

Manuais Elektro de Eficiência Energética

Segmento Industrial

Uma publicação da Elektro - Eletricidade e Serviços S.A.,
dentro das ações do Programa de Eficiência Energética.

Publicação elaborada com base nos Manuais de Administração de Energia da Secretaria de Saneamento e Energia do Governo do Estado de São Paulo e nas publicações disponíveis no Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL/ELETROBRÁS.

Coordenação geral: PenseEco Consultoria

Projeto gráfico e editoração eletrônica: Casa Paulistana Comunicação & Design

Designers: Simone Zupardo Dias e Cleiton Sá

Preparação e revisão de texto: Temas e Variações Editoriais

Sumário

1. Introdução	4
2. Motores elétricos	7
2.1 Tipos de motores	10
2.2 Dimensionamento de motores	13
2.3 Utilização racional dos equipamentos	18
2.4 Motores de alto rendimento	20
2.5 Variadores de velocidade	22
2.6 Procedimentos de manutenção	24
2.7 Inversores de frequência	31
2.8 Dicas de economia e utilização	34
3. Ar-condicionado	41
3.1 Princípio de funcionamento	43
3.2 Operação de refrigeração	44
3.3 Operação de aquecimento	45
3.4 Cálculo de BTU	46
4. Ar comprimido	51
4.1 Economia de energia na produção e distribuição de ar comprimido	53
4.2 Utilização racional das instalações	54
4.3 Cuidados com a operação dos sistemas de secagem de ar	55
4.4 Eliminação de vazamentos e de outras fontes de desperdício	56
4.5 Método para avaliação dos vazamentos	58
4.6 Redução das perdas de carga	61
4.7 Aumento das seções das tubulações	62
4.8 Redução da pressão	63
4.9 Medidas a serem observadas quando da elaboração do projeto	64
4.10 Sugestões para identificar oportunidades no uso final	76



1. INTRODUÇÃO

O **Manual de Eficiência Energética em Sistemas Motrizes** traz importantes orientações sobre as técnicas que envolvem a utilização racional de energia elétrica nos motores, nos sistemas de condicionamento de ar e nos sistemas de ar comprimido.

A força motriz é um dos mais importantes usos finais da eletricidade. Suas aplicações passam por todos os setores da economia — dos equipamentos domésticos mais simples às máquinas de grandes complexos industriais.

No setor industrial, a força motriz tem particular importância devido à sua grande participação no consumo de eletricidade. Mesmo assim, é muito comum encontramos motores superdimensionados em operação, o que gera significativo desperdício de energia elétrica.

Não é só isso, mas também o uso inadequado dos motores é fator de desperdício, pois muitas vezes operam em vazio, ou seja, sem carga, ou são utilizados para o acionamento de sistemas de ar comprimido que apresentam problemas como vazamentos, ou de sistemas de condicionamento de ar que também são mal dimensionados ou mal utilizados.

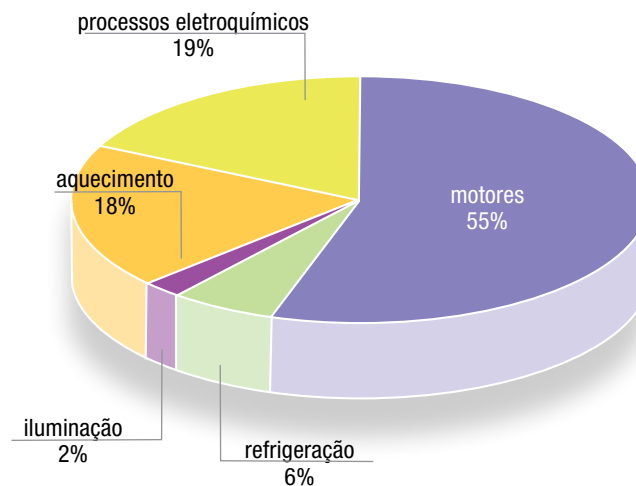
As informações aqui apresentadas têm o objetivo de orientar, cabendo ao responsável pela operação e manutenção uma avaliação criteriosa das possibilidades de implantação das medidas de racionalização do uso de energia, levando em consideração critérios técnicos e econômicos. Lembre-se de que, ao dimensionar e utilizar os sistemas de força motriz de forma adequada, o impacto nos custos operacionais e no meio ambiente pode ser reduzido significativamente.



2. MOTORES ELÉTRICOS

Grande parte do consumo de energia elétrica das indústrias, cerca de 55%, destina-se à alimentação de motores. Como as indústrias representam 50% do consumo

de energia nacional, os motores são responsáveis por aproximadamente 25% do consumo da energia elétrica distribuída no Brasil.



Em geral, os motores têm uma utilização muito ampla, abrangendo de máquinas voltadas ao processo industrial a sistemas de ventilação e condicionamento ambiental.

A seleção do tipo de motor que irá compor um determinado equipamento é normalmente realizada pelo critério de menor custo inicial, desprezando-se os custos de operação do equipamento ao longo de sua vida útil.

