.

Exemplos:

- lâmpada a vapor de mercúrio de 250 watts produz 12.500 lúmens;

- lâmpada a vapor de sódio de 250 watts produz 26.000 lúmens.
- b) **EFICIÊNCIA LUMINOSA:** é a relação entre a quantidade de lúmens produzidos por uma lâmpada e a potência (watts) da lâmpada.

Exemplos utilizando os dados acima:

- lâmpada a vapor de mercúrio = 12.500 lúmens / 250 watts = 50,0 lúmens / watt
- lâmpada a vapor de sódio = 26.000 lúmens / 250 watts = 104,0 lúmens / watt

Tabela 4.4

Rendimento luminoso médio de algumas fontes de luz

	Lm/W
Incandescente	17
Halógena	22
Luz mista	28
Vapor de mercúrio	58
Fluorescente compacta – LFC Reator integrado (com base E27)	59
Fluorescente convencional	68
Fluorescente compacta – LFC Reator não integrado	72
Fluorescente – alta eficiência	90
Vapor metálico	85
Sódio a alta pressão	130
Sódio a baixa pressão	183

- c) **ILUMINÂNCIA:** é o fluxo luminoso incidente por uma unidade de área de uma superfície iluminada, medida em lux.

Os exemplos abaixo dão uma idéia de ordem de grandeza.

- luz das estrelas: 0,002 lux
- luar: 0,2 lux

Nota: Quantidade de luz conota tempo.

- iluminação nas ruas: 6 a 12 lux
- luz do dia em interiores: 500 a 2.000 lux
- luz do dia em exteriores: 1.000 a 10.000 lux
- luz do sol direta: 50.000 a 100.000 lux

d) **REFLETÂNCIA:** relação entre o fluxo luminoso refletido e o fluxo luminoso incidente sobre uma superfície. É medida geralmente em porcentagem.

Exemplo:

- a refletância do papel branco é da ordem de 70%.

4.6.3 Níveis de iluminância recomendáveis

A Norma Brasileira “Iluminância de Interiores” - NBR-5413, através de duas tabelas, possibilita a determinação de valores de iluminância segundo o tipo de atividade desenvolvida no ambiente, com base em três variáveis: acuidade visual do observador, velocidade e precisão requerida no trabalho e condições de refletância da tarefa.

A Tabela 4.5 traz valores de iluminância - mínimo, médio e máximo - para três faixas de atividades A, B e C, cada uma subdividida em três níveis.

A Tabela 4.6 complementa a aplicação da Tabela 4.5, permitindo ao projetista o cálculo ponderado das variáveis que determinam a escolha da iluminância mínima, média ou máxima para cada caso. Para sua aplicação, primeiro atribui-se um peso (-1, 0 ou +1) a cada uma das três características que aparecem na tabela relativa ao tipo de observador (idade), a tarefa visual (velocidade e precisão exigida) e a refletância do fundo da tarefa.

Feito isso, somando-se algebricamente os três valores encontrados, obtém-se o resultado: quando ele for -2 ou -3, pode-se usar a iluminância mais baixa do grupo; quando for +2 ou +3, usa-se a iluminância superior; nos demais casos, utilizam-se o valor médio.

Tabela 4.5

Iluminâncias para cada grupo de tarefas visuais

FAIXA	ILUMINÂNCIA	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	Orientações simples para permanência curta.
	100 150 200	Recintos não utilizados para trabalho contínuo, depósitos.
B Iluminação geral para área de trabalho.	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, escritórios.
	1.000 1.500 2.000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis.	2.000 3.000 5.000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de pequeno tamanho.
	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 4.6

Fatores determinantes da Iluminação adequada

Característica da tarefa e do observador	PESO		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30% a 70%	Inferior a 30%

A NBR 5413 - Iluminância de Interiores apresenta ainda valores de iluminâncias mínimas, em lux, para diversos tipos de atividades.

4.6.4 Tipos de lâmpadas usuais

- **INCANDESCENTES:** operam através do aquecimento de um fio fino de tungstênio pela passagem de corrente elétrica. Embora seja o mais comum, é o menos eficiente dos tipos encontrados usualmente. São utilizadas na iluminação geral. As lâmpadas halógenas são lâmpadas incandescentes construídas num tubo de quartzo com vapor de metal halógeno no bulbo, o que permite ao filamento atingir temperaturas mais elevadas, sem diminuição da vida útil, resultando em eficiência luminosa maior do que a das incandescentes comuns, além de proporcionar excelente reprodução de cores e ter dimensões reduzidas. As lâmpadas incandescentes estão sendo melhoradas, incorporando recentes conquistas tecnológicas, tais como: vida média útil superior às convencionais, ou com eficiência luminosa superior. Exemplo: uma lâmpada convencional de 100 Watts pode ser substituída por uma lâmpada econômica especial de 90 Watts sem perda no nível de iluminância.
- **FLUORESCENTES:** são lâmpadas que utilizam descarga elétrica através de gás. Consistem em um bulbo cilíndrico de vidro revestido de material fluorescente (cristais de fósforo), contendo vapor de mercúrio a baixa pressão em seu interior e portando em suas extremidades eletrodos de tungstênio. Com relação à cor irradiada podem ser encontradas em diversas tonalidades, dependendo do fabricante. Dessa forma, conforme a finalidade, deverá ser aplicado o tipo de lâmpada adequada. As lâmpadas fluorescentes são usadas na iluminação em geral e necessitam, para o seu funcionamento, de dois equipamentos auxiliares:
 - **reator:** para produzir a sobretensão necessária ao início da descarga e para limitar a corrente. Existem dois tipos - Convencional e o de Partida Rápida (não necessita de starter).
 - **starter:** para ligar e desligar os eletrodos (em caso de reatores de partida convencional).

Existe à disposição no mercado vários tipos de lâmpadas fluorescentes econômicas, tais como as de potência de 16 e 32 Watts, de 26 mm de diâmetro,

ou as de potência de 14 e 28 Watts, de 17 mm de diâmetro que substituem as convencionais, de 20 e 40 Watts, respectivamente de 38 mm de diâmetro, com as seguintes vantagens:

- potência de 20% e 30%, respectivamente, menor, para produzir o mesmo nível de iluminância;
- menor volume e, portanto, melhor estética;
- melhor reprodução de cores;
- menor obstáculo a reflexão das luminárias.

As fluorescentes compactas possuem baixa potência (5 a 36 Watts) e permitem o desenvolvimento de novas aplicações em luminárias a serem utilizadas em iluminação. Com comprimento variando de 104 mm a 234 mm, têm vasto campo de aplicação, substituindo, com muita vantagem, as lâmpadas incandescentes. Sua vida útil é estimada em 5.000 horas. A tabela a seguir dá uma idéia das suas características quando comparadas às incandescentes.

Tabela 4.7
Características das Lâmpadas Fluorescentes Compactas

LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS Reator integrado (com base E27)			LÂMPADAS INCANDESCENTES	
Potência da lâmpada (Watt)	Potência total (incluindo reator) (Watt)	Fluxo Luminoso (lúmen)	Potência (Watt)	Fluxo Luminoso (lúmen)
5	10	250	25	220
7	11	400	40	470
9	12	600	60	780
11	14	900	75	980
13	17	900	75	980
23	27	2700	100	1620

- **VAPOR DE MERCÚRIO:** com bulbo semelhante ao das incandescentes, operam como as fluorescentes, através da descarga elétrica numa mistura de vapor de mercúrio com pequena quantidade de argônio, atingindo altas pressões internas durante o funcionamento. A descarga em alta pressão de mercúrio produz radiações visíveis e ultravioletas invisíveis, sendo esta última convertida em luz pelo pó fluorescente que recobre internamente o bulbo, aumentando assim a eficiência da lâmpada. Necessita para seu funcionamento de um reator e, em alguns casos, de ignitor. São muito usadas na iluminação pública e na iluminação de pátios, estacionamentos, áreas livres, depósitos, onde a reprodução precisa de cores não é exigida. É recomendável o seu uso na área industrial.
- **MULTIVAPOR METÁLICO:** são lâmpadas de mercúrio a alta pressão em que a radiação é proporcionada por iodeto de índio, tálio e sódio adicionados ao mercúrio. Emitem luz branca-prateada e têm melhor reprodução de cores que a lâmpada de mercúrio comum, além de apresentar maior eficiência luminosa. Necessitam para o seu funcionamento de um reator e um ignitor.
- **MISTA:** podem ser utilizadas em ambientes internos e externos, não necessitando de equipamento auxiliar para o seu funcionamento. A lâmpada é composta de um tubo de descarga a vapor de mercúrio, conectado em série com um filamento de tungstênio, ambos encapsulados por um bulbo ovóide recoberto internamente com uma camada de ítrio. O filamento atua como fonte de luz de cor quente e como limitador de corrente em lugar do reator. As lâmpadas mistas podem ser alojadas em luminárias próprias para incandescentes e, comparadas com estas, apresentam eficiência luminosa superior e vida média mais longa. A substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de luz mista requer, contudo, cuidadosa análise de projeto, visto que só operam na tensão de 220 Volts.
- **VAPOR DE SÓDIO A ALTA PRESSÃO:** consistem de um tubo de descarga de óxido de alumínio sintetizado, contendo sódio a alta pressão, encapsulado por um bulbo tubular ou ovóide recoberto por uma camada de pó difusor. Dependem de sistema externo de ignição, embora para simplificar o seu emprego em substituição às lâmpadas a vapor de mercúrio, alguns modelos dispensem o ignitor. Têm longa vida e altíssima eficiência luminosa. São usadas em iluminação pública, estacionamentos, pátios, depósitos, fachadas, etc. Emitem uma luz branca-dourada.

A tabela a seguir compara as características de algumas dessas lâmpadas.

Tabela 4.8
Características das Lâmpadas

Tipo de Lâmpada	Potência (Watts)	Fluxo Luminoso (lúmenes)	Eficiência Luminosa Média (Lm/watts)	Vida Média (horas)	Vantagens	Desvantagens	Observações	
Incandescente	Comum	40 60 100 150	11,8 13,0 14,8 15,7	1.000	Iluminação geral e localizada de interiores. Tamanho reduzido e custo baixo.	Baixa eficiência luminosa e por isto custo elevado: alta produção de calor. Vida média curta.	Ligação imediata sem necessidade de dispositivos auxiliares.	
	Econômica	36 54 67 90	12,8 14,6 15,8 16,4	1.000				
	Mista	160 250 500	3.000 5.500 13.500	18,8 22,0 27,0	6.000	Substitui lâmpadas incandescentes normais de elevada potência. Pequeno volume boa vida média.	Custo elevado, demora 5 minutos para atingir 80% do fluxo luminoso.	Não necessita de dispositivos auxiliares, e é ligada somente em 220 volts.
		Vapor de Mercúrio	80 125 250 400	3.500 6.000 12.600 22.000	15.000	Boa eficiência luminosa pequeno volume e longa vida média.	Custo elevado que, porém pode ser amortizado durante o uso, demora de 4 a 5 minutos para atingir a emissão luminosa máxima.	Necessita de dispositivos auxiliares (reator) e é ligada somente em 220 volts.
Fluorescente	Comum	15 20 30 40	850 1.060 2.000 2.700	7.500	Ótima eficiência e baixo custo de funcionamento. Boa reprodução de cores. Boa vida média.	Custo elevado de instalação.	Necessita de dispositivos auxiliares (reator + starter ou somente reator de partida rápida).	
		60 85 110	3.850 5.900 8.300	10.000 10.000				
	H.O.	16 32	1.200 2.500	63,7 78,1				
		5 7 9 11 13	250 400 600 900 900	50,0 57,1 66,7 82,0 69,2	7500 5.000			

* Na eficiência destas lâmpadas não foi considerada a perda dos reatores (Ver tabelas 4.9 e 4.10).

* Fonte: ABILUX/88.

** Nenhuma limitação para a posição de funcionamento

A Tabela 4.9 a seguir relaciona os diversos tipos de lâmpadas e seus campos de aplicação mais usuais

Tabela 4.9

Aplicação dos vários tipos de Lâmpadas

	INCANDESCENTE	FLUORESCENTE	VAPOR MERCÚRIO	MULTI-VAPOR METÁLICO	LUZ MISTA	VAPOR DE SÓDIO ALTA PRESSÃO	HALOGÊNIO
ILUMINAÇÃO DE INTERIORES							
Galpões		X	X			X	
Escritórios		X					
Sala de desenhista							
Corredores		X	X		X		
LOCAIS PÚBLICOS *							
Refeitórios	X	X					
Auditórios	X	X	X	X			
ILUMINAÇÃO DE EXTERIORES							
Fechadas, monumentos			X	X		X	X
Vias rápidas, pontes, viadutos			X	X		X	X
Estacionamentos, pátios			X	X	X	X	X
Túneis, passagens subterrâneas						X	

* Recomendável a utilização de lâmpadas fluorescentes.

Quando se exige boa reprodução de cores, as lâmpadas a vapor de mercúrio e vapor de sódio não devem ser utilizadas, dando-se preferência às incandescentes, fluorescentes ou mistas. Estas últimas devem obedecer a um critério rigoroso de projeto levando-se em conta a altura e posição da instalação.

4.6.5 Reatores

As lâmpadas fluorescentes, a vapor de mercúrio e a vapor de sódio necessitam, para o seu funcionamento, a instalação de reatores. Esses equipamentos apresentam perdas por aquecimento e magnetização. Nos reatores de boa qualidade essas perdas são reduzidas, consumindo menos energia para o seu funcionamento. Já nos de qualidade inferior essas perdas chegam a até 60% do consumo final da instalação. Muitas vezes, a potência efetiva do reator é bem

inferior ao seu valor nominal, reduzindo em mais de 15% o fluxo luminoso e comprometendo a vida útil da lâmpada. Os reatores, segundo normas nacionais, devem apresentar vida útil superior a 10 anos, mas isto só se observa nos de melhor qualidade. Quando da aquisição de reatores, dê preferência aos que já têm alto fator de potência, evitando desperdícios de energia. Mesmo nos sistemas de iluminação já existentes a troca de reatores comuns pelos de alto fator de potência é altamente recomendável. As tabelas a seguir apresentam a potência média das perdas de reatores das lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio e vapor de sódio.

Tabela 4.10

Potência média de perdas em reatores para lâmpadas Fluorescentes

Tipo de Reator		Lâmpadas (quantidade x Watts)	Tipo convencional com starter (perdas em Watts)	Tipo partida rápida (perdas em Watts)
Eletromagnético	Simples	1 x 20	7	12
		1 x 40	13	15
	Duplo	2 x 20	14	24
		2 x 40	20	22
	Simples	1 x 16	-	11
		1 x 32	-	13
		1 x 85	-	26
		1 x 110	-	32
	Duplo	2 x 16	-	13
		2 x 32	-	21
		2 x 85	-	32
		2 x 110	-	48
Eletrônico	Simples	1 x 16	-	1
		1 x 28	-	4
		1 x 32	-	2
	Duplo	2 x 16	-	2
		2 x 28	-	8
		2 x 32	-	4

Tabela 4.11

Potência média de perdas em reatores para lâmpadas a Vapor de Mercúrio / Vapor de Sódio

LÂMPADA	POTÊNCIA (W)	PERDAS REATOR (W)
Vapor de Mercúrio	80	13
	125	14
	250	21
	400	23
Vapor de Sódio	50	13
	70	13
	150	21
	250	32
	400	40

4.6.6 Luminárias e difusores

O conjunto formado por lâmpada, luminária e difusor é que define realmente a eficiência luminosa do equipamento de iluminação. O que leva a se considerar a necessidade de avaliar o desempenho das luminárias e difusores, tanto quanto o das lâmpadas.

Quando escolher uma luminária, tenha sempre em mente quatro pontos básicos:

- o posicionamento dos locais de trabalho, bem como as tarefas desenvolvidas em uma certa área estão sujeitos a mudanças freqüentes. As novas necessidades de iluminação somente poderão ser atendidas, de maneira eficiente, quando o sistema existente for suficientemente flexível, permitindo que as luminárias sejam recolocadas de maneira rápida, fácil e econômica;
- o conjunto lâmpada - luminária deve ser uma eficiente fonte de luz, sendo sua eficiência medida em termos de coeficientes de utilização. Esse valor pode ser encontrado nos catálogos dos fabricantes;
- a luminária não pode constituir-se em uma fonte de ofuscamento e não deve incomodar a visão nas condições normais de trabalho;

- a luminária deve promover uma ótima distribuição da luz produzida pelas lâmpadas. O fluxo luminoso que incide no refletor da luminária deve ser dirigido para o plano de trabalho. Isso faz com que a eficiência do conjunto lâmpada-luminária seja máxima.

Os requisitos principais que uma luminária deve possuir são:

- alto rendimento inicial, conseguindo passar ao ambiente o máximo do fluxo luminoso que a lâmpada emite;
- correta distribuição luminosa, isto é, orientação adequada do fluxo luminoso sobre o plano de trabalho;
- facilidade de manutenção;
- boa conservação do fluxo luminoso no decorrer do uso;
- pouca interferência com a lâmpada.

As superfícies refletoras das luminárias devem ser mantidas limpas e em condições de manter o melhor nível de reflexão possível. Pode ser necessário repintá-las com o passar do tempo. As luminárias espelhadas para lâmpadas fluorescentes são de altíssima eficiência, possibilitando uma redução de até 70% do número de lâmpadas, o que ocasionará grande economia de energia elétrica. Os difusores costumam se tornar amarelados e opacos com o uso. É conveniente trocá-los por outros de acrílico claro que têm boas propriedades contra o amarelecimento. Pode-se afirmar que um difusor opaco provoca uma redução do fluxo luminoso em até 50%, enquanto que nos de acrílico essa redução é da ordem de 10%. Em alguns casos, material de vidro claro pode ser usado quando compatível com a luminária, se não houver risco de quebra.

A remoção de difusores deve ser tentada, lembrando-se porém que, normalmente, é acompanhada de um aumento do nível de ofuscamento e do iluminamento. Na iluminação com lâmpadas fluorescentes ou incandescentes (até 100 Watts), o ofuscamento pode ser desprezível.

4.6.7 Substituição de lâmpadas

Deve-se sempre estudar a possibilidade de substituição de lâmpadas por outras de maior eficiência luminosa, sem alterar as condições existentes

de iluminação adequadas às atividades do local. As maiores possibilidades residem na utilização de lâmpadas de vapor de sódio e vapor de mercúrio para iluminar galpões, depósitos, estacionamentos, pátios, etc., e na substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes. Para se ter idéia de valores, veja como é calculado o consumo mensal de energia (kWh/mês).

$$\text{kWh/mês} = \frac{\text{Pot. em watts} \times \text{horas de uso dia} \times \text{dias uso no mês}}{1.000}$$

Exemplo:

Um galpão iluminado durante 12 horas por dia, por 100 lâmpadas fluorescentes de 40 Watts cada, usando reator duplo de partida rápida, com potência (perdas) de 22 W, o consumo mensal do sistema é:

$$\frac{(100 \text{ lâmp.} \times 40\text{W} + 50 \text{ reat} \times 22\text{W}) \times 12 \text{ horas} \times 30 \text{ dias}}{1.000} = 1.836 \text{ kWh/mês}$$

Cada lâmpada fluorescente de 40 Watts emite 2.775 lúmens resultando num fluxo luminoso de:

$$100 \times 2.775 = 277.500 \text{ lúmens.}$$

Se as lâmpadas fluorescentes forem substituídas por lâmpadas de vapor de sódio de 250 Watts que emitem em torno de 26.000 lúmens cada uma, terão de ser instaladas 11 lâmpadas vapor de sódio para produzir o mesmo fluxo luminoso. Considerando que cada reator necessário para instalação dessas lâmpadas de vapor de sódio tem uma potência (perdas) de 32 Watts, o consumo total para a nova instalação será:

$$\frac{11 \text{ lâmp.} \times (250\text{W} + 32\text{W}) \times 12 \text{ horas} \times 30 \text{ dias}}{1.000} = 1.116 \text{ kWh/mês}$$

Assim, se houver possibilidade física de substituição das lâmpadas, sem prejudicar os níveis de conforto, o novo sistema de iluminação produziria uma economia mensal em kWh em torno de 720 kWh (39%). Verifique também que a potência em kW foi reduzida de 5,1 kW para 3,1 kW, possibilitando uma economia da demanda de 2,0 kW. O que foi visto permite avaliar as vantagens e desvantagens de cada lâmpada. Antes de tomar uma decisão na substituição de lâmpadas, é conveniente verificar qual o tipo que melhor se adapta ao local analisado, menor consumo de energia elétrica o qual oferece a melhor relação custo - benefício.

A título de exemplo podemos notar que:

- uma lâmpada fluorescente de 32 Watts ilumina mais que uma incandescente de 150 Watts, gasta muito menos energia e dura muito mais;
- uma lâmpada de vapor de mercúrio de 125 Watts ilumina mais que uma mista de 250 Watts e gasta cerca da metade de energia elétrica;
- duas lâmpadas fluorescentes de 20 Watts iluminam cerca de 50% mais que uma incandescente de 100 Watts e gastam menos da metade de energia elétrica;
- uma lâmpada de vapor de sódio a alta pressão de 70 Watts equivale ao iluminamento de uma mista de 250 Watts ou uma de vapor de mercúrio de 125 Watts.

Com relação a alguns exemplos que constam neste manual, onde são abordadas as substituições de lâmpadas com o objetivo de economizar energia elétrica, convém esclarecer que utilizamos um método de cálculo simplificado, baseado no fluxo luminoso emitido pela lâmpada.

Para cálculos mais precisos, deverão ser considerados: estado de limpeza ou conservação das luminárias, tipo do local, altura das luminárias, tipo e acabamento das luminárias, cor das paredes e dos tetos, dentre outros que também influem no iluminamento.

4.6.8 Medidas práticas para conservar energia elétrica na iluminação

Além das possibilidades de utilização de lâmpadas mais eficientes, veja a seguir outras medidas importantes para a conservação de energia:

- Use lâmpadas adequadas para cada tipo de ambiente (veja tabela 4.8);
- Ligue a luz elétrica somente onde não existir iluminação natural suficiente para o desenvolvimento das atividades;
- Instrua os empregados a desligarem as lâmpadas de dependências desocupadas, salvo aquelas que contribuem para a segurança;

- Reduza a carga de iluminação nas áreas de circulação, garagem, depósitos, etc., observando sempre as medidas de segurança;
- Evite pintar os tetos e paredes com cores escuras as quais exigem lâmpadas de maior potência para a iluminação do ambiente;
- Mantenha limpas as luminárias. A sujeira reduz o fluxo luminoso, exigindo maior número de lâmpadas acesas;
- Use luminárias abertas, para melhorar o nível de iluminamento;
- Verifique a possibilidade de instalar “timer” para controle da iluminação externa, letreiros e luminosos;
- Limpe regularmente as paredes, janelas, forros e pisos. Uma superfície limpa reflete melhor a luz de modo que menos iluminação artificial se tome necessária;
- Instale interruptores, objetivando facilitar as operações liga/desliga, conforme a necessidade local, inclusive através da instalação de “timers”;
- Utilize-se de telhas transparentes para aproveitamento da iluminação natural;
- Divida os circuitos de iluminação, de tal forma a utilizá-los parcialmente sem prejudicar o conforto;
- Percorrer os diversos setores da indústria, a fim de verificar se há luminárias desnecessárias ou com excesso de iluminação. A rotina pela qual são executadas as tarefas de limpeza e conservação influi no consumo de energia elétrica. Assim sendo, recomenda-se a adoção das seguintes providências:
 - Fazer a limpeza, preferencialmente durante o dia, em cada setor;
 - Iniciar a limpeza por um setor, mantendo todos os demais apagados, caso a mesma seja realizada após o encerramento do expediente;

- Programar o serviço, de forma a que o ambiente ou andar tenha a respectiva iluminação e outros equipamentos desligados imediatamente após a sua conclusão.