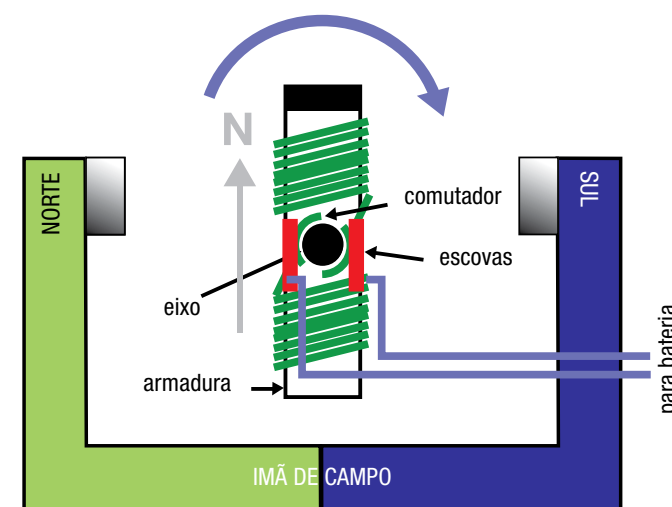
A maioria dos motores elétricos funciona a partir do efeito de eletromagnetismo, mas existem também motores baseados em outros fenômenos eletromecânicos, tais como forças eletrostáticas.

O princípio elementar de funcionamento do motor está na força mecânica que atua sobre um condutor imerso num campo magnético quando circula por ele uma corrente elétrica. Em alguns motores de baixa potência, o campo magnético é formado por ímãs permanentes. Já nos motores de maior porte, esse campo é formado por bobinas elétricas.

A força mecânica citada é descrita pela Lei da Força de Lorentz e é perpendicular ao fio e ao campo magnético. Em um motor giratório, o elemento que gira é chamado de rotor. A parte estacionária do motor é chamada de estator. O rotor gira porque os fios e o campo magnético são arranjados de modo que um torque seja desenvolvido sobre a linha central do rotor.

A ilustração abaixo apresenta dois ímãs que são componentes internos dos motores: a armadura (ou rotor) é um eletroímã, ao passo que o ímã de campo é um ímã permanente.

Conforme a retração dos polos, o rotor gira gerando energia mecânica. A tensão induzida nas espiras do bobinado do motor gera um campo magnético variável, que faz com que o rotor se excite magneticamente, girando assim o eixo do motor e criando uma conversão de energia elétrica para mecânica.



2.1 Tipos de motores

Os motores elétricos existentes no mercado classificam-se quanto à forma de corrente elétrica em que trabalham:

- **Corrente contínua:** (CC ou, em inglês, DC – *direct current*) também chamada de corrente galvânica, é o fluxo constante e ordenado de elétrons sempre numa direção.
- **Corrente alternada:** (CA ou, em inglês AC – *alternating current*) é uma corrente elétrica cuja magnitude e direção variam ciclicamente, ao contrário da corrente contínua, cuja direção permanece constante e que possui polos positivo e negativo definidos.

Os motores de corrente contínua apresentam a possibilidade de regulação precisa da velocidade, pois, ao se variar a voltagem, varia-se a velocidade. Seu custo, entretanto, é mais elevado, e eles necessitam de instalação de fonte em corrente contínua ou de retificadores. Além disso, apresentam outras desvantagens, principalmente os de maior potência, por serem volumosos, não atingem grandes velocidades e são menos eficientes em relação aos de corrente alternada.

Os motores de corrente alternada, dependendo do tipo, são síncronos ou assíncronos. Os motores síncronos são motores elétricos cuja velocidade de rotação é proporcional à frequência da sua alimentação, operam em velocidades fixas, apresentam rendimento um pouco mais elevado do que os de indução e fator de potência unitário. O custo desse tipo de motor é, no entanto, elevado, principalmente quando se trata de motores de pequena potência. Seu uso é restrito a equipamentos de grande potência, nos quais a velocidade constante é fundamental.

Os motores assíncronos ou de indução são simples, robustos e mais baratos do que os síncronos, e são usados em quase todos os tipos de máquinas. Nesses motores, a velocidade varia de acordo com a carga aplicada no eixo, sendo o tipo mais comum os de modo trifásico.

As máquinas elétricas trifásicas tendem a ser mais eficientes pela utilização plena dos circuitos magnéticos, portanto, as considerações a seguir, serão baseadas em motores trifásicos de indução.

Outra grande divisão que ocorre entre os motores de corrente alternada (CA) é que eles podem ser trifásicos ou monofásicos. A diferença entre esses dois tipos de alimentação altera profundamente a versatilidade e performance do motor, sendo que os monofásicos são limitados e necessitam de capacitores de partida para o início de funcionamento, ou seja, para que possam vencer a inércia de repouso (parado).

Os motores de corrente alternada têm outras muitas divisões, todas elas mundialmente normalizadas, entre os mais comuns temos: motor de dupla polaridade, que pode rodar em duas velocidades diferentes em detrimento da potência, e motor de eixo duplo, com uma saída para cada lado.

Nas placas de identificação dos motores elétricos encontramos diversas informações sobre o motor, a saber:

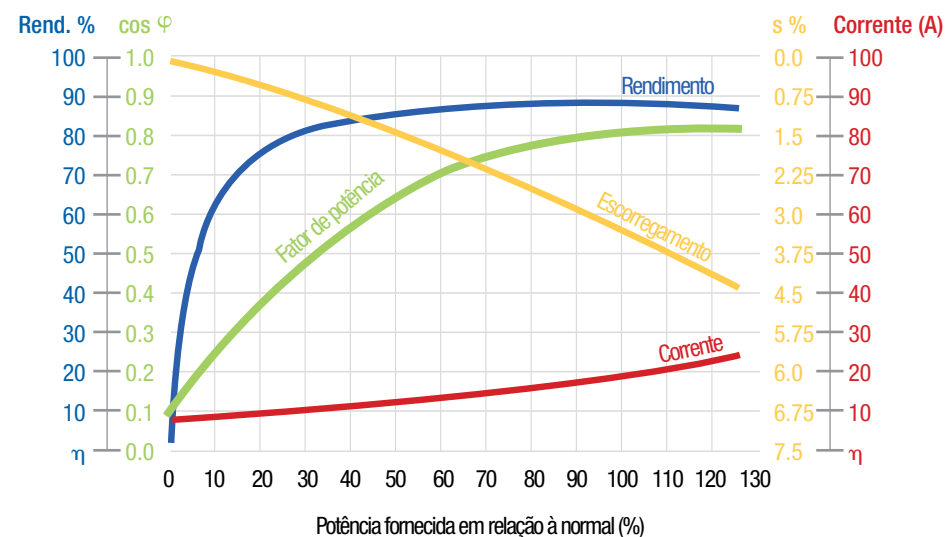
- **Índice de Proteção (IP):** com uma variação de IP-00 até IP-68, identifica o grau de proteção do motor em relação à água e as partículas, sendo que, o índice padrão é o IP-55. Alguns motores vêm com uma película de proteção especial, e a incorporam ao prefixo, formando IPW.

- **Forma construtiva:** normalmente dotados de três ou quatro algarismos (por exemplo: B3D e B35D), sendo que a primeira letra significa que é um motor dentro dos padrões, os números do meio significam o uso ou não de flanges e a última letra diz em qual lado do motor está a caixa de ligação.
- **Carcaça:** sofre uma variação comum de 63 a 355, e, acima disso, trata-se de uma aplicação especial de grande porte. Esse número representa a distância entre o centro do motor e sua base. A letra que fica ao lado desse número (l,m) vem do inglês *large* (comprido) e *medium* (médio), e refere-se ao comprimento do motor.
- **Valores de tensão:** os motores elétricos podem ser acionados com valores de tensões diversos (127V, 220V, 380V, 440V e 760V); para isso, são realizadas ligações entre os bornes das bobinas do motor, chamados de “fechamentos”. Os fechamentos não interferem na velocidade de rotação do motor, servem apenas para alimentar as bobinas de maneira a gerar o campo magnético necessário para movimentar o rotor, que está alojado dentro da carcaça do motor.

2.2 Dimensionamento de motores

Ao analisarmos as curvas características dos motores, como mostra o gráfico abaixo, observamos que o rendimento e o fator de potência variam conforme o carregamento. Para um dado motor, quanto menor for o carregamento, menores serão o rendimento e o fator de potência e, em consequência, menos eficiente será a sua operação.

Curvas característica de desempenho de motor elétrico



Nem sempre é possível ajustar a potência do motor àquela efetivamente necessária, e isso ocorre por dois motivos. Em primeiro lugar, os motores são oferecidos em potências predeterminadas, e a fabricação especial de um motor com potência diferente do padrão do fabricante seria antieconômica.

Em segundo lugar, ocorrem casos em que o regime de funcionamento e carregamento das máquinas é variável. A cada regime de trabalho corresponde uma especificação adequada para os motores. Para o regime contínuo, deve-se especificar o motor para operar entre 75% e 100% da carga, o que corresponde à faixa de rendimento de pico.

Quanto menor for o carregamento, menores serão o rendimento e o fator de potência e, por consequência, menos eficiente será sua operação. A figura anterior apresenta as curvas de desempenho para motor de 15 CV e 4 polos.

Já o rendimento do motor (η), ou seja, a relação entre a potência de saída (p_s) sobre a potência de entrada (p_e) [$\eta = p_s/p_e$] e o fator de potência dos motores varia conforme o seu carregamento.

Todo motor é capaz de fornecer potência superior à nominal com o objetivo de atender às exigências de cargas, porém, momentâneas, sem correr o risco de danos.

Chama-se fator de serviço (FS) ao fator que, aplicado à potência nominal do motor, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor, sob condições especificadas. Esse valor está na faixa de 1,0 a 1,35 e, de maneira geral, pode-se dizer que motores menores têm maior FS.

Essa situação é comum e ocorre por dois motivos: os motores são oferecidos em potências predeterminadas e muitas vezes o regime de carregamento das máquinas é variável.

O fator de serviço do motor é, nesse caso, considerado como um fator de segurança. Para partidas pesadas, os dados de carga, o tipo de partida (estrela-triângulo, compensadora ou direta) e o tipo de acoplamento devem ser levados em conta.

No caso de regime intermitente, o motor deve ser dimensionado pelo método quadrático, calculando-se a potência equivalente que produz a mesma imposição térmica ao motor. Como os critérios de dimensionamento nem sempre são levados em consideração, estima-se que cerca de 50% dos motores instalados no parque industrial nacional encontram-se superdimensionados.