4.6.9 Manutenção dos sistemas de iluminação

São muito significativos os ganhos, principalmente em rendimento e eficiência, quando se põe em prática um bom esquema de manutenção periódica dos sistemas de iluminação, substituindo ou retirando difusores em más condições, substituindo luminárias com baixo rendimento, usando reatores eficientes, ou simplesmente limpando lâmpadas e luminárias. Há casos em que a simples limpeza de lâmpadas e luminárias ocasiona aumento do iluminamento em até 60%, possibilitando a manutenção das lâmpadas existentes. Os diversos tipos de lâmpadas apresentam, usualmente, problemas típicos de funcionamento, que são freqüentemente encontrados durante as manutenções.

Os mais comuns estão relacionados nas tabelas a seguir:

Tabela 4.12

Problemas em Lâmpadas Incandescentes

PROBLEMAS	POSSÍVEIS CAUSAS	RECOMENDAÇÕES
Sensível diminuição do fluxo luminoso emitido pela lâmpada. Bulbo enegrecido.	Funcionamento da lâmpada por tempo superior a sua duração.	Substitua a lâmpada.
Curta duração. Bulbo enegrecido.	Funcionamento da lâmpada com temperaturas excessivamente elevadas.	Verifique as condições de ventilação do aparelho de iluminação.
Curta duração e quebra do filamento.	A lâmpada está exposta a vibrações ou batidas.	Monte o lustre sobre suportes antivibratórios.
Luz muito intensa e curta duração.	A voltagem da lâmpada é inferior à voltagem da instalação elétrica.	Substitua a lâmpada por uma de voltagem compatível com a instalação elétrica.
Luz fraca e vermelhada.	A voltagem da lâmpada é superior à voltagem da instalação elétrica.	Substitua a lâmpada por uma de voltagem compatível com a instalação elétrica.

Veja abaixo as tensões corretas das lâmpadas e as conseqüências quando a tensão da lâmpada incandescente não é compatível com a tensão da concessionária.

Tabela 4.13

Tensões adequadas das Lâmpadas em Função da tensão de fornecimento da Concessionária

Tensão da Concessionária (Volts)	Tensão da Lâmpada (Volts)
110	115 / 120
115	115 / 120
120	115 / 120
127	127 ou 130
220	220 / 230
230	220 / 230 ou 240

Tabela 4.14

Conseqüências da Incompatibilidade das Tensões da Lâmpada e da Concessionária

			CONSEQÜÊNCIAS
Tensão da Lâmpada	Maior que a	Tensão da Concessionária	Redução da potência da lâmpada, redução da iluminação e aumento do tempo de vida útil da lâmpada.
Tensão da Lâmpada	Igual a	Tensão da Concessionária	A lâmpada terá suas características em 100% de seus valores previstos.
Tensão da Lâmpada	Menor que a	Tensão da Concessionária	Aumento da potência da lâmpada e redução do tempo de vida da lâmpada.

Como exemplo, a vida média de uma lâmpada incandescente é de 1.000 horas. Para que isto ocorra, a lâmpada tem que ser usada na voltagem certa. Se você ligar uma lâmpada para a voltagem 115/120 Volts em rede de 127 Volts, a vida média da lâmpada cai para cerca de 350 horas, ou seja, há uma redução de 65% da vida útil da lâmpada.

Tabela 4.15
Problemas em Lâmpadas Fluorescentes

PROBLEMAS	POSSÍVEIS CAUSAS	RECOMENDAÇÕES
Diminuição do fluxo luminoso.	Uso prolongado superior à duração média da lâmpada.	Troque a lâmpada antes do seu esgotamento.
As extremidades da lâmpada ficam acesas.	Reator defeituoso ou starter pode estar em curto-circuito.	Providencie as trocas necessárias.
Lâmpada que tremula acendendo e apagando.	Falha normal do fim da vida da lâmpada.	Troque a lâmpada.
	Se a lâmpada é nova.	É provável que o fenômeno desapareça.
	Se a lâmpada é relativamente nova pode ser que o starter esteja defeituoso.	Troque o starter.
A lâmpada não acende.	Eletrodos queimados ou rompidos.	Troque a lâmpada.
	Starter falho.	Troque-o.
	Ligações incorretas.	Assegure-se de que a lâmpada está devidamente assentada nos contatos.
Enegrecimento nas extremidades das lâmpadas.	Uso prolongado superior à duração média prevista para a lâmpada.	Troque a lâmpada.
	Reator e starter com defeito.	Providencie as trocas necessárias.
Dificuldade para acender a lâmpada.	Baixa voltagem da instalação elétrica ou baixa qualidade do reator.	Verifique se a voltagem do reator está dentro da faixa de operação.
	Temperatura ambiente muito baixa.	Recorra a aparelhos que proporcionem proteção térmica.

Tabela 4.16

Problemas em Lâmpadas a Vapor de Mercúrio

PROBLEMAS	POSSÍVEIS CAUSAS	RECOMENDAÇÕES
Luz fraca	Uso prolongado superior à duração média da lâmpada.	Substituir a lâmpada.
	Camadas de poeira e sujeira na lâmpada.	Efetuar limpezas periódicas nas lâmpadas e luminárias.
	Baixa voltagem.	Verificar se a fiação não está sobrecarregada ou talvez o reator esteja defeituoso e insuficiente.
Ruptura do bulbo	Posição irregular de funcionamento.	Observar as instruções do fabricante.
	Contato do bulbo com paredes frias devido à montagem incorreta da lâmpada.	Providencie a montagem correta.
	Choques e vibrações mecânicas.	Guarnecer o aparelho de iluminação com suportes antivibratórios.

Tabela 4.17

Problemas em Lâmpadas a Vapor de Sódio a Alta Pressão

PROBLEMAS	POSSÍVEIS CAUSAS	RECOMENDAÇÕES
Luz escassa, Lâmpada enegrecida	Uso prolongado superior à duração média da lâmpada.	Substituir a lâmpada.
	Camadas de poeira e sujeira na lâmpada.	Efetuar limpezas periódicas nas lâmpadas e luminárias.
	Baixa voltagem.	Verificar se a fiação não está sobrecarregada ou talvez o reator esteja defeituoso e insuficiente.
Ruptura do bulbo	Choques e vibrações mecânicas.	Guarnecer o aparelho de iluminação com suportes antivibratórios.

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

4.7 Fornos Elétricos, Estufas e Sistemas de Geração de Calor

Os fornos elétricos e as estufas são equipamentos de aquecimento que consomem volumes expressivos de energia nas instalações industriais.

Apesar de serem considerados equipamentos de elevada eficiência, costumam apresentar perdas significativas, não só nas operações de aquecimento e fusão, como também nas chamadas operações complementares, como o carregamento, transporte do material aquecido, etc.

Na prática, o rendimento de um forno é igual ao produto de seu rendimento energético e seu rendimento operacional, em que são considerados, entre outras, as características construtivas do equipamento, seu carregamento, sua aplicação, o manuseio da carga, tempo e temperatura de processamento, etc. Essas diversas variáveis, influem, direta ou indiretamente, no resultado prático do equipamento.

4.7.1 Perdas de energia nos equipamentos de aquecimento

Parte da energia consumida por um equipamento de aquecimento elétrico é despendida para o processamento específico da carga, e uma parcela significativa perde-se, sem gerar trabalho produtivo.

Simplificando, as perdas de energia podem ser divididas em três grandes grupos:

Perdas inerentes ao processo produtivo: caracterizadas por serem próprias do processo, como, por exemplo, vapores extraídos das estufas de secagem.

Perdas devido às características do equipamento: são aquelas devidas ao projeto, dimensionamento e escolha do equipamento, tais como perdas através do isolamento térmico das paredes.

Perdas na operação: provocadas pela operação inadequada do equipamento, como, por exemplo, a porta ou tampa do forno mantida aberta desnecessariamente ou operação em temperatura acima da necessária.

A atuação sobre cada um desses tipos de perdas deve ser específica, objetivando minimizar o seu somatório e melhorar o desempenho econômico do equipamento.

Com relação às perdas inerentes ao processo produtivo, pouco se pode fazer além de gerenciamento eficaz do sistema, de modo a assegurar que essas perdas sejam as menores possíveis para cada fase do processamento. Os projetos de recuperação de calor devem ser cuidadosamente analisados para tais casos, reconhecendo-se, antes, as limitações destas soluções.

Uma análise nem sempre desenvolvida pelos responsáveis pela operação dos equipamentos elétricos diz respeito à necessidade efetiva do

aquecimento, aos parâmetros adotados nos processos, aos níveis de temperatura e ao tempo de aquecimento adotado. É muito comum poder-se evitar etapas de aquecimento ou mesmo reduzir níveis de temperatura sem provocar dificuldades ao processo produtivo. Sugere-se que sejam analisados objetivamente os processos térmicos adotados, avaliando as possibilidades de modificá-los, minimizando o consumo. A análise da especificação do projeto adotado pode, muitas vezes, ser estendida além dos limites de fabricação do produto, abrangendo até as exigências de sua aplicação final e sua concepção.

Entre outros, os principais pontos a serem observados são os seguintes:

Necessidade efetiva do aquecimento: têm sido encontradas inúmeras soluções que requerem menor quantidade de energia em seu processamento;

- **Níveis de temperatura de trabalho:** as temperaturas utilizadas nos processos térmicos devem ser criteriosamente revisadas de modo a determinarem-se os valores mínimos com os quais se obtém o resultado desejado. Quanto menor a temperatura, menor o consumo de energia;
- **Tempo de aquecimento:** deve ser cuidadosamente avaliado objetivando sua redução. Para a realização da operação desejada, quanto menor o tempo de trabalho, menor o consumo;
- **Ciclos de aquecimento:** muitos materiais são submetidos a vários ciclos de aquecimento e resfriamento, como a laminação, o forjamento, etc. Esses ciclos devem ser analisados para se verificar se todos os aquecimentos são efetivamente indispensáveis, ou mesmo se uma alteração na especificação do produto pode minimizar os níveis de temperatura necessários ou, ainda, evitar alguma etapa do aquecimento;
- **Especificação do material:** a especificação do material determina os processamentos térmicos que serão necessários para a obtenção das características desejadas. Como muitos materiais foram especificados em uma época em que a energia era barata, a revisão de tais especificações pode resultar em significativas economias de energia.

4.7.2 Redução das perdas devido às características construtivas dos fornos elétricos

Após analisados os aspectos relativos ao processo produtivo, devem-se observar os dados que dizem respeito a especificação, projeto e

características construtivas do forno elétrico. Esse conjunto de parâmetros irá determinar a produtividade do equipamento e o consumo de energia por unidade processada.

a) Produção do equipamento

Um ponto importante a ser observado é a relação entre as necessidades de produção e a capacidade produtiva do forno elétrico. Um equipamento operando em condições muito inferiores ou muito superiores as de sua capacidade nominal apresentará um consumo específico maior do que o efetivamente necessário.

Ao se utilizar um forno elétrico, deve-se procurar operá-lo dentro da faixa ótima de produção para o qual ele foi projetado, e apresentará perdas mínimas.

b) Transporte da carga

Todo equipamento necessita de um sistema de transporte e movimentação da carga. Boa parte desses componentes permanece no interior do forno, exigindo energia para seu aquecimento. Os ciclos de aquecimento e resfriamento a que são submetidas tais peças podem representar consumos de energia não desprezíveis.

Deve-se dar preferência aos equipamentos que apresentem o mínimo de suportes, dispositivos de fixação ou apoios de carga, e também mínimas dimensões e peso, evitando perdas desnecessárias.

c) Áreas de perda de calor

Para minimizar perdas de energia, as áreas de dissipação de calor para o ambiente devem ser as menores possíveis. Nesse sentido, o volume do forno deve ser o mínimo possível e adequado ao tamanho da carga e da produção desejada.

As portas e tampas devem apresentar dimensões mínimas compatíveis com a carga, e ser mantidas fechadas durante o processamento, evitando aberturas desnecessárias.

d) Perdas de calor por frestas e partes metálicas

A construção inadequada do forno ou a manutenção deficiente levam, com o seu envelhecimento, ao surgimento de frestas em portas, tampas,

soleiras, selos, etc., provocando perdas para o ambiente, as quais podem ser facilmente eliminadas com uma boa revisão.

Outro ponto a se observar diz respeito às partes metálicas do forno que estão em contato simultâneo com a sua região quente e sua parte externa. Sempre que possível, isso deve ser evitado, pois além de significativas perdas de energia, pode provocar acidentes de trabalho.

e) Perdas de calor por convecção

Perdas por convecção no interior do forno, principalmente nos fornos resistivos e estufas, ocorrem sempre que há uma corrente de ar atravessando o equipamento. Isto se dá, muitas vezes, devido à existência de portas ou aberturas em posições inadequadas. É importante lembrar que a introdução de ar frio reduz a temperatura do equipamento, exigindo maior consumo de energia para reposição do calor perdido.

As portas de extremos opostos devem ser evitadas, de modo a não sobreviverem correntes de ar frio no interior do equipamento. As aberturas em alturas diferentes da câmara de aquecimento devem ser evitadas para não permitir o surgimento de uma corrente ascendente de ar, por convecção natural.

f) Perdas nos enrolamentos do transformador, nos cabos de alimentação e nas conexões dos fornos

As perdas nos enrolamentos do transformador, nos cabos de alimentação e nas conexões dos fornos variam com o quadrado da corrente. Dessa forma, para se reduzirem essas perdas, deve-se reduzir a corrente elétrica através de medidas de conservação de energia nas instalações, com a mínima intensidade de corrente e operando-se o forno com elevado fator de potência.

Em instalações de porte, a potência dissipada nos cabos de alimentação é tão elevada que exige sistemas de refrigeração. Se essa refrigeração for deficiente, a resistência elétrica dos cabos se eleva, aumentando as perdas ôhmicas, podendo danificá-los. Portanto, torna-se importante o funcionamento adequado do sistema de refrigeração para evitar danos no equipamento.

Para reduzir as perdas nas conexões elétricas, é importante reapertá-las adequadamente durante uma manutenção preventiva e substituir os conectores defeituosos.

g) Perdas na bobina indutora dos fornos indutivos

As perdas que ocorrem nas bobinas indutoras dos fornos indutivos são devidas a sua resistência elétrica e à transmissão de calor da carga metálica através do revestimento refratário.

Para reduzir essas perdas, recomenda-se:

- utilizar um indutor feito de material de baixa resistividade e limitar sua temperatura com o uso de sistemas de refrigeração da bobina;
- reduzir ao máximo a distância entre a carga metálica e a bobina, fazendo o refratário o mais fino possível;
- manter o nível da carga ao nível da espira superior da bobina, utilizando todo o comprimento do indutor;
- para reduzir as perdas devido à transmissão de calor da carga aquecida, deve-se melhorar o isolamento térmico entre o indutor e a carga metálica, evitando aumentar a espessura do revestimento refratário e isolante para não reduzir o rendimento do forno.

Uma prática que deve ser analisada é a recuperação do calor das bobinas, principalmente aquelas que usam água para esse fim. Esse calor pode ser usado para aquecimento da água de processo, aquecimento de banhos, de ambientes, etc.

h) Perdas pelas paredes do forno

As perdas térmicas através das paredes do forno dependem do seu isolamento térmico, da área das paredes externas, bem como da temperatura da carga. Nos fornos resistivos, o isolamento térmico é efetuado em várias camadas, com o emprego de diversos materiais, sendo muito comum o uso de fibras cerâmicas, que apresentam baixa condutibilidade térmica e reduzida inércia térmica, isto é, o material é um bom isolante térmico que acumula pequena quantidade de calor.

Essa última propriedade tem como principal consequência a rapidez no aquecimento e resfriamento do forno, melhorando a produtividade e reduzindo a energia gasta no aquecimento das paredes e tetos.

Nos fornos indutivos, a redução dessas perdas está ligada à melhoria do isolamento térmico do cadinho. No entanto, para manter um bom rendimento elétrico, a espessura da parede do cadinho deve ser a mínima possível, devendo procurar-se a relação ótima entre as duas variáveis.

4.7.3 Economia de energia na operação do forno

O rendimento operacional de um forno é, basicamente, função das perdas de energia devido ao seu projeto, características construtivas e aquelas provocadas pela operação do equipamento. A experiência acumulada por muitas empresas mostra que parcela significativa de energia é desperdiçada pelo emprego de sistemáticas de trabalho não voltadas para a conservação de energia.

Nessa abordagem, esse tema será dividido em dois grupos: conservação de energia nas operações anteriores ao aquecimento e conservação de energia durante o aquecimento do material.

4.7.3.1 Conservação de energia nas operações anteriores ao aquecimento

Em uma empresa existem inúmeras operações que antecedem o aquecimento no forno e que são fundamentais tanto para a produtividade como para o consumo de energia, como a preparação e o carregamento da carga metálica no forno.

Na preparação da carga metálica, os principais pontos a serem observados para reduzir as perdas de energia são os seguintes:

- **Limpeza e secagem da carga metálica:** a carga a ser introduzida no forno encontra-se, muitas vezes, úmida, impregnada de óleo, graxa, areia e impurezas. Recomendam-se sua limpeza e secagem, do contrário exigirá energia adicional para aquecê-la. Quanto menor a massa de material improdutivo introduzido na câmara de aquecimento, menor será a energia necessária para o aquecimento.
- **Pré-aquecimento da carga metálica:** o pré-aquecimento da carga tem, basicamente, duas finalidades:

- **Secar a carga a ser processada e elevar a temperatura do material**, reduzindo a demanda de energia do forno.
- **Dependendo da temperatura do pré-aquecimento**, os montantes de energia economizados podem ser consideráveis. O reaproveitamento de calor dissipado em outras etapas do processo produtivo para essa finalidade aumenta sensivelmente a eficiência da planta industrial, reduzindo as despesas com energia e melhorando a produtividade do forno.
- **Aprimorar o controle de qualidade:** após cada etapa do processo produtivo é conveniente a realização de uma cuidadosa inspeção para retirar material ou pegas defeituosas, ou fora de especificação, evitando seu processamento térmico. Reduzindo-se o percentual de material ou pegas rejeitadas após o final do processamento térmico, evitam-se gastos desnecessários com energia.

No carregamento do forno uma parcela importante de energia pode ser desperdiçada pela porta ou tampa do equipamento, principalmente se a operação for contínua ou a carga introduzida com o forno ainda quente. Essa operação é responsável também pela produtividade e pela integridade física de seu revestimento refratário.

Nessa etapa do processamento, os pontos principais a serem observados são os seguintes:

- **Minimizar tempo de carregamento:** nas operações onde o forno é carregado ainda aquecido, devem ser buscados procedimentos de trabalho que minimizem o tempo despendido durante essa etapa do processo. Dependendo do tipo de equipamento e da natureza do processo, diversas soluções são possíveis, sendo muito comum o uso de dispositivos auxiliares, como empilhadeiras, carregadores, pontes rolantes, esteiras móveis, etc. Nos fornos indutivos, o carregamento deve ser feito de forma cuidadosa para não ocorrer a queda da sucata de grandes alturas, evitando-se danos no revestimento refratário. Nesses fornos deve-se tomar especial cuidado para evitar o engaiolamento, que provoca o superaquecimento do banho sob as pegas que o formam, além de danificar o revestimento refratário. O carregamento mais adequado é o mecânico, feito com dispositivos apropriados. Com isso, consegue-se carregá-lo rapidamente, evitando que a porta ou tampa permaneça aberta por muito tempo.

- **Otimizar o carregamento do forno:** isso significa encontrar dispositivos e procedimentos que permitam a rápida introdução do material no forno, identificar procedimentos de preparação da carga e formas de dispô-la no interior do equipamento, de modo a aproveitar da melhor maneira a energia consumida e maximizar a produtividade. Outro ponto a se destacar diz respeito ao aproveitamento ótimo da capacidade do equipamento, que deve ser aproveitada em cada processamento com o maior volume possível de carga útil.
- **Reaproveitamento de material aquecido:** outra forma de se conservar energia consiste em se estabelecer rotinas de carregamento do forno com o material ainda aquecido, seja devido a uma etapa anterior do processo, seja através do reaproveitamento de resíduos ainda quentes, como, por exemplo, a refundição de canais de retorno logo após a quebra de pegas fundidas em coquilhas. Esses canais de retorno devem ser carregados em caçambas especiais que os transportem para re-introdução no forno, aproveitando seu calor remanescente e evitando o pré-aquecimento para secagem. Outro ponto importante diz respeito ao uso de cadinhos, vagonetas ou soleiras móveis ainda aquecidos, procurando-se descarregá-los rapidamente e reutilizá-los ainda aquecidos, sempre que possível. Algumas vezes pode ser necessário transferir a carga para outro recipiente para aproveitar o calor residual do dispositivo de movimentação da carga.
- **Otimização do carregamento não mecanizado:** nos casos em que não se dispõe de dispositivos automáticos para carregamento, e esse é feito manualmente, deve-se cuidar para que o volume introduzido não impeça o fechamento da tampa ou porta. Nos casos de fornos de fusão, o carregamento deve ser feito rapidamente, de modo que tão logo a tampa do forno seja aberta a carga seja nele introduzida e cubra a superfície do banho em pouco tempo.

4.7.3.2 Conservação de energia durante o aquecimento do material

Apesar de o forno elétrico ser um equipamento de elevada eficiência, nem sempre ele é operado de forma a proporcionar menor consumo de energia. Geralmente, a cultura dos operadores é desenvolvida visando maior produtividade, sem haver preocupação com a economia de energia. Diversas providências simples podem ser adotadas durante o processamento da carga, que resultam em expressivas economias.