Para determinar o potencial de economia que pode ser obtido com o redimensionamento de motores, adote o seguinte roteiro:

- Relacione os motores de potência mais significativas, anotando sua potência nominal em CV e a tensão de operação.
- Meça a corrente de cada um dos motores nas condições normais do equipamento.
- Consulte a curva característica de funcionamento de cada um dos motores, retirando os valores de fator de potência ($\cos \Phi$) e rendimentos (η) para a corrente medida. Caso não disponha da curva característica, que pode ser fornecida pelo fabricante do motor, utilize os gráficos do anexo como orientação.
- Calcule a potência ativa do motor utilizando a expressão:

$$P_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \Phi$$

em que:

P_a = potência ativa do motor (W)

U = tensão de operação do motor (V)

I = corrente medida no motor (A)

$\cos \Phi$ = fator de potência extraído da curva ou gráfico

- Calcule a potência útil do motor adotando a expressão:

$$P_u = \frac{P_a \cdot \eta}{736}$$

em que:

P_u = potência útil do motor (CV)

P_a = potência ativa do motor (W)

η = rendimento extraído da curva ou gráfico

1 CV = 736 W

- Verifique o dimensionamento do motor observando a relação entre a potência útil (P_u) e a potência nominal (P_n). Quando essa relação for superior a 0,75, pode-se considerar que o motor está compatível com a tarefa que executa, não havendo potencial para economia de energia. Caso contrário, siga o roteiro.
- Consulte as curvas características do fabricante do motor e selecione a potência nominal próxima da potência útil calculada acima. Certifique-se de que o quociente P_u/P_n esteja na faixa de 0,8 a 1,0 para este novo motor. Se não dispuser das curvas, utilize os gráficos do anexo como orientação. Para um resultado preciso, é necessário utilizar a curva específica do motor.
- Verifique os valores de fator de potência e da corrente do motor escolhido para as condições de carregamento, calculadas no item anterior.
- Calcule a potência ativa do novo motor utilizando novamente a expressão:

$$P_{a'} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \Phi$$

em que:

$P_{a'}$ = potência ativa do novo motor (W)

U = tensão de operação do motor (V)

I = corrente obtida na curva ou gráfico (A)

$\cos \Phi$ = fator de potência obtido na curva ou gráfico

- Estime a quantidade de horas mensais de operação (h) do motor.
- Calcule o potencial de economia de energia do novo motor adotando a expressão:

$$E = \frac{(P_a - P_{a'}) \times h}{1.000} \text{ (kWh/mês)}$$

Caso não seja possível obter a curva característica do motor, pode-se utilizar uma metodologia baseada no princípio de que existe uma relação quase linear entre es-corregamento e carregamento num motor.

Para esse procedimento, são necessários um watímetro e um tacômetro. O watímetro é utilizado para medir a potência ativa e o tacômetro mede a rotação atual do motor, que é utilizada para determinar o seu carregamento.

2.3 Utilização racional dos equipamentos

A energia elétrica deve ser sempre usada de maneira racional, evitando desperdícios. Muitas vezes, isso pode ser conseguido a partir da adoção de medidas simples e de fácil implantação, como desligar os motores e as máquinas quando eles não estiverem sendo utilizados. Medidas dessa natureza podem proporcionar uma economia de energia elétrica significativa, e que não deve ser desprezada.

Para determinar o potencial de economia que pode ser obtida com esse tipo de ação, adote o seguinte roteiro:

- Percorra as instalações e observe a forma como são utilizadas as diversas máquinas e equipamentos que possuem motor, identificando aqueles que apresentam interrupções frequentes na operação.
- Verifique se é possível desligar esses equipamentos nos períodos ociosos, sem provocar problemas ao próprio equipamento ou à instalação elétrica de uma maneira geral.
- Verifique a tensão de operação e meça a corrente de cada motor quando ele estiver operando desnecessariamente.
- A partir da corrente medida, consulte a curva característica do motor e verifique o valor do fator de potência ($\cos \Phi$) para essa condição de operação. Caso não disponha da curva característica, utilize os gráficos do anexo como orientação.
- Calcule a potência ativa solicitada em cada um dos motores identificados, utilizando a seguinte expressão:

$$P_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \Phi$$

em que:

P_a = potência ativa solicitada pelo motor (W)

U = tensão de alimentação do motor (V)

I = corrente medida no motor (A)

$\cos \Phi$ = fator de potência extraído da curva ou gráfico

- Estime a quantidade de horas mensais (h) que o motor pode ser desligado.
- Calcule o potencial de economia que pode ser obtido com o desligamento do motor, utilizando a seguinte expressão:

$$E = \frac{P_a \times h}{1.000} \text{ (kWh / mês)}$$

2.4 Motores de alto rendimento

Ao longo do tempo, a evolução do projeto de motores gerou grandes vantagens em termos de custo e peso do equipamento. Se compararmos, por exemplo, os dados referentes a um motor de 5 CV fabricado em 1888 com um equivalente fabricado um século depois, verificaremos que o seu peso diminuiu de 450 kg para cerca de 35 kg, e seu preço nominal foi reduzido em cerca de 5 vezes.