- **Evitar sobre aquecimentos:** recomenda-se trabalhar sempre próximo ao nível mínimo de temperatura para o qual o processamento foi especificado. Experiências podem ser realizadas para determinar novos níveis de temperatura inferiores aos anteriormente utilizados. O uso de sistemas automatizados de controle de temperatura ajuda muito nesta tarefa.
- **Reduzir níveis de temperatura:** os níveis de temperatura de trabalho adotados, muitas vezes, são superiores às reais necessidades do processo produtivo, o que torna importante uma revisão desses níveis. Menor nível de temperatura exige menor quantidade de energia no processamento.
- **Manter portas fechadas:** é importante lembrar que uma porta ou tampa aberta se constitui num dos maiores fatores de perda de calor. As operações de carga e descarga devem ser efetuadas rapidamente, evitando-se manter a porta aberta tempo maior que o necessário. Apenas para comparação, um forno mantido a 900°C com uma porta de 1 m² aberta perde cerca de 85 kW/h.
- **Evitar aquecimentos inúteis:** o forno elétrico deve operar o mais próximo possível da plena carga, pois isso proporciona uma diminuição do consumo específico. Deve-se, portanto, evitar operar o equipamento com carregamento muito inferior ao seu nominal, ou mantê-lo em operação sem carga.
- **Reorganizar layout:** uma análise do layout da área de produção pode identificar que os fornos estão muito distantes do local de processamento do metal aquecido, exigindo um sobre aquecimento do material para compensar as perdas durante o transporte. A disposição física inadequada do forno em relação a outras etapas do processo produtivo pode provocar acréscimos desnecessários no consumo de energia. O reagrupamento de certas máquinas e etapas do processo pode limitar as perdas devido ao manuseio do material aquecido.
- **Cuidados na manutenção da temperatura de materiais fundidos:** a fusão do metal e a sua manutenção no estado líquido à temperatura constante, que muitas vezes são executadas em um mesmo equipamento, são operações diversas que exigem equipamentos diferentes. Um forno que é utilizado tanto para fusão como para manutenção de temperatura, com raras exceções, opera parte do tempo

fora de suas condições ótimas de rendimento energético. Recomenda-se, sempre que possível, realizar cada uma das operações em equipamento especialmente projetado para a finalidade.

- **Cuidados no transporte de metais fundidos:** essa operação, que geralmente é executada através de painéis mal isolados termicamente, que não possuem tampas isoladas, bem como percorrem longos percursos, muitas vezes é negligenciada nos programas de economia de energia elétrica. Para se reduzir o desperdício de energia nesta etapa do processo, recomenda-se utilizar o número necessário e suficiente de painéis, melhorar seu isolamento térmico e provê-las de tampas isoladas, mantê-las sempre tampadas, mesmo quando não estejam com carga metálica, e reduzir o seu tempo de percurso.
- **Cuidados na elaboração dos moldes de fundição:** nessa atividade, a principal oportunidade de economia de energia encontra-se na minimização dos canais de retorno e massalotes. Esse metal em excesso, que é extraído mecanicamente e reaproveitado para refusão, muitas vezes é responsável por mais da metade da energia utilizada na fusão. Técnicas modernas podem proporcionar o desenvolvimento de moldes onde o metal em excesso é inferior a 30% do volume fundido utilizado, economizando parcela substancial de energia.

4.7.4 Sistemas de Produção de Calor

4.7.4.1 Geradores de vapor

Gerador de vapor é um equipamento que transforma energia química ou elétrica em energia térmica e transmite esta energia a uma determinada massa de água com o intuito de transformá-la em vapor saturado ou superaquecido. São constituídos por diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados, com as mais simples unidades geradoras de vapor, comumente conhecidas por caldeiras de vapor, ou por unidades compactas, como os geradores elétricos de vapor, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível. Em casos específicos o fluido não vaporiza, sendo aproveitado nos processos de calefação, ainda na fase líquida, apenas com a temperatura elevada, formando a linha de geradores de água quente.

São três os tipos fundamentais apresentando rendimentos da ordem de 95 a 99,5%, a saber:

- caldeiras elétricas tipo resistência;
- caldeiras elétricas tipo eletrodo submerso;
- caldeiras elétricas tipo jato de água.

4.7.4.1.1 Caldeiras elétricas tipo resistência

São caldeiras com resistência de imersão, onde o calor é dissipado por efeito Joule, em virtude da passagem da corrente elétrica através dos resistores, produzindo vapor. São ideais para unidades de pequeno porte, onde é baixa a necessidade de vapor (em média 3.500 kg/h), em pressões de trabalho que podem variar até 15 kgf/cm², ou para geração de água quente. O controle de carga nos geradores elétricos de vapor a resistência é feito por sensores de pressão (produção de vapor) ou de temperatura (aquecimento de água), quando estas tiverem pequena capacidade. Para capacidades mais elevadas, utiliza-se reostatos para controlar a produção de vapor através da potência dissipada pelo resistor.

4.7.4.1.2 Caldeiras elétricas tipo eletrodo submerso

São constituídos basicamente por três eletrodos, adequadamente dispostos um a cada fase, montados verticalmente e suportados na parte superior da caldeira, através das buchas de entrada de corrente, convenientemente isoladas. Os contra-eletrodos são montados solidamente fixados ao casco da caldeira. A corrente elétrica passa através da água na parte inferior da caldeira entre o eletrodo e contra-eletrodos, aquecendo a água e produzindo vapor que sobe para a parte superior da caldeira. São supridas em baixa e em alta tensão, podendo produzir elevadas vazões de vapor e operam com pressões que variam de 5 a 20 kgf/cm².

4.7.4.1.3 Caldeiras elétricas tipo jato de água

A água colocada na parte inferior do corpo da caldeira é bombeada por uma bomba de circulação interna até a parte superior da mesma na qual estão montados injetores para jateamento da água. Os diversos jatos de água formados nos injetores fluem por gravidade contra os eletrodos criando diversos caminhos para passagem de corrente elétrica. Os três eletrodos (ou três grupos de eletrodos) correspondentes um a cada fase são dispostos verticalmente, em círculo rodeando a parte superior da caldeira, na parede da qual estão

montados os conjuntos de injetores. As conexões de alimentação elétrica são feitas diretamente nos terminais dos eletrodos. A corrente elétrica passa através dos jatos de água, provocando aquecimento e vaporização de uma parte da mesma. São supridas em alta tensão, podendo gerar elevadas vazões de vapor, sendo que as pressões de trabalho variam de 5 a 30 kgf/cm². Há facilidade de controle desde 0% a 100% de carga, e o tempo de partida a frio é muito curto, não necessitando pré-aquecimento da água.

4.7.4.2 Geradores de água quente

Existem três tipos fundamentais:

- gerador de passagem;
- gerador de passagem com acumulação;
- gerador de acumulação (boiler).

4.7.4.2.1 Gerador de passagem

O aquecimento se dá através de passagem de água pelo aquecedor, utilizando calor dissipado por efeito Joule, através de passagem da corrente pelo resistor. É utilizado para consumo imediato.

4.7.4.2.2 Gerador de passagem com acumulação

O gerador de passagem por acumulação consiste no aquecimento de água através de um gerador de água quente de passagem e posterior acumulação dessa água quente num reservatório isolado termicamente. Com o consumo dessa água, o nível do acumulador mantém-se constante com a introdução de água fria. No gerador de passagem, quando a temperatura da água do reservatório fica abaixo de um valor mínimo, o aquecedor passa a fornecer água quente novamente para o acumulador, restabelecendo a temperatura desejada. O gerador de passagem com acumulador é utilizado, normalmente, para períodos de sobrecarga de consumo.

4.7.4.2.3 Gerador de acumulação (boiler)

São geradores de água quente com acumulação própria. A água fria entra no boiler, é aquecida quando passa pela fonte de calor e acumulada no próprio dispositivo. O boiler é também isolado termicamente, e religa quando a temperatura da água fica abaixo de um determinado valor mínimo.

4.7.4.3 Linhas de vapor

O sistema de distribuição de vapor é, sem dúvida, o mais importante elo de ligação entre o produtor (gerador de vapor) e o consumidor de vapor. O investimento feito na produção e utilização eficiente de vapor, além do custo inicial de um gerador elétrico de vapor ser considerável, poderá ser desperdiçado se o sistema de distribuição não fizer com que o vapor atinja seu objetivo a uma dada pressão e temperatura, livre de ar seco, se este for o caso e em quantidade suficiente. É, então, de fundamental importância no projeto focar os vários aspectos que tornam um sistema de distribuição de vapor eficiente. Na maioria dos casos, devido à impraticabilidade da produção de calor no ponto de consumo, isto é feito em uma caldeira central, sendo a distribuição de vapor feita através de tubulações, que devem ser convenientemente isoladas. A redução das perdas de calor pelo isolamento é uma maneira prática de se conseguir substanciais economias de energia utilizando-se somente materiais disponíveis no mercado. Além disso, sua aplicação é muito fácil e pode ser feita, na maioria dos casos, sem que haja interrupção nos processos de fabricação. É importante que os grandes benefícios financeiros advindos da prevenção de perdas de calor pelo isolamento térmico sejam reconhecidos e entendidos, e que sejam tomadas todas as atitudes adequadas e necessárias para que esses benefícios sejam conseguidos. O isolamento térmico é fornecido em diversas formas, devendo preencher as necessidades da maioria das condições locais onde deverão ser instalados. Perdas evitáveis de calor são aquelas que podem ser reduzidas pelo isolamento prático e econômico de tubulações e equipamentos aquecidos. Em uma tubulação isolada não significa que haja ainda potencial de conservação de energia. Na maioria das instalações industriais, o isolamento térmico é muito mais fino do que o recomendável, pois, normalmente, não são adequadamente considerados os custos das perdas de energia elétrica. Para o cálculo da Espessura Econômica deverá se levar em conta um conjunto de circunstâncias, visando levantar a economia anual gerada pelo isolamento, considerando-se a redução dos custos com energia e o investimento a ser realizado. Devido à complexidade desse cálculo, recomenda-se consultar um profissional habilitado.

4.7.4.3.1 Otimização do uso do condensado

Quando consideramos o uso energético para fins industriais, tendemos a menosprezar o fato de que é muito mais uma questão de fornecimento de calor do que de consumo de energia. O vapor é gerado na caldeira e distribuído

para o sistema, para atender as exigências de calor de determinados equipamentos. Ao fornecer calor a um determinado processo, o vapor se condensa, mas continua contendo parte do calor que foi originalmente adicionado a água na caldeira. Para se gerar vapor, é necessário, inicialmente, acrescentar-se calor (sensível) para que a água atinja a temperatura de ebulição, temperatura esta que irá variar de acordo com a pressão que a caldeira estiver operando. Ao atingir o ponto de ebulição, qualquer acréscimo de calor, ao invés de elevar a temperatura da água, fará com que ela, alterando suas propriedades físicas, transforme-se em vapor. Ao acréscimo necessário de calor para provocar esta transformação dá-se o nome de calor latente. Na maioria das instalações industriais, quando o vapor cede calor ao processo, somente o calor latente é usado antes que o vapor se condense. Assim, os condensados que são eliminados dos equipamentos e tubulações geralmente contêm ainda uma grande quantidade de calor que foi acrescido à água através do consumo de energia elétrica. Devido ao seu conteúdo de calor e sua adequação química, o condensado torna-se a água de alimentação ideal da caldeira, razão pela qual a primeira escolha será sempre retornar todo o condensado para a mesma. Assim, a água de alimentação da caldeira terá sua temperatura elevada pela recuperação de calor do condensado, que, de outra maneira, seria desperdiçado. Para aproximadamente cada 5 °C que aumente a temperatura da água de alimentação da caldeira, haverá uma redução de, praticamente, 1% do consumo de energia. Isto geralmente faz com que seja compensadora a recuperação de até mesmo pequenas quantidades de condensado.

4.7.4.4 Gerador elétrico de ar quente

O gerador elétrico de ar quente é um equipamento em cujo interior estão dispostos conjuntos de resistências, que fornecem calor ao ar, por efeito Joule. O ar é sugado do exterior através de um ventilador de alta pressão, localizado em uma das extremidades do equipamento. É de grande eficiência, pois o gerador elétrico é geralmente instalado junto ao ponto de consumo de ar quente. Fornece o ar aquecido muito rapidamente, pois o seu projeto possibilita mínima inércia térmica, reduzindo o tempo de partida. O grau de umidade do produto a ser processado é o fator que determina a potência do conjunto de resistências. Normalmente estão equipados com filtros, que possibilitarão o fornecimento de ar limpo, livre de contaminação. O gerador elétrico de ar quente apresenta altíssimos rendimentos térmicos, que asseguram um baixo custo operacional, podendo fornecer ar a temperaturas superiores a 1.000 °C.

4.7.4.5 Bomba de calor

A bomba de calor consiste em aproveitar-se o calor disponível, que é normalmente desperdiçado, convertendo-o em energia térmica aproveitável. A energia necessária para essa conversão é geralmente muito menor que a energia final liberada constituindo a adicional vantagem da bomba de calor. A operação desse equipamento se dá do seguinte modo:

O fluido refrigerante (normalmente freon) é comprimido pelo compressor no estado gasoso até chegar ao condensador, onde troca calor com a fonte fria, cedendo o seu calor e passando para o estado líquido, mantendo-se ainda com alta pressão. Do condensador, o líquido segue para uma válvula de expansão onde é aliviada a pressão, seguindo para o evaporador onde troca calor com a fonte quente, absorvendo calor, passando para o estado gasoso e retornando ao compressor onde inicia-se o ciclo novamente. Como exemplo de aplicação, podemos considerar a fonte quente como sendo o meio ambiente, e a fonte fria como sendo a água de um tanque a ser aquecida. A evaporação se dá utilizando o calor do meio ambiente e a condensação utilizando o frio da água do tanque. As únicas energias pagas, necessárias para a conversão, são para acionar o compressor. Temos, então, o coeficiente de performance (COP), que é a relação entre a energia obtida e a energia elétrica gasta para obtê-la.

4.8 Sistemas de Refrigeração, Ar Comprimido, Ar Condicionado e Ventilação

4.8.1 Sistemas de refrigeração

Os sistemas de refrigeração industrial podem ser divididos, para melhor compreensão e análise, em sistemas de expansão direta e indireta.

Os SISTEMAS DE EXPANSÃO DIRETA compreendem os processos de refrigeração em que a unidade evaporadora do ciclo frigorígena retira calor diretamente do meio a ser resfriado (Ex: câmaras frigoríficas, trocadores de calor para refrigeração de fluidos, massas, etc.), e se caracterizam por:

a) geração

Compreende as unidades compressoras e condensadoras do ciclo frigorígeno, ou seja, o conjunto de equipamentos desagregados da unidade evaporadora. Para sistemas como condensação a ar, o ventilador pode ser considerado como equipamento do grupo de geração.

b) circuito de Condensação

Compreende os equipamentos utilizados para arrefecimento do fluido refrigerante (bombas, trajetos, instrumentação e torres de resfriamento), quanto à condensação e à água.

c) utilização

Compreendem as unidades evaporadoras envolvidas diretamente no processo, válvulas de expansão e tubulações de líquido e gás.

Os **SISTEMAS DE EXPANSÃO INDIRETA** compreendem os processos de refrigeração em que a água gelada é o meio de transporte da potência refrigerante, sendo que os equipamentos de geração (chillers, centrífugas, etc.) resfriam a água que será utilizada como volante térmico em processos específicos.

a) geração

Compreende os seguintes componentes: compressor, evaporador, condensador e válvula de expansão, ou seja, todos os equipamentos responsáveis pela geração de potência refrigerante.

b) circuito de condensação

Compreende os equipamentos utilizados para o arrefecimento do gás refrigerante no condensador do ciclo refrigerante (bombas, instrumentação, controles e torres de resfriamento).

c) circuito de água gelada

Compreende os equipamentos utilizados para circulação de água gelada (bombas, instrumentação, controles e trocadores de calor diretamente envolvidos na refrigeração de processos).

A seguir encontra-se uma lista de práticas de medidas de conservação e checagem por tipo de sistema. Esta lista deve ser implementada no plano de manutenção preventiva para sistemas de refrigeração industrial:

1) Sistemas de expansão direta com condensação a ar

- Geração e Utilização

Verificar:

- Isolamento térmico das tubulações de líquido e de gás;
- Se a unidade condensadora não está localizada em ambientes sem ventilação natural, com exposição ao sol ou perto de outros equipamentos que irradiem calor;
- A possibilidade de modulação de carga das unidades compressoras;
- Se é feita regularmente limpeza nos evaporadores e condensadores do sistema;
- A existência de vazamento de fluido refrigerante;
- O funcionamento da instrumentação e dos sistemas de proteção e controle;
- A utilização adequada de produtos nas câmaras frigoríficas, em relação a temperatura, umidade relativa e tempo de armazenamento;
- O estado das tubulações e conexões e a existência de rugosidades e curvas inadequadas.

2) Sistema de expansão direta com condensação a água

- Geração e Circuito de Condensação (Vide sistema de expansão indireta)

Verificar:

- utilização (Vide sistema de expansão indireta)

3) Sistemas de expansão indireta

- Geração e Circuito de Condensação

Verificar:

- As condições internas das superfícies trocadoras de calor (evaporadores e condensadores) no tocante a incrustações, eliminando-as se for o caso;
- Se a máquina está com carga completa de gás;
- Se há vazamento de fluido frigorígeno;
- Se existe tratamento contínuo da água de condensação;
- As condições dos filtros nas linhas de refrigerante. Ressalta-se que se o filtro estiver sujo, obstruindo a passagem de líquido refrigerante, cairá o rendimento do ciclo, além de desgaste excessivo e/ou quebra do compressor;
- Se as vazões de água gelada e água de condensação são as indicadas pelo fabricante;
- A perda de pressão nos trocadores de calor do equipamento de geração de frio;
- Se os elementos de controle do equipamento estão atuando corretamente;
- A atuação e regulagem adequadas do termostato que controla o ventilador da torre de resfriamento. Normalmente o termostato é regulado para desarmar quando a temperatura da água que sai da torre para o condensador do equipamento está em torno de 20° C;
- Se existem vazamentos de água no circuito de condensação;
- Aplicar a lista de checagem adotada para “Bombas” no circuito de água de condensação.

- Circuito de Água Gelada

Verificar:

- O isolamento das tubulações, acessório e válvulas;
- A possibilidade de desligar bombas operando sem necessidade, devido à existência de pressão suficiente na entrada do ramal para vencer a perda de carga do circuito, sem necessidade de bombeamento;
- Se a vazão de água gelada, fornecida pela bomba, está de acordo com a capacidade nominal do evaporador;
- Se todos os ramais secundários estão recebendo a quantidade correta de água gelada para alimentar os trocadores de calor. A vazão de água deverá ser a nominal relativa ao processo;
- Se existe tratamento químico contínuo da água gelada;
- A perda de pressão nas serpentinas dos trocadores de calor;
- Se é efetuada limpeza periódica nas serpentinas dos trocadores;
- A atuação correta dos elementos de controle (válvulas de três vias, duas vias, etc.) do circuito de água gelada;
- A lista de checagem adotada para Bombas (vide item 4.8.2.).

RECOMENDAÇÕES GERAIS

Para todos os sistemas de refrigeração é possível obter melhoria no rendimento pela aplicação dos seguintes procedimentos:

- Regular sempre o termostato, no caso de câmaras frigoríficas, para a temperatura de armazenamento relativa aos produtos armazenados e período de armazenamento (vide Tabela 4.18);
- Procurar sempre armazenar na mesma câmara produtos que necessitem a mesma temperatura, percentual de umidade e mesmo período de armazenagem;

- Manter sempre em bom funcionamento o termostato e a resistência de aquecimento das unidades evaporadoras que operem em faixas de congelamento, pois o gelo é isolante e dificulta a troca de calor;
- Manter sempre que possível as portas das câmaras frigoríficas fechadas e completamente fechadas e vedadas as portas das antecâmaras;
- Manter sempre em bom funcionamento e limpos os termostatos que operam com válvulas de três vias e/ou com válvulas de expansão;
- Manter sempre, para cada trocador de calor de processo, o fluxo correto de água gelada, fluido refrigerante e vazão de ar;
- Usar, nas câmaras frigoríficas, somente lâmpadas mais eficientes, preferencialmente frias, manter o nível de iluminação adequado (200 lux);
- Evitar, sempre que possível, instalar condensadores ao alcance de raios solares ou próximos a fornos, estufas, etc., ou seja, equipamentos que irradiem calor;
- Utilizar cortina de ar, quando não houver antecâmara;
- Recuperar, sempre que houver simultaneidade ou possibilidade de acumulação, o calor rejeitado em torres de resfriamento para aquecimento ou pré-aquecimento de fluidos envolvidos em outros processos. Esta recuperação pode ser realizada por trocadores ou bombas de calor;
- Para os sistemas de refrigeração de expansão indireta de médio ou grande porte, que utilizam a água gelada como volante térmico e operem nas faixas de temperatura compatíveis, estudar a possibilidade de termo acumulação em gelo ou água gelada.

Tabela 4.18

Características de Armazenamento de Produtos

PRODUTO	ARMAZENAMENTO				MÁXIMO TEMPO DE ARMAZENAGEM	% DE ÁGUA
	CURTO PRAZO		LONGO PRAZO			
	BULBO SECO (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	BULBO SECO (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)		
Manteiga	7	60-80	-23	65-85	12 meses	15
Queijo	4	70-80	0	70-80	2 meses	55
Ovos em caixa	4	70-85	-1	70-85	9 meses	73
Sorvete	-18	60-80	-23	60-80	2 semanas	60
Leite fresco	4	60-70	0	60-70	5 dias	83
Feijão seco	10	60-70	0	60-70	12 meses	13
Couve	2	80-90	0	80-90	4 meses	92
Milho em grão	10	75-85	2	60-70	12 meses	11
Alface	2	80-90	0	80-90	3 meses	95
Cebola	10	80-85	0	75-85	6 meses	89
Batata	4	80-88	2	80-90	6 meses	79
Tomate maduro	4	80-85	4	80-85	10 dias	95
Maçãs verdes	2	80-85	-1	80-88	7 dias	84
Banana madura	13	80-85	13	80-85	10 dias	75
Uva	2	80-85	-1	80-85	8 semanas	82
Manga	0	80-85	0	80-85	10 dias	93
Laranja	4	80-85	0	80-85	10 semanas	86
Pêssego verde	2	80-85	-1	80-85	4 semanas	86
Pêra verde	2	80-88	-1	80-88	7 meses	84
Abacaxi verde	15	80-88	10	80-88	4 semanas	88
Abacaxi maduro	7	80-88	4	80-88	4 semanas	88
Carne verde	2	80-87	0	80-87	6 meses	68
Carne porco cong.	2	70-87	0	70-87	3 dias	60

4.8.2 Bombeamento de água

Primeiramente deve-se observar se o conjunto motor - bomba já existente está adequado em função da altura manométrica e da vazão requerida. Sabe-se que a vazão é a quantidade de água que a bomba consegue transportar num certo tempo. Geralmente é medida em litros por hora ou metros cúbicos por hora. A relação entre a altura manométrica e a vazão é importante porque:

- Para uma mesma bomba, quanto maior a altura manométrica menor é a vazão;
- Para a mesma altura, quanto maior a potência da bomba, maior será a vazão;
- Para a mesma vazão, quanto maior for a altura manométrica, maior deve ser a potência da bomba.

Não se pode esquecer dos problemas decorrentes de um projeto de canalização mal dimensionado ou com excesso de curvas, isto é, nas canalizações, qualquer causa perturbadora, qualquer elemento ou dispositivo que venha esclarecer ou elevar a turbulência, mudar a direção ou alterar a velocidade é responsável por uma perda de energia. As possíveis melhorias a serem conseguidas na operação dos conjuntos motor - bomba são derivadas de análises técnicas normalmente restritas a profissionais habilitados. As considerações feitas sobre o rendimento dos motores valem em boa parte para o conjunto motor - bomba. Toda e qualquer tentativa de alteração do conjunto depende do que se sabe sobre o volume de água consumida nas operações diárias do estabelecimento. O que não se pode perder de vista é que somente o mínimo indispensável de água deve ser bombeado. Medidas mais gerais podem ser tomadas no sentido de diminuir o consumo de água, através da racionalização do seu uso e da eliminação de vazamentos principalmente em registros, torneiras, mangueiras e válvulas de descarga. Nos novos projetos de construção, os cuidados em usar pisos e revestimentos que dispensem a necessidade de lavagem freqüente podem resultar em economia sensível.

A tabela a seguir dará idéia do desperdício de água em vazamentos:

Tabela 4.19

Desperdício de água, por vazamento

VAZAMENTO DE ÁGUA				
Através de orifícios de diferentes diâmetros sob pressão 5 kg/cm ²				
Orifício	Litros por		Metros cúbicos	
	mm	minutos	hora	Dia
0,5	0,33	20	0,48	14,4
4,0	14,80	890	21,40	640,0
7,0	39,30	2360	56,80	1700,0
Relação dos vazamentos acima com as diversas pressões				
1 kg/cm ² - 45%			6 kg/cm ² - 110%	
2 kg/cm ² - 63%			7 kg/cm ² - 118%	
3 kg/cm ² - 77%			8 kg/cm ² - 127%	
4 kg/cm ² - 89%			9 kg/cm ² - 134%	
5 kg/cm ² - 100%			10 kg/cm ² - 141%	

Como parte do roteiro de análise do desempenho do sistema de bombeamento de água e do plano de manutenção, sugere-se verificar:

- a existência de vazamentos no sistema hidráulico conectado à bomba;
- consumo indevido ou desnecessário no sistema hidráulico;
- as condições de limpeza dos filtros;
- a existência de válvulas de bloqueio parcialmente fechadas;
- possibilidade de reduzir o número de acessórios existentes na tubulação;
- a quantidade de água que é utilizada para arrefecimento da caixa de gaxeta da bomba;
- se a vazão da bomba é excessiva para as necessidades do sistema;
- vibrações excessivas e corrosão nas pás do rotor, que podem ter sido ocasionadas por problemas de sucção;

- escolha da bomba mais adequada, ou seja, a que apresente maior rendimento;
- tubulação de diâmetro apropriado, pois a economia na tubulação reflete em maior custo de energia;
- minimizar os acessórios da canalização, evitando válvula de pé, curvas acentuadas, reduções e ampliações bruscas;
- a potência do motor elétrico deve ser compatível com a bomba, evitando-se a sobra em excesso de potência que ocasiona um baixo fator de potência.

Os principais itens que compõem o potencial de conservação de energia, neste segmento, são:

- a) Entrada de ar na tubulação de sucção. Isto ocorre pelo estado precário desta tubulação ou intencionalmente como ajuste da vazão e, conseqüentemente, da carga do motor. Apesar de ser uma maneira de redução da carga solicitada, esta atitude é condenável pela redução da eficiência e vida útil da bomba. O procedimento correto seria, ao invés da entrada de ar, o redimensionamento do conjunto bomba - motor através do rotor ou jogo de polias.
- b) Grandes alturas de sucção. Na forma como são instaladas as bombas, ocorrem alturas demasiadas de sucção o que, além de diminuir o rendimento, pode provocar “cavitação”, diminuindo a vida útil do rotor da bomba. Para este caso, reduzir ao máximo a altura de sucção.
- c) Redução concêntrica na tubulação de sucção. Este tipo de acoplamento, quando na posição horizontal ou levemente inclinada, permite a formação de “bolsões de ar” e, com isso, provoca o turbilhonamento do fluxo d’água na entrada da bomba diminuindo o rendimento.
- d) Curvas de raio curto. As curvas existentes nas tubulações de sucção não devem ter raio curto, o que ocasiona um considerável aumento na perda de carga das instalações.
- e) Vazamentos na tubulação de recalque. A existência de vazamentos na tubulação de recalque consiste numa situação de flagrante desperdício de energia.

- f) Ampliação após a curva. As ampliações não devem ser feitas com comprimento reduzido, preferencialmente depois de uma curva. Com isso, evita-se provocar uma maior velocidade do fluxo d'água na curva e, conseqüentemente, maior perda de carga.
- g) Tubulação longa e sem juntas. Pode-se constatar, freqüentemente, a utilização de tubulações longas sem os devidos meios de proteção a efeitos térmicos (juntas de dilatação) e hidráulicos (ventosas e válvulas de alívio). Assim, as tubulações apresentam ao longo do tempo deformações que oferecem um aumento da resistência ao fluxo do líquido.
- h) Altura de despejo desnecessária. A saída da tubulação quando encontra-se com altura bastante superior ao ponto de despejo provoca um gasto desnecessário de energia por superdimensionamento da instalação.
- i) Levantes com bomba única. Deve-se evitar que as instalações sejam compostas por um único conjunto bomba - motor. O correto seria dividir a carga hidráulica em dois, ou mais, conjuntos motrizes.

4.8.3 Sistemas de ar comprimido

Para melhor compreensão e análise dos sistemas de ar comprimido, eles podem ser subdivididos basicamente em:

a) Geração

Compreende as unidades compressoras, reservatórios centrais e desumidificadores localizados dentro ou nas proximidades das casas de máquinas, além de unidades ventiladoras no caso de arrefecimento a ar.

Circuito de Arrefecimento

Compreendem tubulações de transporte de água de arrefecimento dos compressores, válvulas, termostatos de controle e torres de resfriamento.

b) Distribuição

Compreende as tubulações de transporte de ar comprimido, reservatórios alocados próximos a equipamentos de produção ou processos,

separadores de condensado, purgadores, lubrificadores de linha e válvulas de controle.

c) Utilização

Compreende os equipamentos industriais como ferramentas pneumáticas, máquinas operatrizes, prensas, etc. que utilizam o ar comprimido, definindo os níveis terminais de pressão e vazão, além das exigências específicas de qualidade do ar.

Os itens a seguir especificados devem ser implementados nos planos de manutenção preventiva, no sentido de otimizar o funcionamento dos sistemas.

a) Geração e Circuito de Arrefecimento

- verificar periodicamente as condições físicas dos compressores.
- compressores com vazamentos internos, desgaste excessivo em anéis de segmento, válvulas, etc. consomem mais energia e produzem menores quantidades de ar que a sua capacidade nominal;
- manter as correias de acionamento adequadamente ajustadas, trocando-as quando desgastadas;
- fazer as tomadas de ar de admissão, sempre que possível, fora da casa de máquinas;
- fazer limpeza periódica ou trocar os filtros de ar;
- fazer a limpeza de filtros separadores de óleo no caso de compressores de parafuso;
- manter intervalo de regulagem de pressão dos compressores compatível com a vazão de ar demandada e a pressão terminal mínima necessária ao equipamento utilizado mais distante;
- evitar trajetos entre a geração e o reservatório de distribuição, com tubulações de diâmetro variado, curvas desnecessárias, etc. De preferência, este trajeto deve envolver uma tubulação mestra dimensionada para uma perda de carga máxima de 0,08 kg/cm² para cada 100 m de tubulação (comprimento equivalente);

- eliminar todos os vazamentos existentes no trajeto geração – reservatório central;
- evitar, sempre que possível, estação redutora de pressão centralizada.
- a redução de pressão deve ser efetuada próximo ao equipamento utilizado;
- realizar, periodicamente, drenagem do reservatório central;
- inspecionar tubulações, válvulas e elementos de ligação quanto a vazamentos de água de arrefecimento das unidades compressoras, condensadores dos sistemas de desumidificação e resfriadores intermediário e posterior;
- fazer tratamento apropriado periodicamente da água de resfriamento das unidades compressoras;
- utilizar sempre que possível circuitos de arrefecimento regenerativos;
- manter limpas as superfícies dos trocadores de calor (intercoolers).

b) Distribuição e Utilização

- efetuar a distribuição do ar comprimido, evitando sempre que possível muitas tubulações, trajetos complexos, curvas, etc;
- verificar a perda de pressão, entre o reservatório central e o ponto de utilização mais distante. A perda de pressão máxima admissível é de $0,3 \text{ kg/cm}^2$. Acima deste valor, a rede de distribuição deve sofrer alterações para a simplificação de trajetos;
- retirar da rede de distribuição todos os ramais secundários desativados ou inoperantes, no sentido de evitar acúmulos de condensado, perda de carga excessiva, vazamentos, etc.;
- eliminar vazamentos na rede de distribuição de ar. Para redes muito extensas esta avaliação deve ser efetuada por setor ou grupos de setores afetos a mesma unidade de geração. O valor máximo admissível para vazamentos é de 5% para indústrias de médio porte que não possuem ferramentas como: marteletes, esmilhadeiras, etc. Para indústrias de

caldeirarias pesadas, construção civil, etc. é admissível um valor máximo de 10%;

- utilizar válvulas de bloqueio acionadas por solenóides junto aos equipamentos que operem intermitentemente. O objetivo é evitar que durante as paralisações ocorram fugas do ar pelo equipamento;
- utilizar válvulas de controle de fluxo (global, agulha) junto aos equipamentos utilizadores, no sentido de manter o fluxo de ar compatível com as necessidades operacionais de cada um;
- efetuar tomadas de ar para ramais secundários sempre por cima da tubulação principal para evitar arraste de condensado;
- efetuar as tomadas de ar dos ramais secundários sempre próximas dos equipamentos, evitando sempre que possível longos trajetos para os ramais secundários;
- utilizar os diversos tipos de válvulas de acordo com a sua aplicação específica. Evitar, por exemplo, o uso de registro de bloqueio para regulagem de fluxo e vice-versa;
- efetuar inclinação de 5 a 10 mm por metro linear de rede para facilitar o sistema de purga de condensado;
- efetuar a drenagem de condensado nos pontos de menor cota para redes sem óleo e aplicar o sistema de purga, para redes com óleo respectivamente.

4.8.4 Sistemas de ar condicionado e ventilação

De maneira geral, pode-se dizer que grande parte das instalações de ventilação e ar condicionado é super dimensionada. Isso ocorre porque, até passado recente, os fatores de segurança adotados em projeto estabeleciam capacidades de ventilação e ar condicionado superiores à máxima demanda prevista; mudanças tecnológicas e medidas de conservação de energia introduzidas reduziram gradativamente as necessidades de renovação de ar; a quantidade de ventilação e ar condicionado é variável no decorrer da jornada de trabalho e em função da época do ano; e, finalmente, as instalações de ventilação e ar condicionado são calculadas para condições ambientais extremas, o que ocorre somente numa pequena parcela do tempo.

Por essas razões é que se afirma existirem, na maioria das instalações, inúmeras oportunidades de economizar eletricidade nos sistemas de ventilação e ar condicionado, conforme será visto a seguir.

4.8.4.1 Cuidados na manutenção

Nas instalações existentes é importante efetuar uma boa manutenção, de modo a manter o sistema em perfeitas condições operacionais, evitando a sujeira e o excesso de atrito nas partes rotativas.

Para isso, devem-se limpar e lubrificar com frequência mancais e rolamentos, visando minimizar o atrito, reduzir ruído e evitar perdas de energia. Procure limpar também as pás dos ventiladores e suas grades de proteção, evitando acúmulo de poeira, que dificulta a passagem de ar.

4.8.4.2 Redução do fluxo de ar nos ambientes

O fluxo de ar introduzido em um ambiente pode ser reduzido pela instalação de dampers na saída do auto de ventilação.

Dampers são dispositivos mecânicos com palhetas ajustáveis para aumentar ou reduzir a área de circulação de ar (Figura 4.8).

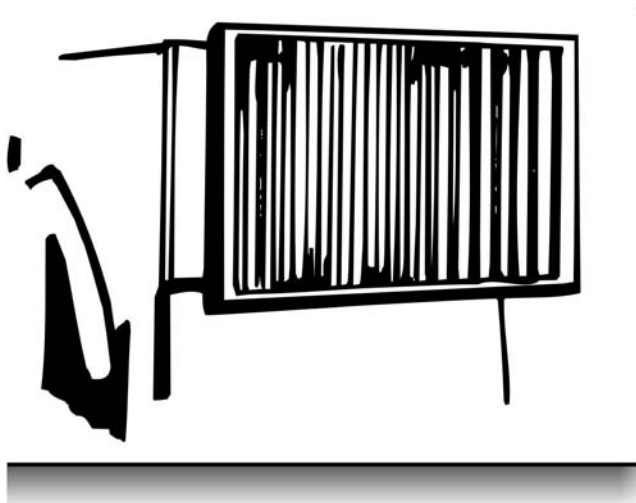


Figura 4.8
Damper em ventiladores centrífugos

A redução de potência obtida através do uso de dampers nas tubulações de saída de ar é difícil de se calcular, mas pode ser determinada com aproximação, com o uso das curvas características de performance dos ventiladores.

4.8.4.3 Redução do fluxo de ar no sistema de ventilação

As pás móveis podem ser usadas nos sistemas de ventilação e ar condicionado para ajustar a quantidade de ar movimentada pelo ventilador, tanto de maneira permanente como num ajuste contínuo (Figura 4.9).

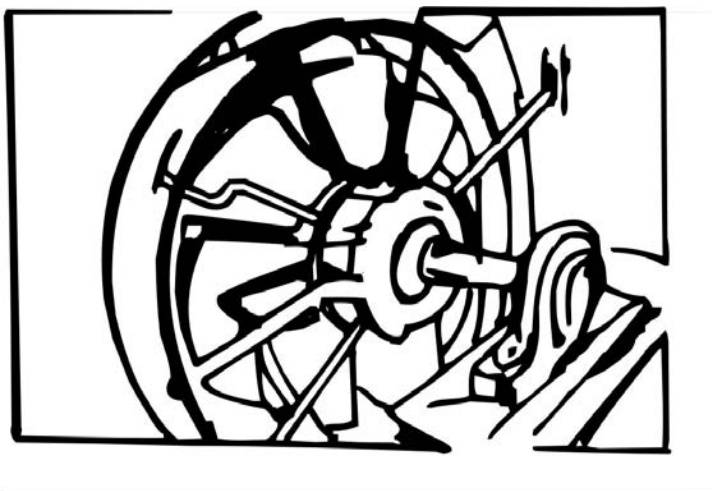


Figura 4.9
Sistema de pás ajustáveis para controle do fluxo de ar

Esse sistema é mais eficiente que o de uso de dampers nos autos de saída de ar, sendo por isso muito aplicado em nível industrial. Da mesma forma, é difícil estimar a redução de consumo proporcionada por esse sistema.

4.8.4.4 Redução da velocidade dos ventiladores

Do ponto de vista de conservação de energia, o sistema que apresenta melhores resultados é a redução da velocidade dos ventiladores, isto é, as suas rotações por minuto. Isso pode ser obtido pela substituição da polia do motor ou da polia do ventilador. (Figura 4.10).

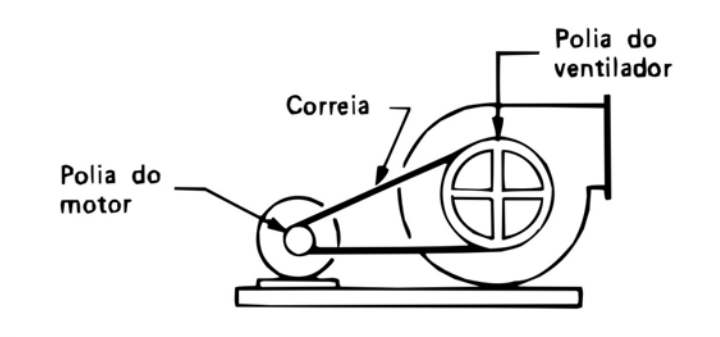


Figura 4.10
Sistema típico de acoplamento ventilador - motor

Para calcular o novo diâmetro das polias, utilizar as seguintes expressões:

a) Para a determinação da nova velocidade do ventilador

$$RPM_2 = \frac{(RPM_1 \times N_2)}{N_1}$$

em que:

RPM₁ = velocidade do ventilador

RPM₂ = nova velocidade do ventilador

N₁ = movimentação do ar promovida pelo ventilador

N₂ = nova movimentação do ar

b) Para a determinação do novo diâmetro da polia, usar uma das equações

$$Dm_2 = \frac{(Dm_1 \times RPM_2)}{RPM_1}$$

$$Dv_2 = \frac{(Dv_1 \times RPM_2)}{RPM_1}$$

em que:

Dm₁ = Diâmetro original da polia do motor

Dm₂ = Novo diâmetro da polia do motor

RPM₁ = Velocidade original do ventilador

RPM₂ = Nova velocidade do ventilador

Dv₁ = Diâmetro original da polia do ventilador

Dv₂ = Novo diâmetro da polia do ventilador

c) Para determinar a potência solicitada do motor

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

em que:

P_1 = potência original solicitada do motor

P_2 = nova potência solicitada do motor

N_1 = movimentação do ar promovida pelo ventilador

N_2 = nova movimentação do ar

Exemplo:

Analisando-se as necessidades de ventilação de um ambiente, verificou-se que o volume de ar renovado poderia ser reduzido em 10%. Nessas condições, pede-se determinar:

- a) a nova velocidade do ventilador;
- b) o novo diâmetro da polia do motor;
- c) a economia de energia obtida em um ano (3.200 horas de operação).

Potência do motor: 25 CV

Velocidade do motor: 1.750 rpm

Diâmetro da polia do motor: 140 mm

Velocidade do ventilador: 437 rpm

Obs.: 1 CV = 0,736 kW

- a) Nova velocidade do ventilador

$$RPM_2 = RPM_1 \times (N_2/N_1)$$

$$RPM_2 = 437 \times (0,91 \times N_1 / N_1)$$

$$RPM_2 = 393 \text{ RPM}$$

- b) Novo diâmetro da polia do motor

$$Dm_2 = (Dm_1 \times RPM_2) / RPM_1$$

$$Dm_2 = (140 \times 393) / 437$$

$$Dm_2 = 125 \text{ mm}$$

c) Economia de energia obtida para 3.200 horas de operação por ano

$$P_2 = P_1 \times (N_2/N_1)^3$$

$$P_2 = 25 \times (0,91 \times N_1 / N_1)^3$$

$$P_2 = 18,2 \text{ CV}$$

$$R = (P_1 - P_2) \times 0,736 \times 3200$$

$$R = (25 - 18,2) \times 0,736 \times 3200$$

$$R = 16.015 \text{ kWh/ano}$$

4.8.4.5 Controle da velocidade do motor de ventiladores

Outra forma de ajustamento das necessidades de ventilação às características do sistema consiste na utilização de mecanismos que permitam variar a velocidade do ventilador, atuando sobre o acoplamento motor - ventilador, ou sobre o motor, variando sua velocidade.

No primeiro caso, pode-se economizar energia com a utilização de um sistema pneumático que promova a variação do diâmetro das polias do motor e do ventilador, variando sua velocidade e a potência solicitada do motor conforme as necessidades.

Para a variação da velocidade dos motores podem ser usados variadores de velocidade a corrente contínua ou controles estáticos de freqüência, que, variando a freqüência de alimentação do motor de corrente alternada, variam sua velocidade e, conseqüentemente, a potência solicitada.

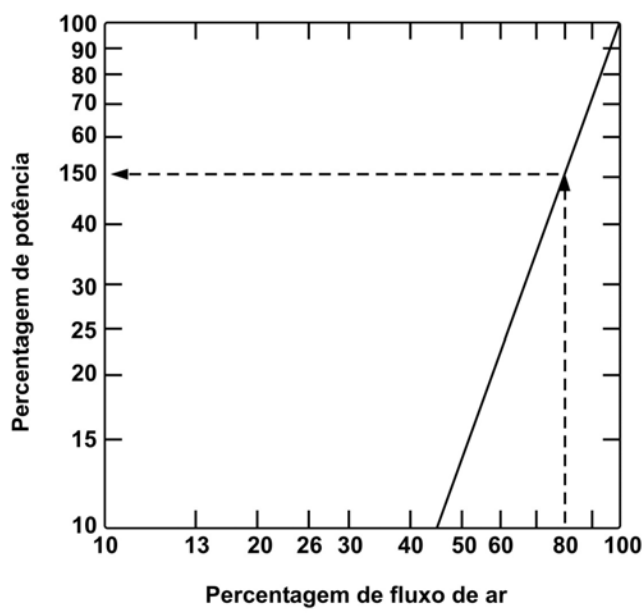


Gráfico 4.9

Redução da potência em função da redução da velocidade de um ventilador (acarretando redução do fluxo de ar).

A capacidade dos condicionadores de ar deve ser adequada ao porte e tipo do ambiente. A seguir, apresentamos uma tabela prática para o cálculo de carga térmica, ou seja, para determinar a capacidade dos equipamentos. A unidade usualmente empregada é o BTU por hora.

Tabela 4.20
Carga Térmica para Ar Condicionado

Cálculo de carga térmica									
Área em m ²	Sombra o dia todo			Sol da manhã			Sol da tarde		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	6000	7000	8000	8000	10000	11000	10000	12000	14000
20	6000	8000	11000	8000	12000	14000	11000	14000	14000
30	6000	9000	14000	8000	14000	18000	12000	16000	17000
40	7000	12000	16000	10000	14000	18000	13000	17000	22000
60	10000	16000	22000	14000	20000	30000	17000	23000	30000
70	10000	18000	23000	14000	22000	30000	18000	30000	30000
90	12000	22000	30000	16000	30000	35000	20000	30000	40000

A - ambiente sob outro pavimento
B - ambiente sob telhado com forro
C - ambiente sob laje descoberta

Observações:

- os cálculos da tabela consideram a permanência de duas pessoas no ambiente. Acrescentar 600 BTU/h para cada pessoa a mais;
- em grandes ambientes é preferível a utilização de dois ou mais aparelhos, com capacidade total equivalente a entrada na tabela, para melhorar a circulação de ar e diminuir o nível de ruído.

4.8.4.6. Medidas para conservar energia

- regule o termostato para uma temperatura ambiente de forma a atender as condições de conforto;
- utilize maior ou menor entrada de ar exterior quando a temperatura atmosférica estiver baixa ou alta respectivamente;

- sempre que possível ligue o aparelho de ar condicionado uma hora após o início do expediente e desligue uma hora antes do seu término;
- limpe periodicamente os filtros, trocando-os quando necessário;
- verifique se o tratamento de água gelada e de condensação está sendo adequado;
- verifique se as correias dos ventiladores estão ajustadas e perfeitas;
- utilize, preferencialmente, lâmpadas fluorescentes em ambientes climatizados;

Orientar os usuários para:

- desligar aparelhos elétricos localizados em ambientes condicionados, quando não estiverem sendo utilizados;
- manter fechadas as portas e janelas nos ambientes condicionados;
- não obstruir ou alterar a regulação das grelhas de insuflamento e retorno de ar existente nos ambientes;
- regular os termostatos dos aparelhos individuais de forma a evitar frio em excesso e, ao se ausentar por longo tempo, sempre desligá-los.