Isso se deve, principalmente, à otimização dos processos de cálculo, reduzindo fatores de segurança desnecessários com conseqüente diminuição das quantidades de ferro e cobre contidas nos equipamentos, bem como à melhoria na qualidade da isolação dos enrolamentos, que permite a operação dos motores em temperaturas mais elevadas. Nota-se, no entanto, que, como resultado dessa evolução dirigida à oferta de um produto de preço mais reduzido, o rendimento dos motores caiu significativamente.

Hoje em dia, entretanto, a indústria de motores tem condições de oferecer equipamentos de alto rendimento, fisicamente similares aos modelos standard considerados de uso geral, usando materiais selecionados, maior quantidade de cobre e ferro, processos de fabricação mais aperfeiçoados e tolerâncias mais estreitas. Naturalmente, o emprego dessas tecnologias acabam onerando o custo final do motor de alto rendimento.

Esses motores apresentam em média um rendimento 10% superior ao rendimento de motores convencionais de baixa potência (na faixa 1 a 5 CV) e 3% superior ao rendimento de motores convencionais de potência elevada (200 CV). Quanto ao fator de potência, os motores de alto rendimento não são necessariamente mais eficientes do que os convencionais. Entretanto, a correção do fator de potência é simples e não muito dispendiosa, e não deve ser um impedimento na avaliação da possibilidade de substituição de motores.

A utilização de motores de alto rendimento deve ser considerada como um potencial interessante de racionalização do uso de energia. Fica ainda mais atrativa nos casos de motores de baixa potência, elevado fator de carga e longas horas de operação, novas aplicações e em determinados casos em que o rebobinamento é necessário.

Cada vez mais a energia elétrica vem se tornando um insumo de maior custo. Assim, a utilização dos motores de alto rendimento, mesmo com um custo superior aos motores padrões, torna-se plenamente justificável, pois reduz os custos de energia elétrica, além de proporcionar outros ganhos à sociedade, resultantes de uma utilização mais racional dos recursos naturais.

A economia de energia na utilização de motores eficientes deve ser avaliada separadamente em três situações distintas:

- instalar um motor eficiente em uma nova aplicação, no lugar de um motor convencional;
- instalar um motor eficiente, quando o motor convencional em uso necessitar ser rebobinado;
- instalar um motor eficiente, para substituir um motor convencional em operação.

Na especificação de motores para novos empreendimentos, deve-se sempre optar por motores de alto rendimento, já contemplados pelo processo de qualificação do Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial — INMETRO —, o que é uma garantia de qualidade do equipamento.

2.5 Variadores de velocidade

Em uma instalação industrial, nem sempre os motores são exigidos em sua capacidade nominal durante todo o ciclo de operação. Nesses casos, a opção mais correta seria utilizar os motores de corrente contínua, cujo custo, porém, é elevado. Por esse motivo, é comum encontrarmos motores de indução desempenhando tarefas para as quais não foram projetados, atuando com válvulas para redução de vazão, freios mecânicos ou embreagens que dissipam a energia não produtiva sob forma de calor, reduzindo a eficiência global do equipamento.

As aplicações mais indicadas para a utilização dos variadores de velocidade são aquelas em que as perdas diminuem com a redução da velocidade. Isso ocorre com máquinas centrífugas, incluindo aí a grande maioria das bombas e dos ventiladores, e alguns compressores.

Embora as bombas e os ventiladores possibilitem as melhores condições para o emprego de variadores de velocidade, isso não quer dizer que todos os casos apresentem uma relação de custo-benefício atraente. O tipo de carregamento — variação de pressão e vazão — é muito importante para determinar a viabilidade da utilização do equipamento. Por exemplo, se um sistema deve operar com vazão constante, a utilização do variador de velocidade não é indicada nesse caso.

Em geral, são obtidas as seguintes vantagens com os variadores de velocidade:

- melhoria na eficiência do sistema;
- limitação da corrente de partida;
- partidas e paradas mais suaves;
- utilização de motores de menor custo;
- aumento da vida útil dos motores e equipamentos;
- possibilidade de automação do sistema.

2.6 Procedimentos de manutenção

Além das considerações anteriores referentes ao dimensionamento e à utilização de motores, alguns procedimentos simples de manutenção podem trazer economia de energia elétrica, como veremos a seguir.

2.6.1 Ventilação adequada

Nos motores autoventilados, o ar de resfriamento é fornecido por um ventilador interno ou externo acionado pelo eixo do motor. O fluxo de ar arrasta poeira e materiais leves que, aos poucos, obstruem as aberturas ou os canais e impedem a passagem do ar e a dispersão do calor, aumentando a temperatura do motor. Por outro lado, é comum encontrar, nas indústrias, motores instalados em espaços exíguos, que limitam a circulação do ar, também provocando aquecimentos excessivos.

Nos motores que utilizam ventilação forçada externa, a parada do grupo moto-ventilador pode causar os mesmos problemas.

Portanto, algumas precauções devem ser tomadas para assegurar o bom funcionamento das instalações, tais como:

- limpeza cuidadosa dos orifícios de ventilação;
- limpeza das aletas, retirando poeira e materiais fibrosos;
- o local de instalação do motor deve permitir a circulação de ar;
- verificar o funcionamento do sistema de ventilação auxiliar e a livre circulação de ar nos dutos de ventilação.