4.9 Recomendações básicas

Sempre que houver necessidade da instalação de novos aparelhos ou simplesmente aumento significativo de carga, consulte a concessionária, para verificar a disponibilidade de fornecimento na rede, e um profissional habilitado para averiguar se a fiação e sua respectiva proteção estão de acordo com a nova carga.

A distribuição não equilibrada de cargas pelas fases pode causar vários defeitos como:

- queima de fusíveis ou desligamento de disjuntores;
- aquecimento de condutores e conexões e funcionamento inadequado dos equipamentos na fase mais carregada;

- As emendas de fios e cabos devem ser bem feitas, através de conectores apropriados, devendo-se dar atenção às emendas de cobre com alumínio, usando-se nesse caso conectores bimetálicos. Isole as emendas com fita isolante, não utilizando esparadrapos, fitas adesivas, etc. As emendas necessárias deverão estar sempre em caixas de passagem e derivações, nunca em eletrodutos;
- os fusíveis são dispositivos de proteção contra sobrecorrentes provocadas por sobrecarga ou curto-circuito na instalação elétrica.

Portanto, quando um fusível “queimar”:

- desligue imediatamente a chave elétrica correspondente e procure identificar a causa da “queima”;
- troque sempre o fusível danificado por outro de igual capacidade em ampères;
- nunca substitua fusíveis por moedas, arames, fios de cobre ou alumínio, ou quaisquer outros objetos. Essa adaptação, além de perigosa, elimina o principal dispositivo de segurança contra a “queima” de equipamentos e lâmpadas;
- é recomendável a utilização de proteção através de chave-faca com fusível, contatores com relê térmico, relés e disjuntores, etc.

Atenção:

- ao fazer qualquer reparo na instalação, desligue o disjuntor ou seccionadora do circuito;
- mantenha sempre livres e desobstruídos os locais destinados aos equipamentos e instalação elétrica;
- circuito de distribuição ótimo é aquele que apresenta o melhor balanço entre as economias em material e em energia;
- a norma brasileira NBR - 5410 indica somente as grandezas mínimas que devem ser observadas;

- implante os transformadores o mais próximo possível dos principais centros de consumo;
- evite sobrecarregar circuitos de distribuição e mantenha bem balanceadas as redes trifásicas;
- condutor superaquecido é um sinal de sobrecarga. Substitua este condutor por outro de maior bitola ou redistribua a sua carga para outros circuitos;
- para potências elevadas dê preferência ao transporte de energia em alta-tensão, mesmo que isto exija a instalação de um transformador ao lado do equipamento.

5. CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência (FP) é um índice que merece uma atenção especial. Alguns aparelhos elétricos, como os motores, em um determinado período de tempo, além de consumirem energia ativa solicitam também energia reativa necessária para criar o fluxo magnético que o seu funcionamento exige.

Com a relação entre estes dois valores determina-se o fator de potência médio indutivo (FP) num determinado período. Quando o fator de potência é baixo, surge uma série de inconvenientes elétricos para a indústria e para a concessionária.

Em razão disto, a legislação do setor elétrico prevê a cobrança de um ajuste devido ao baixo fator de potência para aquelas unidades consumidoras que apresentam este fator inferior a 0,92.

Quando o fator de potência é inferior a 0,92, o total desembolsado por sua empresa a título de ajuste do baixo fator de potência se constituirá em um potencial de economia que poderá ser obtido com a adoção de algumas medidas bastante simples.

5.1 Principais Causas do Baixo Fator de Potência

- **Motores operando em vazio**

Os motores elétricos consomem praticamente a mesma quantidade de energia reativa necessária à manutenção do campo magnético, quando operando a vazio ou a plena carga.

Entretanto, o mesmo não acontece com a energia ativa, que é diretamente proporcional à carga mecânica solicitada no eixo do motor. Assim, quanto menor a carga mecânica solicitada, menor energia ativa consumida, conseqüentemente, menor o fator de potência.

- **Motores super dimensionados**

Este é um caso particular do anterior, cujas conseqüências são análogas. Geralmente os motores são super dimensionados, apresentando um potencial de conservação de energia.

É muito comum o costume de substituição de um motor por outro de maior potência, principalmente nos casos de manutenção para reparos que, por acomodação, a substituição transitória passa a ser permanente, não se levando em conta que um super dimensionamento provocará baixo fator de potência.

- **Transformadores operando em vazio ou com pequenas cargas**

Analogamente aos motores, os transformadores, operando em vazio ou com pequenas cargas, consomem uma quantidade de energia reativa relativamente grande, quando comparada com as energias ativas, provocando um baixo fator de potência.

- **Transformadores super dimensionados**

É um caso particular do anterior onde transformador de grande potência são utilizados para alimentar, durante longos períodos, pequenas cargas.

- **Nível de tensão acima da nominal**

Tensão superior à nominal, quando aplicada aos motores de indução, há o aumento do consumo de energia reativa e, portanto, diminui o fator de potência.

- **Lâmpadas de descarga**

As lâmpadas de descarga (vapor de mercúrio, vapor de sódio, fluorescentes, etc.) para funcionarem necessitam do auxílio de um reator. Os reatores, como os motores e os transformadores, possuem bobinas ou enrolamentos que consomem energias reativas, contribuindo para a redução do fator de potência das instalações.

A utilização de reatores de alto fator de potência pode contornar, em parte, o problema de baixo fator de potência da instalação.

- **Grande quantidade de motores de pequena potência**

A grande quantidade de motores de pequena potência provoca baixo fator de potência, uma vez que o correto dimensionamento desses motores às máquinas a eles acopladas é dificultoso, ocorrendo freqüentemente o super dimensionamento dos mesmos.

5.2 Conseqüências para a Instalação

Uma instalação operando com baixo fator de potência apresenta os seguintes inconvenientes:

- incremento das perdas de potência;
- flutuações de tensão, que podem ocasionar a queima de motores;
- sobrecarga da instalação, danificando-a ou gerando desgaste prematuro;

- aumento do desgaste nos dispositivos de proteção e manobra da instalação elétrica;
- aumento do investimento em condutores e equipamentos elétricos sujeitos a limitação térmica de corrente;
- saturação da capacidade dos equipamentos, impedindo a ligação de novas cargas;
- dificuldade de regulação do sistema.

5.3 Métodos de Correção do Fator de Potência

A correção do fator de potência deverá ser cuidadosamente analisada e não resolvida de forma simplista, já que isto pode levar a uma solução técnica e economicamente não satisfatória. É preciso critério e experiência para efetuar uma adequada correção, lembrando que cada caso deve ser estudado especificamente e que soluções imediatas podem não ser as mais convenientes. De modo geral, quando se pretende corrigir o fator de potência de uma instalação surge o problema preliminar de se determinar qual o melhor método a ser adotado. Independente do método a ser adotado, o fator de potência ideal, tanto para os consumidores como para a concessionária, seria o valor unitário (1,0), que significa inexistência da energia reativa no circuito. Entretanto, esta condição nem sempre é conveniente e, geralmente, não se justifica economicamente. A correção efetuada até o valor de 0,95 é considerada suficiente. A seguir abordaremos os métodos utilizados na prática e que poderão servir como modelo para a orientação de cada caso específico.

- **Alteração das condições operacionais ou substituição de equipamentos**

As primeiras medidas que se deve aplicar para correção de baixo fator de potência são aquelas relacionadas as condições operacionais e características dos equipamentos, observadas nas descrições das principais causas de sua ocorrência.

- **Correção por Capacitores Estáticos**

A correção do fator de potência através de capacitores estáticos constitui a solução mais prática em geral adotada.

Entretanto, alguns cuidados devem se tomados, para que os capacitores não sejam usados indiscriminadamente.

Podem os capacitores, em princípio, ser instalados em quatro pontos distintos do sistema elétrico:

- a) Junto às grandes cargas indutivas (motores, transformadores, etc.)
- b) No barramento geral de Baixa-Tensão (BT)
- c) Na extremidade dos circuitos alimentadores
- d) Na entrada de energia em Alta-Tensão (AT)

Para cada situação deve ser estudada qual a melhor alternativa. Em geral, no caso de motores, a opção é instalar o capacitor próximo da carga, no iremos analisar no item 5.3.1. No que se refere ao dimensionamento dos bancos de capacitores, isto é, na determinação, ao da potência reativa em VAr a ser instalada de modo a corrigir o fator de potência, verifica-se que tal problema não é suscetível de uma solução imediata e simples. Cada problema exige um estudo individual e tem uma solução própria. Os comentários a seguir têm caráter geral e servem para orientar a solução dos casos particulares, quanto ao melhor local para instalação dos capacitores.

- a) Junto às grandes cargas indutivas

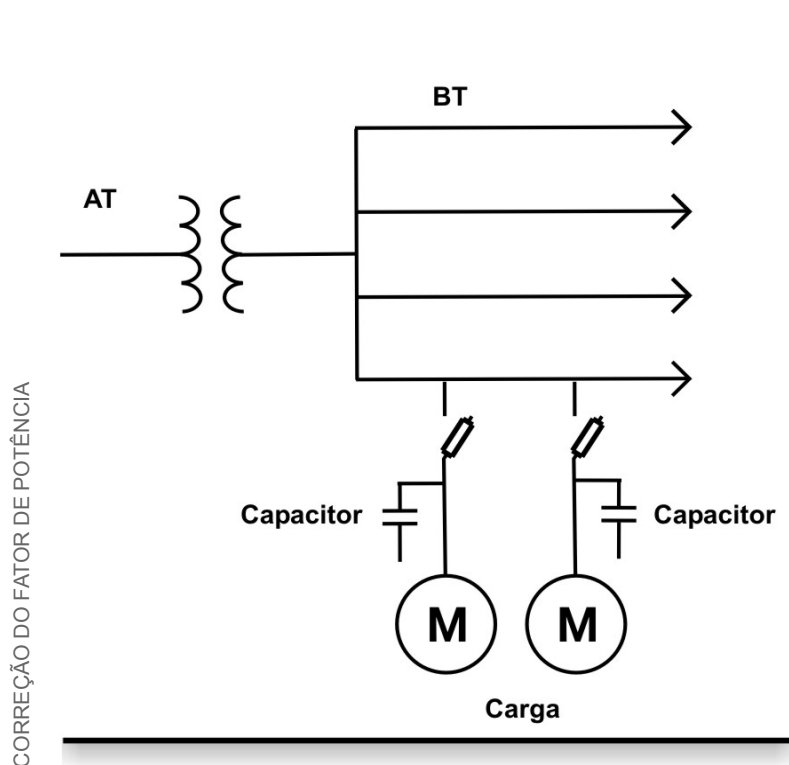


Figura 5.1
Junto às grandes
cargas indutivas.

Uma das vantagens dessa opção é que este tipo de instalação alivia todo o sistema elétrico, pois a corrente reativa vai do capacitor às cargas sem circular pelo transformador, barramentos, circuito alimentador, etc. Sendo ambos, capacitor e carga, os elementos comandados pela mesma chave, não se apresenta o risco de haver, em certas horas, excesso ou falta de potência reativa, além do que, obtém-se uma redução no custo da instalação pelo fato de não ser necessário um dispositivo de comando e proteção em separado para o capacitor. Por essas razões a localização dos capacitores junto a motores, reatores etc. é uma das soluções preferidas para a correção do fator de potência.

b) No barramento geral de baixa-tensão

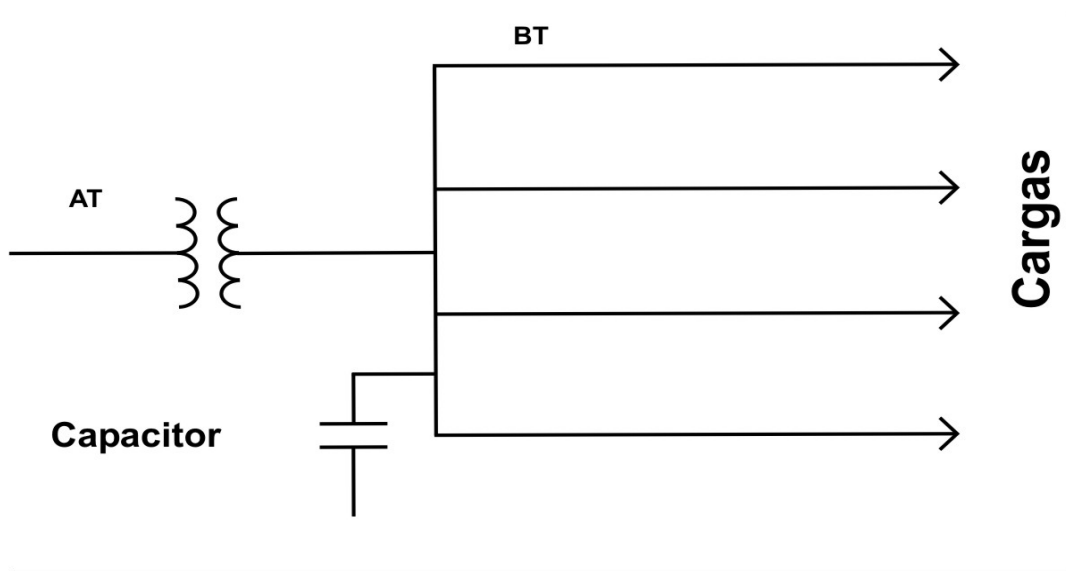


Figura 5.2

No barramento Geral de Baixa-Tensão

A vantagem dessa ligação é que se pode obter apreciável economia, usufruindo a diversidade de demanda entre os circuitos alimentadores, uma vez que a potência reativa solicitada pelo conjunto da instalação é menor que a soma das potências reativas de todo o conjunto. Neste tipo de ligação de capacitores, haverá necessidade de ser instalada uma chave que permite desligá-los quando o consumidor finda suas atividades diárias. Não o fazendo,

CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

poderão ocorrer sobretensões indesejáveis que, provavelmente, causarão danos as instalações elétricas.

c) Na extremidade dos circuitos alimentadores

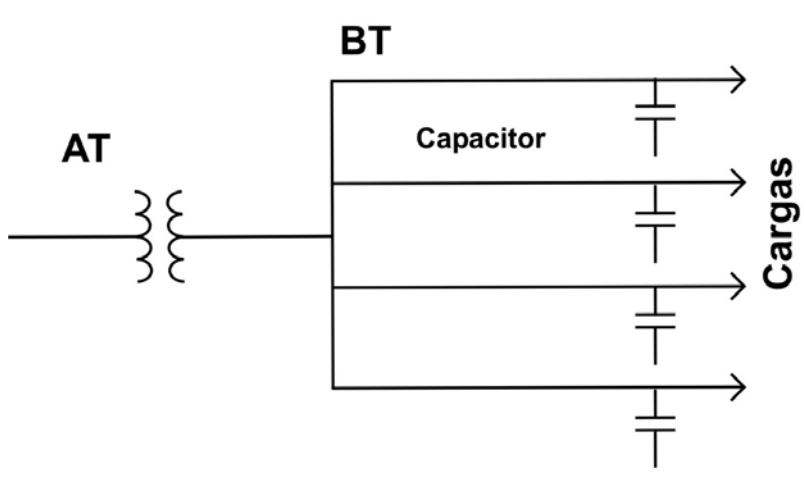


Figura 5.3
Na extremidade dos circuitos alimentadores

A instalação na extremidade dos circuitos representa uma solução intermediária entre as localizações (A) e (B). Este método aproveita a diversidade entre as cargas supridas, embora o investimento seja superior ao da alternativa anterior. Por outro lado, fica aliviado também o circuito alimentador. É utilizada, geralmente, quando o alimentador supre uma grande quantidade de cargas pequenas, onde é conveniente a compensação individual.

d) Na entrada de energia em alta-tensão (AT)

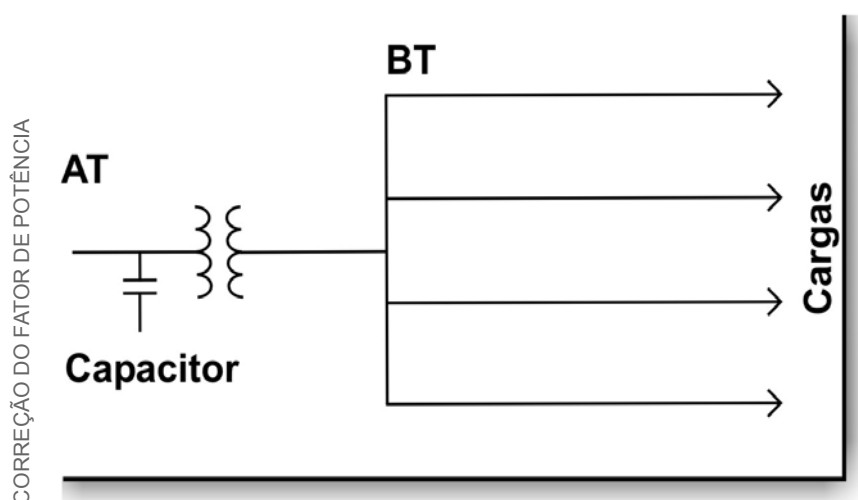


Figura 5.4
Na entrada de energia em Alta-Tensão

CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Não é muito usual a instalação do lado da alta tensão.

Tal localização não alivia nem mesmo os transformadores, e exige dispositivos de comando e proteção aos capacitores com isolação para tensão primária, embora o preço por VAr dos capacitores seja menor para maiores tensões. Neste caso a diversidade da demanda entre as subestações pode redundar em economia na quantidade de capacitores a instalar.

5.3.1 Correção do fator de potência de motores de indução

Como foi visto, mesmo a plena carga, o fator de potência $\cos \varphi$ é indutivo, não ultrapassando a 0,90 nos casos mais favoráveis. Sendo assim, sempre circulará pelos condutores alimentadores e transformadores uma parcela adicional a corrente ativa, provocando perdas ôhmicas adicionais. Dessa forma, é aconselhável, para se minimizarem as perdas de energia elétrica, a correção do fator de potência dos motores através da instalação de capacitores junto aos mesmos para aqueles de potência nominais iguais ou superiores a 1 HP.

A forma tecnicamente mais adequada de correção do fator de potência de um motor é a instalação de capacitores nos seus terminais.

Para casos em que o capacitor tenha de ser manobrado pela mesma chave do motor, a potência capacitiva (kVAr) a ser instalada não deve exceder à potência solicitada pelo motor em vazio, a fim de evitar eventuais inconveniências de sobretensão após a abertura da chave.

Quando não se tiver o valor da componente reativa da corrente em vazio de um motor, deve-se seguir a Tabela 5.1, que relaciona as máximas potências recomendadas de capacitores em função das potências nominais dos motores de indução. Para motores de rotor bobinado, a Tabela também pode ser aplicada, multiplicando-se os valores da potência dos capacitores por 1,1.

As Figuras 5.5 a 5.9 mostram como instalar capacitores junto a motores manobrados pelas mesmas chaves de acionamento.

Tabela 5.1

Correção do fator de potência de motores a indução em função da sua potência nominal

Potência do Motor (HP)	Velocidade Síncrona do motor (r.p.m.) e número de pólos											
	3600		1800		1200		900		720		600	
	2	4	6	8	10	12	kvar	%I	kvar	%I	kvar	%I
3	1,5	14	1,5	15	1,5	20	2	27	2,5	35	3,5	41
5	2	12	2	13	2	17	3	25	4	32	4,5	37
7,5	2,5	11	2,5	12	3	15	4	22	5,5	30	6	34
10	3	10	3	11	3,5	14	5	21	6,5	27	7,5	31
15	4	9	4	10	5	13	6,5	18	8	23	9,5	27
20	5	9	5	10	6,5	12	7,5	16	9	21	12	25
25	6	9	6	10	7,5	11	9	15	11	20	14	23
30	7	8	7	9	9	11	10	14	12	18	16	22
40	9	8	9	9	11	10	12	13	15	16	20	20
50	12	8	11	9	13	10	15	12	19	15	24	19
60	14	8	14	8	15	10	18	11	22	15	27	19
75	17	8	16	8	18	10	21	10	26	14	32,5	18
100	22	8	21	8	25	9	27	10	32,5	13	40	17
125	27	8	26	8	30	9	32,5	10	40	13	47,5	16
150	32,5	8	30	8	35	9	37,5	10	47,5	12	52,5	15
200	40	8	37,5	8	42,5	9	47,5	10	60	12	65	14
250	50	8	45	7	52,5	8	57,5	9	70	11	77,5	13
300	57,5	8	52,5	7	60	8	65	9	80	11	87,5	12
350	65	8	60	7	67,5	8	75	9	87,5	10	95	11
400	70	8	65	6	75	8	85	9	95	10	105	11
450	75	8	67,5	6	80	8	92,5	9	100	9	110	11
500	77,5	8	72,5	6	82,5	8	97,5	9	107,5	9	115	10

(1) Máxima potência capacitiva recomendada.

(2) Redução percentual de corrente da linha, após a instalação dos capacitores recomendados.

Para motores a indução ligados em tensão de 2.000 V a 4.000 V, a Tabela 5.2 indica valores das potências dos capacitores em função das potências nominais dos motores.

Tabela 5.2

Correção do fator de potência para motores ligados em tensão 2.000V a 4.000V.

Potência do Motor (HP)	Velocidade Síncrona do motor (r.p.m.) e número de pólos											
	3600 2		1800 4		1200 6		900 8		720 10		600 12	
	kvar	%I	kvar	%I	kvar	%I	kvar	%I	kvar	%I	kvar	%I
100	20	7	25	10	25	11	25	11	30	12	45	17
125	30	7	30	9	30	10	30	10	30	11	45	15
150	30	7	30	8	30	8	30	9	30	11	60	15
200	30	7	30	6	45	8	60	9	60	10	75	14
250	45	7	45	5	60	8	60	9	75	10	90	14
300	45	7	45	5	75	8	75	9	75	9	90	12
350	45	6	45	5	75	8	75	9	75	9	90	11
400	60	5	60	5	60	6	90	9	90	9	90	10
450	75	5	60	5	75	6	90	8	90	8	90	8
500	75	5	75	5	90	6	120	8	120	8	120	8
600	75	5	90	5	90	5	120	7	120	8	135	8
700	90	5	90	5	90	5	135	7	150	8	150	8
800	90	5	120	5	120	5	150	7	150	8	150	8

5.3.1.1 Esquemas de ligação de bancos de capacitores de baixa tensão junto a motores de indução

Os bancos capacitivos em baixa tensão são, via de regra, empregados em redes trifásicas com ligação triângulo. Essa ligação é efetuada internamente aos mesmos, apresentando três terminais acessíveis externamente.

Para casos em que os capacitores sejam ligados junto aos motores e manobrados pela mesma chave, deve-se obedecer aos seguintes esquemas de ligação:

a) Para pequenos motores com rotor em curto-circuito (tipo gaiola, copo, etc.) que partam com uma chave comum, o capacitor deve ser ligado aos terminais da chave, conforme Figura 5.5.

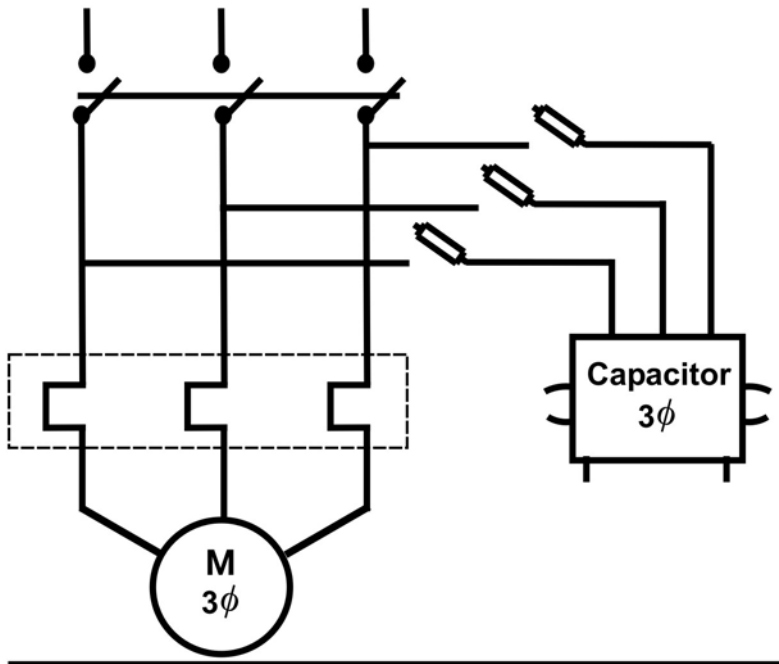


Figura 5.5
Correção do fator de potência em motores tipo gaiola de baixa potência

b) Para motores de rotor bobinado, que partam com uma chave comum, o capacitor deve ser ligado como mostrado na Figura 5.6.

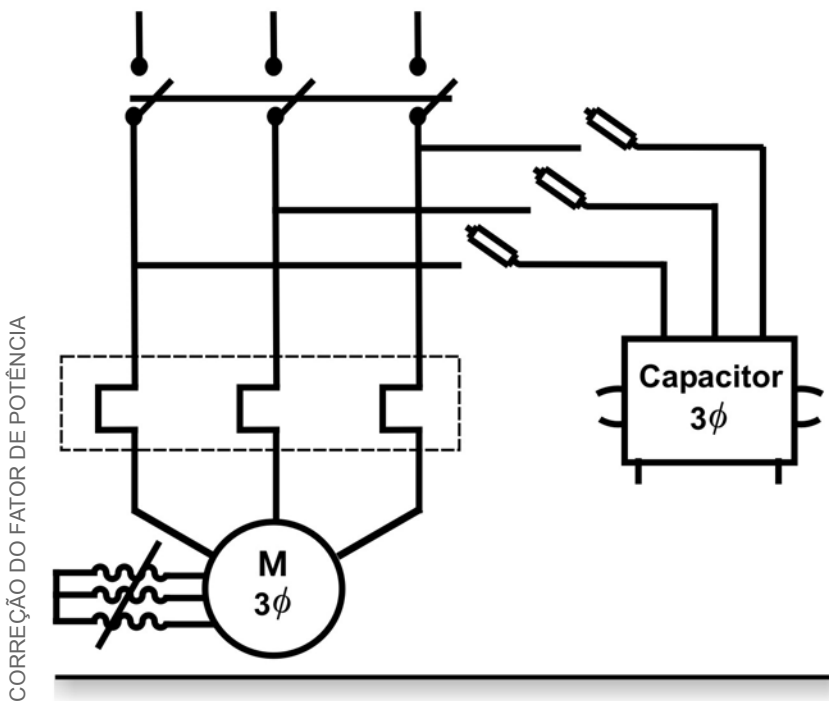


Figura 5.6
Correção do fator de potência em motores de rotor bobinado

c) Para motores de rotor em curto-circuito, de potência até 10 HP, e que partam com chave estrela-triângulo, o capacitor deve ser ligado aos terminais do motor, de tal forma que desde a partida sejam ligados, em conjunto, à rede. Para potências de motores superiores a 10 HP, desde que a chave estrela-triângulo seja automática, pode ser usado o esquema mostrado na Figura 5.7.

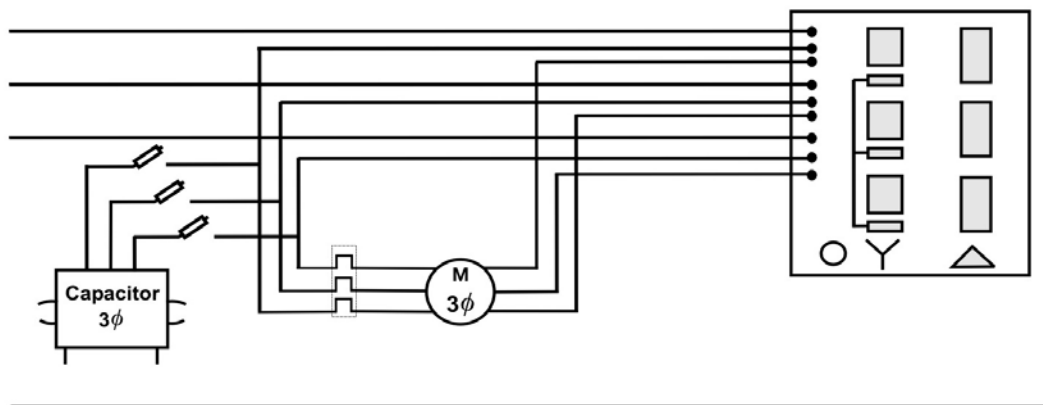


Figura 5.7

Correção do fator de potência em motores de rotor em curto-circuito com potência até 10HP.

d) Para motores de rotor em curto-circuito, de potência nominal superior a 10 HP, que partam com chave estrela-triângulo do tipo que retire momentaneamente o contato com a rede, devem-se usar três capacitores monofásicos, cada um em paralelo com um enrolamento do motor. Com isso se consegue maior durabilidade da chave e dos capacitores. A Figura 5.8 apresenta um esquema típico dessa natureza.

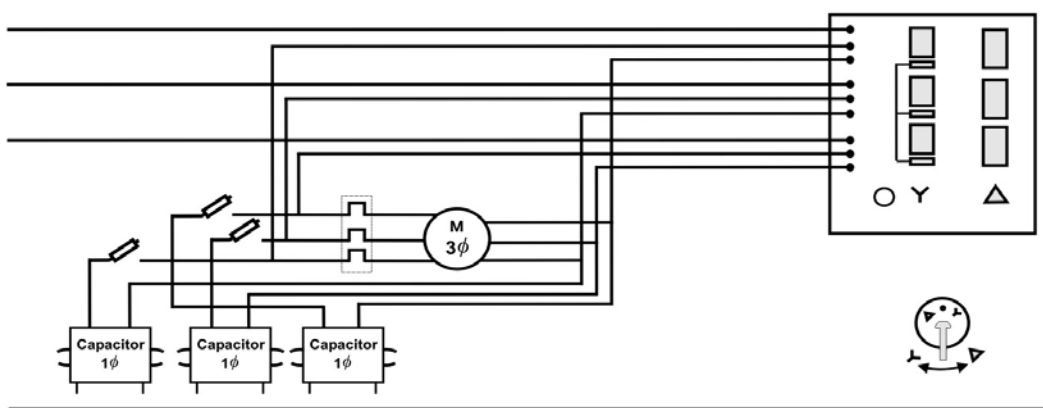


Figura 5.8

Correção do fator de potência em motores de rotor em curto-circuito, com potência nominal superior a 10HP.

e) Para motores com chave compensadora, o capacitor deve ser ligado aos terminais de saída da chave do motor, como sugerido na Figura 5.9.

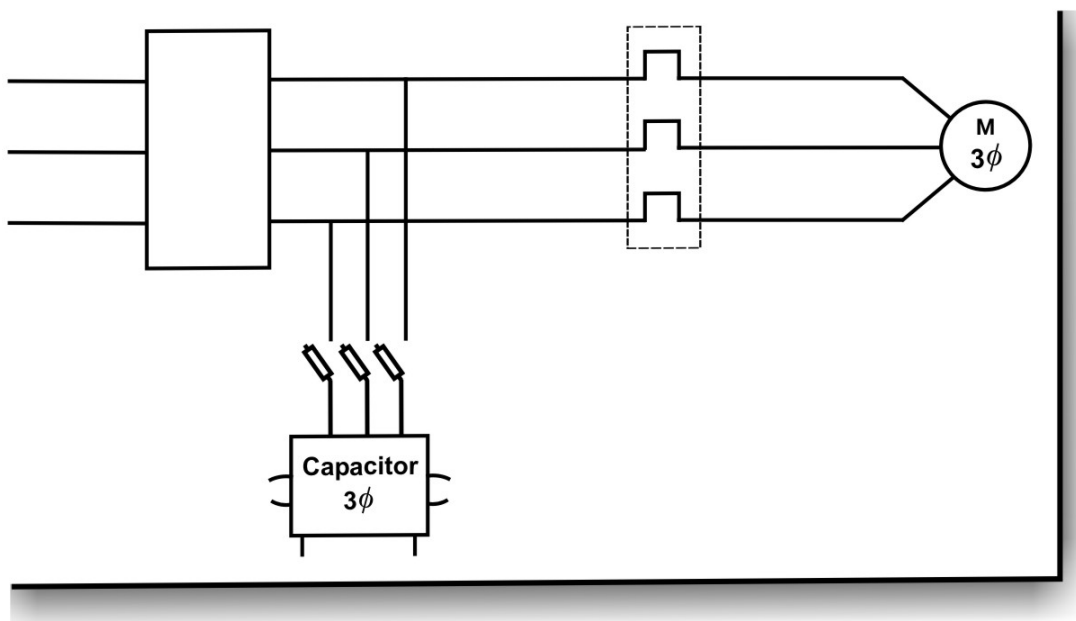


Figura 5.9
Correção do fator de potência para motores que utilizem chave compensadora.

6. CONTROLE DE DEMANDA

A demanda de potência representa um valor considerável nas despesas com energia elétrica das indústrias ligadas em tensão igual ou superior a 13,8 kV, principalmente daquelas faturadas pela estrutura horo-sazonal. Operar uma indústria com a menor demanda possível, sem prejudicar a produção, representa um dos objetivos da utilização racional de energia elétrica. Por outro lado, uma indústria faturada por tarifa horo-sazonal tem que operar de tal forma que a demanda solicitada se situe dentro de uma estreita faixa, para que a demanda contratada seja bem aproveitada, bem como não ultrapasse a tolerância prevista em contrato. Para atender a essas duas condições a demanda de potência deve ser supervisionada e controlada.

6.1 Conceito de Demanda de Potência

A demanda de potência elétrica solicitada por uma indústria é de 15 minutos e não a potência instantânea, como muitos imaginam. Como a energia elétrica é medida em kWh e quinze minutos representam um quarto de uma hora, a demanda de potência solicitada, em um determinado intervalo de 15 minutos, é numericamente igual ao consumo de energia neste intervalo multiplicado por quatro. Se, por exemplo, o consumo de energia elétrica, em 15 minutos, for de 100 kWh, a demanda de potência solicitada neste intervalo será igual a 400 kW.

Por esse motivo, para medir as demandas de potência a cada 15 minutos, a concessionária de energia elétrica mede a energia elétrica consumida nestes períodos de tempo.

Os chamados controladores de demanda acompanham o consumo de energia elétrica a cada 15 minutos, não permitindo que este ultrapasse um valor pré-determinado como ótimo, desligando cargas elétricas escolhidas antecipadamente.

6.2 Programação de Cargas Elétricas

O primeiro passo para a redução da demanda é a implantação de um controlador de demanda e o estabelecimento de uma programação de cargas elétricas. Por programação de cargas elétricas entende-se um planejamento rígido de funcionamento das máquinas elétricas de uma indústria, procurando escalonar o seu funcionamento ao longo da jornada de trabalho e dos períodos horo-sazonais. A obtenção da curva de carga de um dia típico de operação da indústria contribui sobremaneira para uma boa programação de cargas.

6.3 Controladores Automáticos de Demanda

Como já foi visto, controlar automaticamente a demanda de potência de uma indústria significa supervisionar, através de um sistema automático, as potências médias de 15 minutos solicitadas do sistema elétrico da concessionária, de tal forma que estas não ultrapassem um valor predeterminado como ótimo.

Atualmente, existem no mercado aparelhos controladores de demanda de diversos tipos, desde os mais simples aos mais sofisticados, que são verdadeiros computadores e que, além de controlarem a demanda, desempenham outras funções de controle e supervisão.

A escolha do aparelho depende do sistema de controle e supervisão adequado para cada caso específico. Portanto, antes de se definir qual aparelho controlador deve ser instalado em uma determinada indústria, é fundamental que seja elaborado um projeto para se verificar o tipo mais conveniente.

6.4 Projeto para se Instalar um Sistema Controlador de Demanda em uma Indústria

O primeiro passo antes de se iniciar o projeto propriamente dito é implantar a melhor programação de cargas possível, principalmente quando a indústria é faturada por tarifa horo-sazonal.

Após a implantação da programação de cargas, deve-se fazer um levantamento das máquinas e equipamentos elétricos que possam ser desligados, por um determinado período de tempo (poucos minutos), sem causar transtornos à produção.

Com as potências de operação das máquinas escolhidas e seus respectivos tempos máximos em que podem ficar desligadas, pode-se estimar a redução máxima de demanda de potência a ser conseguida.

Exemplo:

Considere-se uma indústria que apresente uma demanda máxima mensal de 500 kW, em média, e que possua três máquinas que possam ser desligadas por alguns minutos sem causar problemas a sua produção, e sejam os seguintes os valores de potência de operação e tempos em que cada uma pode permanecer desligada:

- máquina 1 - 130 kW e 5 minutos
- máquina 2 - 50 kW e 3 minutos
- máquina 3 - 120 kW e 2 minutos

A redução máxima da demanda é calculada por:

$$R_{\max} = \frac{(130 \times 5 + 50 \times 3 + 120 \times 2)}{15} = 70 \text{ kW}$$

A demanda mínima que pode ser conseguida com a instalação de um sistema controlador de demanda é:

$$D_m = 500 \text{ kW} - 70 \text{ kW}$$

$$D_m = 430 \text{ kW}$$

Em seguida, devem ser analisadas as demandas solicitadas em um mês típico de produção e selecionados alguns valores de demanda registrados, desde que sejam iguais ou superiores a 430 kW. Deve-se, depois, verificar o que aconteceria se fossem escolhidos como viáveis de controlar.

Estudar valor por valor e optar por aquele que não provoque um acionamento excessivo do controlador, para não causar transtorno à produção.

Recomenda-se escolher, para se iniciar o controle, um valor mais alto e reduzi-lo gradativamente até se atingir um nível ótimo.

Exemplo:

Seja uma empresa que, em um mês típico, apresentou uma demanda de potência máxima mensal igual a 4.400 kW.

Os equipamentos, suas potências de operação e períodos de tempo máximos em que podem permanecer desligados estão na Tabela 6.1.

Tabela 6.1

Parâmetros operacionais

Equipamento	Potência de operação	Tempo desligado
Fornos	1.300 kW	5 min
Prensas	500 kW	3 min
Compressores	800 kW	2 min

A redução máxima da demanda é:

$$R_{\max} = \frac{(1300 \times 5 + 500 \times 3 + 800 \times 2)}{15} = 640 \text{ kW}$$

$$D_{\min} = 4400 \text{ kW} - 640 \text{ kW} = 3.760 \text{ kW}$$

Analisando as demandas de valores superiores a 3.760 kW ocorridas no mês típico, foram encontrados os valores 3.802 kW, 3.888 kW, 3.970 kW e 4.060 kW.

Com esses números montou-se a Tabela 6.2, que mostra o número de vezes em que as demandas reais ultrapassaram os valores acima mencionados.

Pelo quadro, deduz-se que os melhores valores a serem adotados, de tal forma que não provoquem muitos desligamentos nos equipamentos, são 3.970 kW e 4.060 kW. Para se iniciar o controle é aconselhável que se parta de 4.060 kW, passando-se a seguir para 3.970 kW.

Tabela 6.2

Número de vezes em que as demandas reais ultrapassaram as demandas escolhidas como ideais em um mês típico

Data	Demandas ideais (kW)			
	3802	3888	3970	4060
24/05	7	5	2	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	6	0	0	0
29	6	1	0	0
30	6	2	0	0
31	18	12	8	7
01/06	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	2	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	2	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	3	2	0	0
11	16	9	1	9
12	15	5	3	0
13	20	16	9	3
14	3	1	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	1	0	0	0
18	11	2	1	0
19	8	0	0	0
20	21	17	10	6
21	33	26	9	6
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	7	3	1	0
25	7	4	0	0
Total	194	105	44	22

Data da Ocorrência da Demanda Máxima - 31/05.

A Figura 6.1 mostra o sistema de controle de demanda escolhido que, em resumo, é o seguinte:

- as cargas desligáveis foram divididas em três blocos:
 - os fornos
 - as prensas e
 - os compressores
- quando o consumo ultrapassar o valor preestabelecido, os primeiros equipamentos a serem desligados são os fornos;
- se, com o desligamento dos fornos, o consumo não atingir valor aceitável, os segundos a serem desligados são as prensas;
- e, por último, os compressores, por serem os mais essenciais à produção.

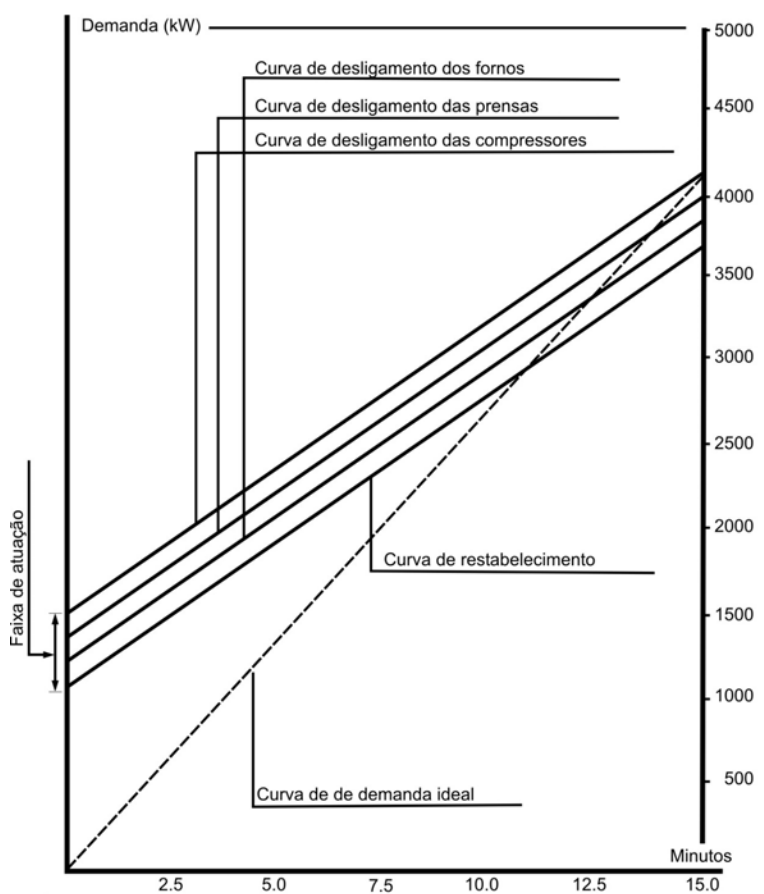


Figura 6.1
Sistema controlador adotado

7. ADMINISTRAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Atualmente, a conservação de energia deve constituir um dos objetivos de qualquer indústria bem administrada. Neste sentido, inúmeras providências são necessárias, como a introdução de medidas operacionais e administrativas, o estabelecimento de parâmetros de acompanhamento e controle, etc.

Neste Capítulo abordaremos os principais pontos para uma boa administração do consumo de eletricidade, envolvendo desde o projeto, construção e implantação da planta industrial, até a sua operação, controle e programação da produção, controle de qualidade, etc.

7.1 Projeto e Construção da Planta Industrial

O projeto e a construção de uma planta industrial devem contemplar os aspectos de conservação de energia. No projeto arquitetônico, a ventilação e a iluminação naturais serão aproveitadas intensamente, de modo a minimizar o dispêndio de energia nessas aplicações.

No projeto elétrico, devem-se escolher com cuidado o nível de tensão de alimentação das máquinas e equipamentos, a localização dos transformadores próximos aos centros de carga, o dimensionamento dos condutores, observando as recomendações da norma brasileira, etc., de modo a minimizar as perdas na distribuição de energia elétrica.

A escolha das máquinas e dos equipamentos deve levar em conta a eficiência energética, dando preferência aos modelos que apresentam menores perdas ou menor consumo específico para realizar a mesma tarefa.

7.2 Programação e Controle da Produção

A programação da produção é uma das atividades operacionais de uma indústria que mais enseja a conservação de energia elétrica, em particular nas empresas que são faturadas pelas tarifas horo-sazonais, pois para esses casos é muito interessante a redução do consumo de energia e da demanda de potência nos períodos de tarifas mais elevadas.

Uma programação da produção bem elaborada significa, automaticamente, economia de energia elétrica, pois as máquinas operatrizes e os sistemas de utilidade são mais bem aproveitados, os picos produtivos, atenuados, etc. Por isso, ela deve ser aprimorada de tal maneira que: as máquinas e os equipamentos elétricos operem o mais próximo possível de sua capacidade nominal; sua produção seja, dentro das possibilidades, contínua; as operações que mais requeiram energia elétrica ocorram nos

períodos de tarifas mais baixas, etc. O consumo de eletricidade deve ser considerado como uma variável importante na elaboração de uma programação da produção.

7.3 Especificação do Produto

As especificações técnicas dos produtos fabricados, em regra, foram elaboradas na época em que a energia era barata e abundante. Sendo assim, quase sempre, a aplicação de energia em um produto não era uma variável importante na sua especificação, o que gerou, em alguns casos, excesso de consumo de energia. Por outro lado, muitas especificações são antigas e, às vezes, ultrapassadas.

Quando se especifica um determinado produto, o consumo direto ou indireto de energia deve ser levado em conta, assim como a escolha dos materiais a serem aplicados.

Portanto, uma das ações de conservação de energia em uma indústria é reavaliar as especificações técnicas de seus produtos, com o intuito de verificar a possibilidade da redução do consumo de energia para produzi-la.