2.6.2 Controle da temperatura ambiente

De forma geral, a temperatura limite suportada pelos isolantes do motor é calculada para o funcionamento em ambiente com 40 °C. Por isso, é importante verificar e controlar a temperatura ambiente para que ela não ultrapasse os valores para os quais o motor foi projetado.

2.6.3. Cuidados com variações de tensão

O equilíbrio térmico de um motor é modificado quando a tensão de alimentação varia. Uma queda de tensão limita o fluxo do circuito magnético, o que reduz as perdas no ferro e a corrente em vazio.

Entretanto, o conjugado motor deve superar o conjugado resistente para impedir o aumento excessivo do escorregamento. Como o conjugado motor é função do produto entre o fluxo e a intensidade da corrente absorvida, se o fluxo diminui, a intensidade da corrente aumenta. Com a corrente em carga aumentada pela queda de tensão, o motor se aquecerá, aumentando as perdas.

Um aumento da tensão de alimentação terá efeitos mais limitados, uma vez que a corrente em vazio aumenta enquanto a corrente em carga diminui.

2.6.4 Cuidado com o balanceamento entre fases

O funcionamento de um motor trifásico em corrente monofásica pode ocorrer quando, por acidente, um dos cabos de alimentação é interrompido. O motor continua a girar, porém, seu escorregamento aumenta consideravelmente, assim como sua temperatura. Não apenas a interrupção de uma fase de alimentação traz danos ao motor e aumento do consumo de energia, mas até um simples desbalanceamento

de 3% entre as tensões de fase irá causar um aumento de até 35% na temperatura do motor, reduzindo seu rendimento e sua vida útil.

Assim, é importante verificar sistematicamente a temperatura dos motores em funcionamento, pois esse procedimento simples pode revelar problemas na instalação que, quando não identificados a tempo, comprometem os equipamentos e aumentam os gastos com energia.

2.6.5 Operação com partidas e paradas bem equilibradas

As partidas muito demoradas, que ocorrem quando o conjugado motor é apenas ligeiramente superior ao conjugado resistente, devem ser evitadas, pois a sobrecorrente absorvida enquanto a velocidade nominal não é atingida aquece perigosamente o motor. É fundamental que o conjugado de partida seja suficiente e atenda às seguintes recomendações:

- a escolha do motor deve ser adequada;
- é necessário verificar se a linha de alimentação possui capacidade para limitar a queda de tensão durante a partida;
- é necessário manter a carga acoplada ao motor em condições adequadas de operação, de forma a não apresentar um conjugado resistente anormal.

Da mesma forma, uma frenagem por contracorrente, ou seja, através de inversão do motor, representa, *grosso modo*, o custo de energia equivalente a três partidas.

2.6.6. Evitar partidas muito frequentes

Quando o processo industrial exige partidas frequentes, essa característica deve ser prevista no projeto do equipamento, e o motor deve estar adaptado para trabalhar dessa forma. No entanto, em consequência da regulagem de algumas máquinas, pode ser necessário proceder a várias partidas num tempo relativamente curto, o que não permite que o motor esfrie adequadamente.

Aconselha-se, durante a regulagem das máquinas, observar a temperatura do motor, proporcionando-lhe tempos de parada suficientes para que a temperatura volte a valores convenientes.

2.6.7 Verificação do isolamento dos enrolamentos

A vida útil de um isolante pode ser drasticamente reduzida se houver um sobreaquecimento representativo no motor. As principais causas da degradação dos isolantes são:

- sobretensão ou subtensão na linha;
- sobreintensidade de corrente nas partidas;
- depósitos de poeira formando pontes condutoras;
- ataque por vapores ácidos ou gases arrastados pela ventilação.

Para prevenir a degradação dos isolantes, são recomendadas as seguintes medidas:

- equipar os quadros de alimentação com dispositivos de proteção e comandos apropriados, verificando periodicamente seu funcionamento;

- aproveitar os períodos de parada dos motores para a limpeza das bobinas dos enrolamentos;
- caso necessário, instalar filtros nos sistemas de ventilação dos motores, proporcionando-lhes manutenção adequada;
- especificar motores adequados aos ambientes onde vão operar;
- verificar qualquer desprendimento de fumaça;
- verificar, periodicamente, as condições do isolamento;
- observar a ocorrência de ruídos e vibrações;
- anotar, periodicamente, as temperaturas durante a operação e observar sinais de superaquecimento;
- observar o equilíbrio de corrente nas três fases;
- verificar se a frequência prevista para o motor corresponde à da alimentação.

2.6.8 Fixação correta dos motores e eliminação das vibrações

Geralmente, o motor standard é construído para funcionar tanto no eixo horizontal como no eixo vertical. Para funcionar no eixo vertical ou em outras inclinações verticais, entretanto, é recomendável consultar o fabricante. Um motor nunca deve ser instalado em uma inclinação qualquer de seu eixo sem que se tenha certeza de suas características de projeto.

Vibrações anormais causam uma redução no rendimento do motor. Elas podem ser consequência de uma falha no alinhamento, de uma fixação insuficiente ou defeituosa do motor em sua base, de folgas excessivas dos mancais, ou ainda de um balanceamento inadequado das partes giratórias.