7.4 Aprimoramento dos Processos Produtivos

Da mesma forma que as especificações dos produtos, os processos produtivos foram desenvolvidos, na sua grande maioria, quando a energia não representava um item importante nos custos. Sendo assim, os processos devem ser revistos e reavaliados quanto ao consumo de energia.

Antes de iniciar os estudos para alteração ou, mesmo, eliminação de um processo, atentemos para as perguntas abaixo:

- Por que estamos fazendo isso dessa maneira?
- Pode ser feito de forma diferente?
- Para se fazer isso precisamos de toda essa quantidade de energia?
- Fazer isso é realmente necessário?
- Se as respostas não forem convincentes, devem ser iniciados estudos para se alterar ou diminuir o processo.

Exemplo:

Após ser produzida, uma determinada peça era lavada com água quente e em seguida era seca por ar quente proveniente de um soprador com resistências elétricas.

Analisando-se o processo, verificou-se ser desnecessária a secagem das peças pelo soprador de ar quente, pois, devido ao calor nelas acumulado durante a lavagem, elas secavam naturalmente no transporte para o almoxarifado. Dessa forma o soprador de ar quente foi desativado.

7.5 Qualidade do Produto Fabricado

O aprimoramento de processos e controles que conduzem a uma melhor qualidade do produto fabricado é uma forma indireta de se conservar energia, pois, se a qualidade melhora, o índice de rejeição no controle de qualidade diminui e com isso se reduz a quantidade de energia agregada aos refugos.

7.6 Automação

A automação na indústria é comumente vista como uma técnica para se obter aumento de produtividade e redução da mão-de-obra na fabricação de um determinado produto. Na verdade, os objetivos da automação de um processo envolvem também a melhoria da qualidade do produto, a redução da quantidade de matéria-prima a ele agregada, a redução do consumo de energia, etc. Além da redução do consumo energético obtida diretamente pela automação, as outras vantagens apontadas acima também contribuem nesse sentido, pois um processo mais produtivo, do qual resulta um produto de melhor qualidade, exige menos matéria-prima, o que reduz o consumo específico de energia.

7.7 Manutenção

O planejamento, a programação e a execução da manutenção são atividades operacionais muito importantes em uma indústria. Se executadas adequadamente, um dos resultados positivos, sob o aspecto técnico, é a conservação de energia.

O funcionamento das máquinas, equipamentos e instalações fora de suas condições normais é uma das conseqüências de uma manutenção precária e provoca, ordinariamente, consumo excessivo de energia. Uma máquina operatriz desajustada, com lubrificação deficiente, e às vezes até com peças defeituosas, solicita uma potência do motor elétrico muito superior àquela requerida se a máquina estivesse em perfeitas condições de conservação, provocando um gasto considerável de energia.

Além disso, um sistema de ar comprimido com manutenção precária geralmente apresenta vazamentos, excessiva perda de carga, etc., trazendo como conseqüência desperdício de energia elétrica.

7.8 Comissão Interna de Conservação de Energia - CICE

7.8.1 Introdução

Este capítulo foi preparado para prestar suporte técnico às Comissões Internas de Conservação de Energia (CICE) da indústria e comércio de forma geral.

7.8.2 Programa interno de conservação de energia

Antes de se tomar qualquer iniciativa ou ação visando a economia de energia em uma empresa ou órgão público, torna-se necessária a implantação de um programa interno de conservação de energia.

A importância do estabelecimento do programa se prende ao fato de que qualquer ação isolada tende a perder o seu efeito ao longo do tempo, por melhores resultados que apresente. Desta forma torna-se necessário o engajamento de todos os empregados/funcionários, buscando um objetivo comum, através do esforço coletivo. Por outro lado, um programa de conservação de energia exige iniciativa e criatividade, além de ações que demandem mudanças de hábito, que é um obstáculo a ser vencido, através da própria resistência natural a mudanças, dificultando ainda mais a implantação das medidas propostas. Para contornar esses problemas de implantação, o programa interno de conservação de energia deve mostrar claramente a intenção da administração de racionalizar e otimizar o consumo de energia. Sua elaboração deve ser resultado do esforço dos diversos setores envolvidos com participação de todos os empregados. O programa interno de conservação visa a otimizar a utilização de energia através de orientações, direcionamento, ações e controles sobre os recursos econômicos, materiais e humanos, para a relação CONSUMO/PRODUTO, reduzindo os índices globais e específicos da quantidade de energia necessária para obtenção do mesmo resultado.

7.8.3 Aspectos administrativos

A alta administração deverá estabelecer objetivos claros e apoiar a implantação do programa, enfatizando a sua necessidade e importância, aprovando e estabelecendo metas a serem atingidas ano a ano, efetuando um acompanhamento rigoroso, confrontando os resultados obtidos com as metas previstas, analisando os desvios e propondo medidas corretivas em casos de distorções, além de providenciar revisões periódicas e oportunas nas previsões estabelecidas. Um programa de conservação de energia para obter o êxito efetivo terá que atentar para os seguintes aspectos devendo ser:

- **escrito:** é natural que muitas instruções e ordens sejam transmitidas oralmente na jornada diária, mas para uma ação contínua e de ampla repercussão é recomendável dar instruções por escrito;
- **concreto:** o programa não pode se construir somente de intenções, mas sim de ações concretas e específicas;
- **justificado:** em especial as ações que demandem mudanças de hábitos, devem ser justificadas, para serem melhor aceitas;
- **quantificado economicamente:** um diagnóstico energético resultará em números, indicando quantidade de energia envolvida, bem como seus valores e custos. Assim, as metas previstas para cada ação devem ser quantificadas e valorizadas;
- **com responsabilidade definidas:** cada uma das ações deve ter responsáveis diretos, pois o programa exige a atuação de pessoal afeto a todos os setores. Devem ser definidos responsáveis locais, cabendo a administração uma supervisão global;
- **comprometido em objetivos:** um programa tímido em objetivos obterá resultados pobres. A efetiva redução de energia exige iniciativa, criatividade e compromissos;
- **revisado periodicamente:** em função das inovações tecnológicas e de novas circunstâncias, o programa deve ser dinâmico;
- **participando em todos os níveis:** ninguém dentro da empresa deve ficar alheio ao programa de conservação de energia. Tanto no processo da sua elaboração, como no seu desenvolvimento, deve haver participação de todos;
- **divulgados seus resultados:** devem ser divulgados periodicamente os resultados obtidos, comparando-os com situações anteriores e de certa forma incentivando os responsáveis diante do quadro de pessoal da empresa.

7.8.4 Orientações gerais

O Programa de Conservação de energia deve ser iniciado por uma campanha de conscientização, cujo êxito depende do cuidado com os seguintes aspectos:

- **importância como política de administração:** conseguida com reuniões dos diversos setores, difusão de nota informativa explicando as razões da campanha, a importância da energia e o papel que cabe a cada um na redução do consumo. A própria administração deve iniciar a campanha com certa solenidade;
- **a campanha deverá compreender basicamente os seguintes instrumentos de comunicação:** cartazes, faixas, adesivos, manuais, notícias em jornais internos;
- **distribuição de listas de recomendações gerais para reduzir o consumo**, tais como: desligar máquinas e aparelhos que não estejam sendo usados, apagar luzes de ambientes desocupados, etc.;
- **chamada à iniciativa individual** para que cada empregado possa contribuir atuando e fazendo sugestões;
- **convocação para um concurso que estimule sugestões;**
- **difusão de informações**, em particular de exemplos concretos que resultaram em sucesso;
- **implantação do programa**, sem necessidade de responsabilizar as ineficiências ou incapacidade de situações anteriores.

7.8.5 Criação da CICE

Para a coordenação do programa interno de conservação de energia toma-se mais fácil a implantação de uma CICE - COMISSÃO INTERNA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.

Esta comissão terá o encargo de propor, implementar e acompanhar as medidas efetivas de conservação de energia, bem como controlar e divulgar as informações mais relevantes.

Devem ser consideradas, para implementar e gerenciar o Programa Interno de Conservação de Energia, as seguintes atribuições básicas:

- promover análise das potencialidades de redução de consumo de energia;
- em função dessa análise, estabelecer metas de redução;
- acompanhar o faturamento de energia elétrica e divulgar os resultados alcançados, em função das metas que forem estabelecidas;

- gerenciar o fator de carga de forma a obter o melhor preço médio possível de energia;
- gerenciar o fator de potências indutivo da instalação de forma que o mesmo resulte em valor mais próximo possível da unidade;
- determinar aos setores responsáveis por compras e serviços gerais que apliquem as recomendações constantes desta publicação e do Manual de Conservação de Energia em prédios públicos do PROCEL, principalmente no que diz respeito à aquisição de equipamentos e sistemas mais eficientes;
- designar agentes ou coordenadores para atividades específicas relativas à conservação de energia;
- estabelecer índices e comparativos visando subsidiar os estudos de conservação de energia;
- estabelecer gráficos e relatórios gerenciais visando subsidiar o acompanhamento do programa e tomada de decisões.

Com as atribuições supracitadas, a CICE poderá empreender as seguintes ações:

- controle do consumo específico de energia por setores e/ou sistemas;
- controle e avaliação dos planos de distribuição e recuperação de energia;
- análise dos resultados, visando a melhoria das deficiências;
- realização de cursos específicos para o treinamento e capacitação do pessoal;
- avaliação anual dos resultados e proposição de programa para o ano subsequente;
- promover alterações nos sistemas consumidores de energia visando conservação desta energia;
- divulgação dos resultados e ajuste das metas e objetivos.

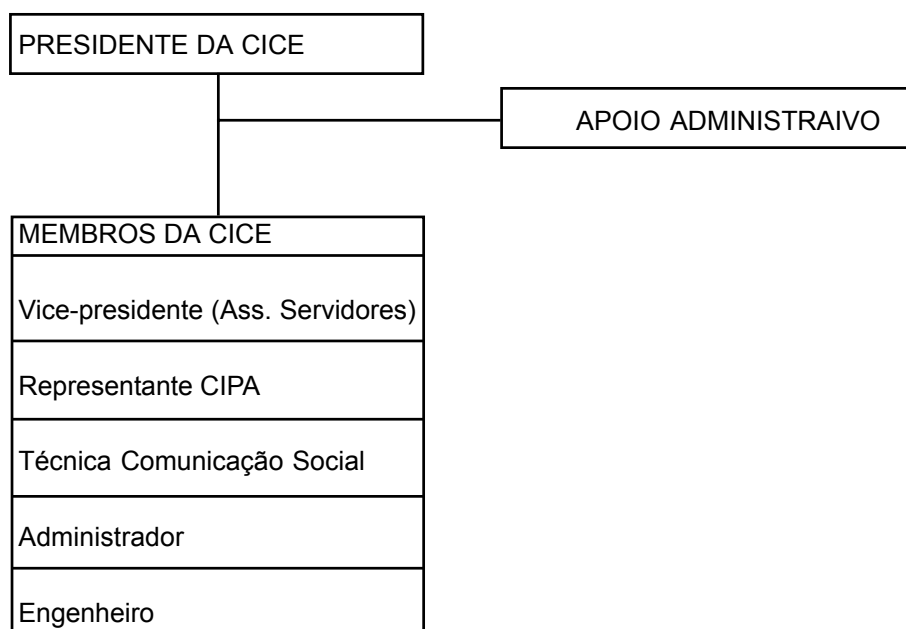
7.8.5.1 Estrutura da CICE

Como sugestão para o funcionamento da CICE, a administração poderá adotar a seguinte estrutura:

A presidência deve ser exercida preferencialmente por um engenheiro que possua conhecimentos de conservação de energia e deverá estar ligado funcionalmente à alta administração.

7.8.5.2 Operacionalização da CICE

O decreto nº 99656, de 26 de outubro de 1990, estabelece as regras básicas de funcionamento da CICE. Apresentamos a seguir algumas sugestões que poderão auxiliar na obtenção de resultados:



- 1) As ações de conservação de energia, geralmente, numa primeira fase, não exigem recursos para a obtenção de resultados, bastando atuar a nível gerencial, combatendo os desperdícios. O responsável pela CICE procurará negociar com a alta administração para que os recursos obtidos pela redução de despesas advindas dos resultados positivo das ações de conservação sejam alocados em rubrica especial para serem obrigatoriamente aplicados, sob a gerência da CICE, em projetos de conservação de energia na própria unidade administrativa.

- 2) Na segunda fase, e considerando que, na maioria dos casos, a CICE ao ser implantada não dispõe de recursos ou dotação orçamentária, haverá necessidade de definição de valores orçamentários que permitirão a implantação mais rápida de ações de conservação que resultem na melhoria da eficiência energética com os conseqüentes ganhos econômicos.
- 3) Durante os primeiros meses, adotar medidas administrativas eficazes, sendo dada atenção inclusive às pequenas economias que somadas devem proporcionar uma economia global significativa de energia.
- 4) Com os sucessos progressivos das medidas de conservação de energia adotada e as respectivas economias obtidas, será possível criar um orçamento próprio para os custeios e os investimentos necessários.
- 5) Após a credibilidade necessária, a CICE poderá apresentar, propor e obter da alta administração a aprovação de recursos para projetos de investimentos, maiores que a sua própria receita, desde que demonstrada a sua viabilidade e economicidade.

7.8.5.3 Atribuições da CICE

- a) Participar de licitações que envolvam consumo de energia

É importante a participação da CICE na elaboração das especificações técnicas para projetos, construção e aquisição de bens e serviços que envolvam consumo de energia, assim como das conseqüentes licitações.

É fundamental orientar e subsidiar as comissões de licitação para que as aquisições sejam feitas considerando-se também a economicidade do uso, avaliado pelo cálculo do custo - benefício ao longo da vida útil equipamentos e sistemas e não somente pela comparação do investimento inicial.

- b) Diagnóstico energético

Para conhecer o desempenho energético das instalações é necessário realizar, com certa periodicidade, um diagnóstico que permita verificar as condições de operação dos diferentes equipamentos. Os consumos previstos dos equipamentos podem ser obtidos através de informações de fabricantes e análise das instalações. Outra maneira é comparar o consumo dos diversos equipamentos similares, tais como ar condicionado, bombas, etc., com as mesmas potências e características de operação existentes nos diversos setores.

c) Análise do custo da energia

Uma vez conhecidos os horários de funcionamento dos diversos equipamentos por setor, pode-se avaliar o custo aproximado do uso de energia elétrica para cada equipamento ou sistema, utilizando-se a expressão a seguir. O item 7.8.6.5 indica como calcular a conta de energia elétrica.

$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{\text{Potência (W)} \times \text{horas uso diário} \times \text{dias do mês}}{1.000}$$

$$\text{Custo Mensal (R\$)} = \text{Consumo total (kWh)} \times \text{preço médio kWh (Pm)}$$

Obs.: Avaliar se o equipamento ou sistema funciona no horário de ponta, quando o sistema tarifário for horo-sazonal.

Da análise, calcula-se, em percentagem, a participação de cada equipamento, tanto em kWh quanto em reais, no consumo global. O resultado dará uma primeira idéia dos pontos que devem merecer maior atenção na tentativa de redução de gastos, observando o fato de que nem sempre os equipamentos que apresentarem maior participação no consumo global serão os passíveis das primeiras ações, não só pelas possíveis dificuldades nas alterações, como pelos investimentos necessários para tal.

Em alguns casos, a simples mudança no horário do funcionamento de determinados procedimentos e equipamentos como é o caso dos horários de limpeza, horário de funcionamento do ar condicionado, etc. já reduz, em reais, o custo do uso de energia.

d) Proposição de medidas de conservação de energia

Do diagnóstico energético e da análise do custo de energia resultarão medidas corretivas a serem tomadas que podem ser implantadas em função de um cronograma de ações, programadas pela CICE.

e) Conscientização e motivação dos empregados

Um programa de conservação de energia, fruto da gestão energética, só terá resultados positivos caso haja motivação de todos os empregados da empresa, conscientização do pessoal e treinamento que garantam a correta execução do programa. A motivação do pessoal pode ser conseguida de

folhetos, cartazes, slogans, adesivos, conferências, concursos, visitas, etc. Reuniões periódicas com o pessoal, para mantê-lo informado do desenvolvimento do programa e dos resultados obtidos, servem de estímulo, tomando o programa uma causa de todos.

Com o objetivo de estabelecer uma unidade na comunicação, de modo que a mensagem da conservação de energia possa chegar com maior eficiência ao público, alinhamos os pontos básicos da filosofia a ser desenvolvida.

CONSERVAÇÃO NÃO É

Para que se tenha claramente definido o sentido da CONSERVAÇÃO, vamos deixar claro, em primeiro lugar, aquilo que CONSERVAÇÃO não é:

- conservação não significa racionamento.
- conservação não implica perda de qualidade de vida, conforto e segurança proporcionados pela energia elétrica.
- conservação não compromete a produtividade ou desempenho da produção nas aplicações industriais, comerciais, agropecuárias ou de órgãos públicos;
- conservação não é atitude mesquinha de economia ou poupança.

CONSERVAÇÃO É

- conservação é uma nova atitude, uma forma de usufruir tudo que a energia elétrica pode proporcionar.
- conservação é eliminar desperdícios. Este é o primeiro passo para conservar energia, ou seja, não jogá-la fora.
- conservação é consumo racional. É ter em mente que, ao utilizar energia, devemos gastar apenas necessário, buscando o máximo de desempenho com o mínimo de consumo.
- conservação são atitudes modernas, aplicadas no mundo desenvolvido como medida lógica e consciente de utilização de energia.

Porque Conservação

- maximiza os investimentos já efetuados no sistema elétrico.
- reduz custos para o país e para o consumidor.

- ampliam, no tempo, os recursos renováveis e não renováveis ainda disponíveis.
- contribui, decisivamente, para minorar os impactos ambientais.
- induz à modernização industrial.
- melhora a competitividade Internacional dos produtos fabricados no Brasil, tanto em nível de produtos de consumo como de bens duráveis.
- enfatiza valores fundamentais, especialmente em um país em desenvolvimento, que não pode desperdiçar seus recursos, com ênfase para a energia elétrica, intensiva em capital.
- obtendo-se um bom conhecimento do processo, dos usos finais, e com treinamento adequado nos recursos humanos para a operação e manutenção correta dos equipamentos, será possível influenciar positivamente na redução do consumo de energia.

É necessário que o pessoal adquira o grau de formação e conhecimento adequado à sua função, a começar por aqueles que mais podem influir na economia de energia por operarem com equipamentos de maior consumo. Assim, pode haver necessidade de se ministrar desde cursos de informação básica, até cursos de aperfeiçoamento profissional.

7.8.5.4 Necessidade de pequenos investimentos

Vencida a primeira etapa, quando todas as ações de gerenciamento e administração de energia tiverem sido implantadas, haverá necessidade de implantação de ações que impliquem treinamento ou modificações de hábitos, tais como:

- manutenção de equipamentos;
- manutenção na operação de equipamentos.

A determinação a que são submetidos os equipamentos elétricos, seja pelo próprio uso, por negligência ou obsolescência, faz com que seu desempenho fique comprometido durante sua vida útil. Para evitar tais deficiências, é necessária a implantação de um programa de manutenção elétrica. Além disso, existem situações em que se torna impraticável manter um gerenciamento constante dos recursos humanos, visando a operação adequada dos equipamentos.

Uma das soluções possíveis para contornar problemas como destes casos, será através de instalação de equipamentos e dispositivos de controles automáticos ou temporizados.

Dentro desta diretriz, as áreas de compras, especificações, engenharia, manutenção, administração e serviços gerais também deverão ser conscientizadas, motivadas e engajadas no programa, pois, a médio prazo, sem este envolvimento o programa fatalmente tende a perder o seu efeito já implantado.

7.8.5.5 Necessidade de investimentos significativos

- troca de equipamentos;
- adoção de inovações tecnológicas;
- mudanças da arquitetura ou projetos.

Uma análise indispensável para se definir o conjunto de medidas a serem tomadas na tentativa de redução de consumo de energia é a do valor dos investimentos que podem ser nulos ou requerem tempo para amortização e retorno. A análise levará a um quadro de prioridades com relação a quanto, onde e como investir.

Por exemplo:

A decisão quanto a troca de equipamentos como substituição de lâmpadas por outras mais eficientes, aquisição de bomba de calor, etc. só pode ser tomada como consequência de estudo de viabilidade técnico-econômica.

Dentro deste universo podemos citar as alterações das construções, modificações da arquitetura, aquisição de equipamentos mais eficientes ou modernização das instalações, modificação total ou parcial do processo de trabalho, etc.

7.8.6 Gestão energética

Antes de iniciar qualquer ação de economia de energia elétrica é necessário que se conheça de que forma a energia é consumida. Para isso, acompanhe o consumo de energia elétrica, mantendo um registro cuidadoso. Os dados mensais e históricos periódicos são de grande importância para a execução de qualquer programa de conservação de energia, podendo ser extraídos de sua conta de energia elétrica.

Esses dados poderão fornecer informações preciosas que subsidiarão tomadas de decisões sobre como identificar os equipamentos que mais consomem energia, bem como analisar seu desempenho e programas diários, semanais e mensais, trazendo resultados mais compensadores, reduzindo os seus custos operacionais.

7.8.6.1 Acompanhamento do consumo de energia elétrica

Procure organizar em uma tabela as informações mensais de consumo e demanda de energia elétrica obtidos diretamente das contas mensais apresentadas pelas concessionárias.

Procure sempre observar se um determinado aumento de consumo corresponde a um aumento de trabalho. Esta iniciativa possibilita identificar a ocorrência de consumos de energia desnecessários em determinados períodos.

Convém lembrar que os equipamentos de maior potência geralmente são os maiores consumidores de energia elétrica. No item referente à análise de demanda deste manual, apresentamos uma sugestão para a elaboração de uma tabela para análise do comportamento das cargas através de uma listagem dos equipamentos.

7.8.6.2 Consumo por setores

A CICE poderá estabelecer o acompanhamento da energia por setores de consumo individuais, como, por exemplo, a administração, o centro de Processamento de Dados, o almoxarifado, o pátio, elevadores, cozinhas, escritório central, etc. É muito importante elaborar as tabelas de consumo dos diversos equipamentos separadamente para os diferentes setores. Normalmente, um programa de conservação de energia deve ter estratégias diferentes, visando a redução nos consumos setoriais e centrais, procurando, inicialmente, identificar os problemas que, solucionados, tragam resultados imediatos. Isto é conseguido quando se atua sobre os setores centrais de consumo de energia.

Exemplo:

O sistema de ar condicionado e o sistema de iluminação seriam os primeiros a serem analisados.

Durante o acompanhamento e controle do consumo de energia, poderemos definir alguns índices ou parâmetros que servirão de indicadores

comparativos. Entre eles, podemos citar:

a) Consumo específico

O primeiro estágio é o conhecimento de índices de consumo específicos globais. Por exemplo, esse consumo específico seria a quantidade de energia necessária ao funcionamento de um prédio com escritórios de um órgão público dividido pela área em metros quadrados deste quadrados deste prédio (kWh/m²).