Para contornar esse problema, é necessário tomar as seguintes precauções:

- observar o estado dos mancais;
- observar a vida útil dos mancais (informação fornecida pelo fabricante);
- controlar e analisar as vibrações, colocando uma ferramenta sobre o mancal e aproximando o ouvido para detectar possíveis falhas produzidas pelos ruídos;
- tomar cuidado ao substituir um rolamento por outro;
- nas paradas de longa duração, trocar periodicamente a posição de repouso dos rotores dos motores elétricos, assim como das partes móveis das máquinas.

2.6.9 Lubrificação correta dos mancais

À temperatura de 40 °C, a vida útil de um rolamento de esferas em funcionamento contínuo chega a quatro anos ou mais.

No entanto, para cada 10 °C de elevação da temperatura de trabalho, a vida útil diminuiu, em média, 50%.

A lubrificação correta dos rolamentos evita a elevação da temperatura, além de permitir uma melhoria no rendimento. Geralmente, a lubrificação é feita com graxa mineral. Quando as temperaturas de operação forem elevadas (de 120 °C a 150 °C) ou a

velocidade de rotação for superior a 1.500 rpm, a lubrificação deve ser feita com óleo mineral. Esses óleos devem ter características lubrificantes adequadas às condições de trabalho. Nos motores de pequena potência, a lubrificação inicial na montagem é prevista de modo a assegurar um número elevado de horas de funcionamento. Às vezes, a reserva de graxa é suficiente para toda a vida do equipamento.

Mas, nos motores maiores, é necessário fazer a lubrificação externa, cuja frequência depende do projeto dos mancais e das características dos lubrificantes utilizados.

Vejamos algumas recomendações que podem garantir uma vida útil maior para os rolamentos e um menor consumo de energia:

- respeitar os intervalos de lubrificação;
- não engraxar excessivamente os rolamentos e limpá-los com gasolina antes de colocar a graxa nova (salvo se houver evacuador automático de graxa);
- utilizar as graxas recomendadas pelo fabricante de acordo com o serviço e a temperatura;
- para os mancais lubrificadas a óleo, verificar os anéis de retenção e utilizar o óleo recomendado;
- observar a temperatura dos mancais em operação;
- observar para que a temperatura ambiente permaneça dentro dos limites normais;
- durante a limpeza, evitar os depósitos de poeira nas caixas de rolamentos;
- para funcionamento em ambiente agressivo, passar essa informação para o fabricante no momento do pedido.

2.7 Inversores de frequência

A aplicação de inversores de frequência deve ser avaliada para situações de necessidade de fluxo e controle de movimento. Nesses casos ele é fundamental para a obtenção da economia de energia por agregar controle de velocidade e torque de máquinas-ferramentas na variação de velocidade em sistemas de alimentação e dosagem, no controle de vazão ou fluxo de um processo, no controle de elevação em pontes rolantes, guindastes, entre outros. As aplicações envolvendo bombas, ventiladores, exaustores, insufladores frequentemente utilizam válvulas de estrangulamento para controle de vazão, que podem ser substituídas por inversores de frequência, com economia de energia.

Diminuindo-se a velocidade, haverá uma redução da energia consumida pelo sistema motor-inversor, resultando em economia direta no processo.

Um exemplo é o controle do fluxo de ar em um sistema central de ar-condicionado. É mais inteligente e econômico que a velocidade do motor que aciona o ventilador/compressor seja controlada, de modo que, nos momentos de menor utilização de carga, diminua-se a velocidade e, conseqüentemente, o fluxo de ar.

As cargas centrífugas, sejam bombas, ventiladores, exaustores ou compressores, são as melhores candidatas para aplicação de inversores de frequência, uma vez que, numa análise simplificada, têm a potência requerida com forte relação à velocidade.

Contudo, sempre deve ser feito um estudo de viabilidade para as aplicações. Apesar de os inversores de frequência contribuírem com grande economia e flexibilidade no controle dos motores elétricos, eles, por outro lado, modificam as formas de onda de tensão e corrente e são introduzidos harmônicos no sistema elétrico. Esses harmônicos podem provocar perdas por aquecimento nos equipamentos, torques oscilatórios, res-

sonâncias elétricas com consequentes sobretensões ou sobrecorrentes, interferências eletromagnéticas, além de picos, corte ou flutuações de tensão na rede elétrica.

Portanto, antes da escolha e da instalação de um inversor de frequência, alguns cuidados e avaliações devem ser realizados no que diz respeito à qualidade da rede de alimentação, fator de potência, banco de capacitores, adequação dos sistemas de proteção e seccionamento, redução de interferências eletromagnéticas e blindagem, cabos e aterramentos em perfeitas condições, um adequado local de instalação e atendimento ao grau de proteção de invólucros "IP" (formado por dois dígitos, o primeiro para proteger de inserção de corpos estranhos acidentalmente e o segundo para proteger contra a penetração de água).

A rede elétrica deve ser confiável e os circuitos de potência e comando devem estar em eletrodutos ou canaletas separadas, ou ainda utilizar cabos de comando devidamente blindados. Os equipamentos de controle, que funcionam em conjunto com o inversor, devem possuir o condutor "terra" em comum, e os contadores e as bobinas agregados ao funcionamento do inversor devem conter supressores de ruídos.