Ao se comparar os consumos específicos de atividades semelhantes podemos observar se o desempenho energético é satisfatório ou identificar qual deles apresenta desempenho pior, necessitando de uma análise mais detalhada.

Em seguida, sempre que for possível, devemos estabelecer índices de consumo específico para os principais utilizadores de energia, como por exemplo, o sistema de ar condicionado, o sistema de iluminação, etc.

b) Potencial de economia

Através da comparação entre os parâmetros teóricos e medidas de um determinado sistema de equipamento, poderemos definir o potencial de economia teórico a ser perseguido.

c) Outros indicadores

Em função da necessidade de cada CICE poderão ser estabelecidos uma série de parâmetros ou gráficos visando facilitar o gerenciamento da energia, tais como: gráficos de balanço energético, curvas características, sazonalidades, coeficientes de eficiência, etc.

7.8.6.3 Análise de demanda

O exemplo de tabela sugerido a seguir possibilita a análise da influência na demanda pela operação dos equipamentos, bem como nos oferece parâmetros para efetuar algum tipo de controle.

Para seu preenchimento, basta preparar a tabela, levando em conta os horários reais de operação, procurando anotar os equipamentos a partir daqueles de maior potência, para os de menor. Na quadrícula dos horários, basta preencher com um símbolo qualquer, visto que o valor da potência já está anotado em separado. Os equipamentos deverão ser relacionados um

a um, exceto nos casos onde houver um conjunto que funcione simultaneamente.

Tabela 7.1

ITEM	QUANT. EQUIP.	POTÊNCIA (kW)	HORARIO DE FUNCIONAMENTO											
			00	01	02	03	04	05	06	07	...	24		
		TOTAL												

Com o uso da tabela anterior, será possível identificar e visualizar cada equipamento ou sistema existente, com seu respectivo horário de funcionamento, tornando-se bastante fácil estudar eventuais deslocamentos, desligamentos ou simultaneidades de operação, de modo a tentar deslocar os picos de demanda.

Por outro lado, através de um gráfico, tomando como eixos a somatória de todas as potências em que atuam simultaneamente em cada hora de operação, e no outro eixo as horas reais de um funcionamento da empresa, será possível visualizar o comportamento da demanda.

7.8.6.4 Fator de carga

O fator de carga é um índice que informa se estamos de maneira racional a energia que se consome. O fator de carga varia de 0 (zero) a 1 (um), mostrando a relação entre o consumo de energia e a demanda de potência, dentro de um determinado espaço de tempo.

a) Tarifação convencional

Quando sua energia elétrica é faturada através do método convencional, por definição, adota-se que o tempo mensal em que a energia elétrica fica à disposição é de 24 horas por dia durante o mês.

Isto representa que o número médio de horas do período durante o ano é de 730 horas por mês. Assim sendo, a fator de carga (FC) é calculado pela fórmula a seguir:

$$FC = \text{fator de carga mensal} = \frac{\text{consumo mensal (kWh)}}{\text{demanda (kWh)} \times 730}$$

Exemplo:

Se com tarifação convencional, consome 28.000 kWh, com uma demanda máxima medida de 185 kWh, seu fator de carga mensal é:

$$FC = \frac{28.000 \text{ kWh}}{185 \text{ kWh} \times 730} = 0,21$$

b) Tarifação horo-sazonal (tarifa verde)

Quando sua energia elétrica é faturada pela tarifa verde o tempo médio mensal que a energia fica disponível continua sendo as 730 horas, conforme comentado no item anterior. Por outro lado, para esse tipo de faturamento sabemos que o custo de energia varia de função da sua utilização no período seco ou úmido, bem como no período de ponta e fora de ponta.

Para tornar possível o cálculo do fator de carga convencionou-se que no período de ponta o tempo médio mensal que a energia fica disponível é de 66 horas por mês. Conseqüentemente, o tempo médio que a energia fica disponível do horário fora de ponta é de 664 horas por mês. Para calcular o seu fator de carga, utilize o número de horas resultantes existentes em cada segmento (66h para a ponta e 664h para fora de ponta). Desta forma, podemos calcular os dois fatores de carga. O fator de carga na ponta (FCp) e o de fora da ponta (FCfp), através das seguintes fórmulas:

$$FC_p = \frac{\text{consumo mensal na ponta}}{\text{demanda medida(kW)} \times 66}$$

$$FC_{fp} = \frac{\text{consumo mensal fora da ponta}}{\text{demanda medida(kW)} \times 664}$$

7.8.6.5 Tarifas de energia elétrica

Os valores das tarifas de energia elétricas são definidos por portarias publicadas no Diário Oficial da União e sempre que são alteradas têm ampla divulgação pela imprensa. Sugere-se que as CICE's as mantenham arquivadas, para consultas e cálculos de economicidade de suas ações.

A conta de energia elétrica é calculada levando-se em consideração o consumo (kWh) e a demanda (kW). A tarifa de consumo é aplicada diretamente sobre a quantidade de energia ativa medida (a que produz trabalho) que é expressa em kWh, durante um período médio de 30 dias. A tarifa de demanda

é aplicada levando-se em conta a potência que é colocada à disposição do consumidor e as condições contratuais para o fornecimento da energia.

No Brasil, existem 3 estruturas tarifárias em vigor, ou seja, três maneiras de calcular a conta de energia elétrica. São chamadas de: Tarifa Convencional, Tarifa Azul e Tarifa Verde. A Companhia de Eletricidade que atende a cada cidade tem condições de orientar as CICE's para esclarecimento mais completo dos sistemas tarifários e respectivas legislações.

Para orientar as análises de custo x benefício de ações de conservação neste trabalho, indicamos a maneira de calcular a conta de energia elétrica pela Tarifa Convencional e pela Tarifa Verde, que são os casos mais comuns em Órgãos Públicos.

a) Tarifa convencional

- CONSUMO de Energia (kWh)
- F_c (R\$) = Consumo medido (kWh) x tarifa de consumo (R\$/kWh)
- F_c = valor do consumo
- DEMANDA de Energia (kW)
- F_d (R\$) = Demanda (kW) x tarifa de demanda (R\$/kW)
- F_d = valor de demanda

Demanda = ao maior valor das seguintes:

- 1) Demanda Contratada
- 2) demanda medida
- 3) 85% da maior demanda medida nos últimos 11 meses.

O valor da conta será:

$$\text{Conta em R\$} = F_c + F_d$$

Obs.: Não foi considerado eventual ajuste por baixo fator de potência.

b) Tarifa verde

A TARIFA VERDE, como a AZUL, é chamada de tarifas horo-sazonais porque apresentam valores diferentes para períodos do dia e para períodos do ano.

Pela TARIFA VERDE, são estabelecidos os seguintes valores:

- **Demanda de Potência (kW)**

a) Preço único

- **Consumo de Energia**

a) Preço para ponta em período úmido (TCp)

b) Preço para ponta em período seco (TCps)

c) Preço para fora de ponta em período úmido (TCfpu)

d) Preço para fora de ponta em período seco (TCfps)

Obs.:

a) Considera-se período úmido os meses de dezembro a abril, e período seco os restantes.

b) Para saber o horário de ponta de sua unidade consumidora, entrar em contato com sua concessionária de energia elétrica.

DEMANDA

$Fd (R\$) = \text{Demanda (kW)} \times \text{tarifa demanda (R\$/kW)}$

Fd - valor da demanda

Demanda = ao maior valor dos seguintes

- 1) demanda contratada
- 2) demanda medida

CONSUMO

$Fc (R\$) = Cp (kWh) \times TCp (R\$/kWh) + CFp (kWh) \times TCFp (R\$/kWh)$

Fc - Valor do consumo

Cp - Consumo na ponta

Cfp - Consumo fora da ponta

Obs.:

Verificar, em função da época do ano, quando a Tarifa de Consumo deve ser a correspondente ao período úmido ou ao período seco.

Valor da Conta

Conta em R\$ = Fd + Fc

Obs.:

Não foi considerado eventual ajuste por baixo fator de potência.

7.8.6.6 Influência do fator de carga.

Quanto maior for o fator de carga menor será o preço médio da energia elétrica e, portanto devemos analisá-lo melhor.

$$\text{Fator de Carga} = \frac{\text{Consumo (kWh)}}{730 \times \text{Demanda (kW)}}$$

O que ocasiona valores baixos de fator de carga é a concentração de cargas em determinados períodos. A seguir, relacionam-se alguns fatores que conduzem a esses valores baixos:

- equipamentos de grande potência, operando a plena carga somente algumas horas do período de utilização, funcionando com carga reduzida ou sendo desligados nos demais períodos;
- cargas de grande porte ligadas simultaneamente;
- curtos-circuitos e fugas de corrente;
- falta de programação para utilização de energia.

A concentração de cargas funcionando em um mesmo horário um baixo fator de carga, uma demanda elevada, é conseqüentemente o que provoca maior carregamento dos transformadores de equipamentos e cabos de maior capacidade.

A melhoria do fator de carga, além de diminuir as despesas com energia consumida, conduz a um melhor aproveitamento e aumento da vida útil de toda a instalação elétrica, inclusive de motores e equipamentos, e a uma otimização dos investimentos nas instalações.

Lembramos que quando o sistema de tarifação for horo-sazonal (azul ou verde), os fatores de carga do período de ponta e fora de ponta devem ser analisados separadamente e procurando transferir carga da ponta para fora de ponta.

O aumento do fator de carga pode ser conseguido através de medidas que, na sua maioria, não implicam investimentos.

Estão relacionadas, a seguir, algumas delas.

- selecione e re programe os equipamentos e sistemas que possam operar fora do horário de maior demanda da instalação, fazendo um cronograma de utilização de seus equipamentos elétricos, anotando a capacidade e o regime de trabalho de cada um, através de seus horários de funcionamento;
- evite partidas simultâneas de motores que iniciem operação com carga;
- diminua, sempre que possível, a operação simultânea dos equipamentos;
- verifique se a manutenção e a proteção da instalação elétrica e dos equipamentos são adequadas, de modo a se evitar a ocorrência de curtos-circuitos e fugas de corrente.

7.8.6.7 Tabela de acompanhamento

Sugere-se a seguir, um exemplo de tabela para o acompanhamento mensal dos valores da conta de energia elétrica e que permitirá uma análise do consumo ou do consumo específico quando comparado ao do mês do ano anterior.

É conveniente, portanto preencher uma tabela com os valores do ano anterior, para tornar possível uma comparação mais imediata.

Tabela 7.2

TABELA DE ACOMPANHAMENTO

Ano _____

Órgão ou Entidade: _____ Endereço: _____ CEP: _____

Código da conta/referência: _____ Demanda contratada: _____

Área Ocupada _____ m² Tensão Fornecimento: _____ Volts

Período		Consumo (kWh)		Demanda (kWh)		Fator de Potência	Consumo Específico kWh m ²
Mês	Data da Leitura	Fora da Ponta	Ponta	Medida	Faturada		

ADMINISTRAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

8. Referências Bibliográficas

Para a elaboração deste Manual foram consultadas/utilizadas as seguintes publicações:

Economia de Energia Elétrica na Indústria – Usos Clássicos; Agência para Aplicação de Energia do Governo do Estado de São Paulo - 1986.

Manual de Conservação de Energia Elétrico na Indústria – Alta Tensão; ELETROBRAS / PROCEL – 1988.

Manual de Conservação de Energia Elétrica – CICE; ELETROBRAS / PROCEL – 1991.

Conservação de Energia Elétrica na Indústria – Faça você mesmo – Volume I Orientações Técnicas; ELETROBRAS / PROCEL – 1993.

Resolução ANEEL nº 456 de 29 de novembro de 2000

Material de Treinamento para Gestores/Auditores em Eficiência Energética; ministrado por Prof. Dr. Eng. José Wagner Maciel Kaehler; COPEL – 2004.

Site do Instituto Nacional de Eficiência Energética, <http://www.inee.org.br>, - 12/2004.

Site do Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL, software de avaliação MARK IV, <http://www.procel.gov.br/procel/site/downloads>, - 12/2004.

A

Acompanhamento e Análise do Consumo.....	9
Administração do Consumo de Energia Elétrica.....	117
Ajuste de Fator de Potência.....	6
Aprimoramento dos processos produtivos.....	118
Aspectos Administrativos.....	120
Automação dos processos produtivos.....	119

B

Baixo Fator de Potência.....	99
Bomba de Calor.....	76
Bombeamento de Água.....	83

C

Caldeiras Elétricas Tipo Eletrodo Submerso.....	72
Caldeiras Elétricas Tipo Jato de Água.....	72
Caldeiras Elétricas Tipo Resistência.....	72
Características de um Bom Sistema de Iluminação.....	42

CICE

Acompanhamento do Consumo de Energia Elétrica.....	130
Análise de Demanda.....	131
Atribuições.....	125
Comissão Interna de Conservação de Energia.....	120
Consumo por Setores.....	130
Criação.....	122
Estrutura.....	124
Fator de Carga.....	132
Influência do Fator de Carga.....	136
Introdução.....	120
Investimento Significativos.....	129
Operacionalização.....	124
Orientações Gerais.....	121
Tabela de Acompanhamento.....	137

Circuitos de Distribuição.....	18
Conceito de demanda de potência.....	111
Conseqüências para a Instalação.....	100
Conservação de energia durante o aquecimento do material.....	69
Conservação de energia nas operações anteriores ao aquecimento.....	67
Conservar Energia Elétrica na Iluminação.....	56
Conservar Energia.....	95
Consumo kWh.....	5
Controladores automáticos de demanda.....	112
Controle da velocidade do motor de ventiladores.....	94
Controle de Demanda.....	111
Correção do Fator de potência de Motores de Indução.....	105
Correção do Fator de Potência (métodos).....	101
Correção do Fator de Potência.....	99
Correntes de carga que circulam pelos condutores.....	29
Cuidados na manutenção.....	90

D

Demanda (kW).....	4
-------------------	---

E

Economia de energia na operação do forno.....	67
Energia Ativa e Energia Reativa.....	11
Energia durante o aquecimento do material.....	69
Escolha de um motor de indução.....	37
Especificação do produto.....	118
Esquemas de ligação de bancos de capacitores de baixa tensão junto a motores de indução.....	107
Estabelecimento de Índices de Consumo.....	9

Exemplos

Análise do quadro de prioridades.....	129
Consumo mensal.....	55
Consumo por setores.....	130

Fator de carga mensal.....	133
Fator de potência para motores de indução	36
Medidas de eficiência energética.....	147
Motor de indução trifásico.....	34
Motor trifásico operando a plena carga.....	28
Operação inadequada dos motores de indução.....	38
Ordem e grandeza fotométrica.....	45
Potência máxima mensal.....	118
Redução das perdas de energia no núcleo de um transformador.....	18
Redução das perdas nos enrolamentos.....	17
Redução máxima da demanda.....	113
Refletância do papel branco.....	45
Relação relação entre a energia transformada utilizada pela energia utilizada para realizar esta transformação.....	148
Resistência elétrica de um condutor.....	25
Rotação do eixo de um motor.....	12
Substituições de lâmpadas.....	93
Unidades fotométricas.....	43

F

Fator de potência de motores de indução.....	35
Fornecimento de Energia Elétrica.....	3
Fornos Elétricos, Estufas e Sistemas de Geração de Calor.....	62

Figuras

4.1 Alimentação de circuito de distribuição.....	14
4.2 Perdas de energia em transformadores.....	15
4.3 Instalação elétrica com transformador na entrada de energia elétrica.....	20
4.4 Circuito de distribuição com transformadores distribuídos próximos aos centros de carga.....	21
4.5 Circuitos de distribuição em instalações de grande porte.....	22
4.6 Esquema de alimentação de um motor de 100HP.....	28
4.7 Esquema alternativo para alimentação do motor de 100HP.....	29
4.8 Damper em ventiladores centrífugos.....	90

4.9 Sistema de pás ajustáveis para controle do fluxo de ar.....	91
4.10 Sistema típico de acoplamento ventilador - motor.....	91
5.1 Junto às grandes cargas indutivas.....	102
5.2 No barramento Geral de Baixa-Tensão.....	103
5.3 Na extremidade dos circuitos alimentadores.....	104
5.4 Na entrada de energia em Alta-Tensão.....	104
5.5 Correção do fator de potência em motores tipo gaiola de baixa potência.....	108
5.6 Correção do fator de potência em motores de rotor bobinado.....	108
5.7 Correção do fator de potência em motores de rotor em curto-circuito com potência até 10HP.....	109
5.8 Correção do fator de potência em motores de rotor em curto-circuito, com potência nominal superior a 10.....	109
5.9 Correção do fator de potência para motores que utilizem chave compensadora.....	110
6.1 Sistema controlador adotado.....	115

Fórmulas

Calculado o consumo mensal de energia (kWh/mês).....	55
Consumo mensal fora da ponta.....	133
Consumo mensal na ponta.....	133
Custo de energia.....	126
Determinação da nova velocidade do ventilador.....	92
Determinação do novo diâmetro da polia.....	92
Determinar a potência solicitada do motor.....	93
Fator de carga mensal.....	132
Fator de Potência.....	12
Perdas nos enrolamentos.....	16
Perdas ôhmicas ou perdas joule.....	22
Redução das perdas no transformador.....	17
Redução das perdas, em função da alteração do fator de potência.....	30
Relação das perdas.....	21
Rendimento de motores de indução.....	32
Resistência elétrica de um condutor.....	25

G

Gerador de acumulação (boiler).....	73
Gerador de passagem com acumulação.....	73
Gerador de passagem.....	73
Gerador Elétrico de Ar Quente.....	75
Geradores de Água Quente.....	73
Geradores de Vapor.....	71
Gestão Energética.....	129
Grupos Tarifários.....	3

Gráficos

4.1 Perdas em condutores por efeito joule (kW/km).....	23
4.2 Perdas em condutores por efeito joule (kW/km).....	23
4.3 Perdas em condutores por efeito joule (kW/km).....	24
4.4 Rendimento e fator de potência em função do carregamento do motor.....	32
4.5 Rendimento máximo de um motor em função da potência nominal.....	33
4.6 Coeficiente multiplicador de rendimento máximo em função do carregamento.....	33
4.7 Fator de potência a plena carga em função da potência nominal.....	36
4.8 Coeficiente multiplicador do fator de potência em função da carga.....	36
4.9 Redução da potência em função da redução da velocidade de um ventilador.....	94

I

Iluminação.....	42
Iluminância Recomendáveis.....	45
Instalações Elétricas.....	11

L

Linhas de Vapor no sistema de produção de calor.....	74
Luminárias e Difusores.....	53

M

Manutenção de motores elétricos.....	41
Manutenção dos Sistemas de Iluminação.....	58
Manutenção dos processos produtivos.....	119
Monitoramento do Consumo.....	10
Motores de indução visando o uso racional de energia elétrica.....	38
Motores Elétricos.....	31

P

Pequenos Investimentos.....	128
Perdas de Energia nos Equipamentos de Aquecimento.....	62
Perdas em um transformador.....	14
Perdas nas Instalações Elétricas.....	11
Perdas no núcleo.....	14
Perdas nos enrolamentos.....	14
Perdas ôhmicas devido às resistências elétricas dos componentes de um sistema da distribuição.....	24
Perdas ôhmicas em cabos condutores.....	24
Perdas ôhmicas em conexões elétricas.....	26
Programa Interno de Conservação de Energia.....	120
Programação de cargas elétricas.....	111
Programação e controle da produção.....	117
Projeto e construção da planta industrial.....	117
Projeto para se instalar um sistema controlador de demanda em uma indústria.....	112

Q

Qualidade do produto fabricado.....	119
-------------------------------------	-----

R

Reatores.....	51
Recomendações Básicas.....	96
Redução da velocidade dos ventiladores.....	91

Redução das perdas de energia no núcleo de um transformador.....	18
Redução das perdas devido às características construtivas dos fornos elétricos.....	63
Redução das perdas em transformadores.....	16
Redução das perdas nos enrolamentos pela elevação do fator de potência.....	16
Redução das perdas nos enrolamentos pela redistribuição das cargas entre os transformadores.....	17
Redução das perdas ôhmicas em condutores.....	27
Redução das perdas por medidas de conservação de energia.....	16
Redução do fluxo de ar no sistema de ventilação.....	91
Redução do fluxo de ar nos ambientes.....	90
Rendimento de motores de indução.....	32
Resistências dos condutores.....	27

S

Sistema Tarifário Convencional.....	5
Sistema Tarifário Horo-Sazonal.....	5
Sistemas de Ar Comprimido.....	86
Sistemas de Ar Condicionado e Ventilação.....	89
Sistemas de Produção de Calor.....	71
Sistemas de Refrigeração.....	76
Substituição de Lâmpadas.....	54

T

Tarifas de Energia Elétrica.....	5
Tarifas de Energia Elétrica.....	133
Tensão de alimentação de um motor.....	40
Tensões de Fornecimento.....	3
Tipos de Lâmpadas Usuais.....	47
Transformadores.....	12

Tabelas

4.1 Perdas em transformadores conforme Normas ABNT.....	15
4.2 Comparação de motores trabalhando com 75% e 30% de carregamento.....	37

4.3 Comparação entre a operação de um misturador a plena carga e três misturadores com carregamento parcial.....	40
4.4 Rendimento luminoso médio de algumas fontes de luz.....	44
4.5 luminâncias para cada grupo de tarefas visuais.....	46
4.6 Fatores determinantes da Iluminação adequada.....	46
4.7 Características das Lâmpadas Fluorescentes Compactas.....	48
4.8 Características das Lâmpadas.....	50
4.9 Aplicação dos vários tipos de Lâmpadas.....	51
4.10 Potência média de perdas em reatores para lâmpadas Fluorescentes.....	52
4.11 Potência média de perdas em reatores para lâmpadas a Vapor de Mercúrio / Vapor de Sódio.....	53
4.12 Problemas em Lâmpadas Incandescentes.....	58
4.13 Voltagens adequadas das Lâmpadas em Função da Voltagem da Concessionária.....	59
4.14 Conseqüências da Incompatibilidade das Voltagens da Lâmpada e da Concessionária.....	59
4.15 Problemas em Lâmpadas Fluorescentes.....	60
4.16 Problemas em Lâmpadas a Vapor de Mercúrio.....	61
4.17 Problemas em Lâmpadas a Vapor de Sódio a Alta Pressão.....	61
4.18 Características de Armazenamento de Produtos.....	82
4.19 Desperdício de água, por vazamento.....	84
4.20 Carga Térmica para Ar Condicionado.....	95
5.1 Correção do fator de potência de motores a indução em função da sua potência nominal.....	106
5.2 Correção do fator de potência para motores ligados em tensão 2.000V a 4.000V.....	107
6.1 Parâmetros operacionais.....	113
6.2 Número de vezes em que as demandas reais ultrapassaram as demandas escolhidas como ideais em um mês típico.....	114
7.1 Picos de demanda.....	132
7.2 Tabela de acompanhamento.....	137
Uso do Condensado.....	74
Unidades Fotométricas.....	43