Outra medida recomendável ao inversor é estar próximo a pontos de ventilação, ou, caso a potência seja muito alta, ter ventilação (ou exaustão). Alguns inversores já possuem um pequeno exaustor interno.

Além dessas, outras considerações devem ser feitas a partir das necessidades e características próprias da carga, como a velocidade, seu torque, como se processa a aceleração da mesma, ciclo de trabalho, potência requerida, curva de torque x velocidade, rendimento e momento de inércia.

Essas precauções não visam apenas melhorar o funcionamento do inversor, mas evitar que ele interfira em outros equipamentos ao seu redor. O inversor de frequência é, infelizmente, um grande gerador de interferências eletromagnéticas, e sua instalação deve seguir orientações rígidas para não interferir na máquina ou no sistema.

Mas não resta dúvida de que os inversores de frequência apresentam excelentes resultados quando aplicados adequadamente aos processos industriais, como redução do consumo de energia elétrica e ganhos no controle do processo e na qualidade, além de maior flexibilidade, facilitando a produção.

Procure sempre adquirir os inversores de frequência que já possuem o filtro de harmônica.

2.8 Dicas de economia e utilização

- Evite o uso de motores elétricos superdimensionados, que acionam cargas com requisição de potência muito abaixo da potência nominal do motor (menor que 50%). Isso faz com que o rendimento e o fator de potência tenham valores reduzidos. Esse é considerado o principal ponto de desperdício em motores. A correta adequação do motor à carga representa economias de energia que podem chegar a 30%. Por esse motivo, para especificar o motor, é importante conhecer as características da carga, as características da rede de alimentação, os fatores ambientais, os métodos para dimensionamento adequado e não exagerar na aplicação de sucessivos fatores de segurança. Evite também substituir motor que apresenta defeito por outro de maior potência disponível no almoxarifado.
- Recomenda-se que a avaliação do carregamento do motor elétrico e sua consequente análise para substituição sejam realizadas depois de eliminados os desperdícios nos demais componentes do sistema motriz. É possível que, com a eliminação das perdas nos diversos componentes do sistema motriz, o rendimento atinja níveis ruins (em geral, isso ocorre para carregamento abaixo de 60%), pois o motor passa a operar na região de superdimensionamento, já que a carga solicita uma potência menor. Comportamento análogo ocorre em relação ao fator de potência. Seguindo essa orientação, pode ser recomendada a substituição do motor por outro de menor potência, tornando a proposta mais atraente economicamente se comparada à substituição recomendada sem avaliação do sistema motriz como um todo.
- Caso a carga do motor seja constante, de posse das curvas do motor, a determinação do carregamento pode ser feita através da medição da corrente, da potência ou da rotação de seu eixo. Se a carga for variável, é necessária a utilização de analisadores de energia para avaliação da condição de carregamento, pois uma simples medição instantânea pode não coincidir com a carga máxima solicitada pela carga.
- É importante saber que, embora o superdimensionamento geralmente acarrete uma diminuição do rendimento, cada caso deve ser analisado, pois nem sempre isso é verdade. Em geral, para cargas entre 60 e 100% da potência nominal, o motor pode ser considerado bem dimensionado.
- Na aquisição de um novo motor, dê preferência ao motor com selo Procel e especifique o motor com potência adequada, verificando se suas características são adequadas às condições do ambiente onde está instalado (temperatura, atmosfera corrosível etc.).
- A substituição de um motor padrão por um de alto rendimento tende a ser mais atraente economicamente, quando a aplicação requer um uso do motor por um maior número de horas.
- Recomenda-se monitorar a tensão de alimentação dos motores elétricos, uma vez que seu dimensionamento é otimizado ao trabalhar com tensão nominal. Deve-se ficar atento, principalmente, a valores de tensão acima do valor nominal.
- A verificação do balanceamento das tensões também é importante, uma vez que o desequilíbrio é um dos fatores que contribui bastante para o aumento das perdas nos motores trifásicos, gerando correntes excessivas, elevação de temperatura e, conseqüentemente, redução da vida útil, além da redução do conjugado disponível para a carga.
- A qualidade da energia é importante, pois as harmônicas também aumentam as perdas do motor, além de reduzirem o conjugado disponível para a carga e de provocarem a existência de conjugados pulsantes.

- Deve-se adotar uma rotina de limpeza e remoção de depósito de materiais que possam obstruir a refrigeração, secagem periódica das bobinas (quando aplicável), inspeção de mancais e rolamentos (ruído, vibrações e lubrificação).
- Na manutenção e na retirada dos rolamentos, é importante utilizar ferramentas adequadas (saca-polias, extratores), e na troca, a colocação deve ser feita por prensa com apoio na pista central ou através de dispositivo de aquecimento (por indução ou banho de óleo), evitando-se o uso de martelo ou de dispositivos que provoquem pancada.
- É necessário inspecionar periodicamente as conexões elétricas nos terminais do motor, nos contatos dos dispositivos de partida e dos elementos de comando. Conexões frouxas produzem perdas que podem acarretar, além do desperdício, sérios riscos às instalações, tais como a queima do revestimento isolante, o que pode resultar em curto-circuito ou até em incêndio nas instalações.
- Verifique o isolamento dos enrolamentos: as principais causas da degradação dos isolantes são sobretensões ou subtensões na linha.
- Verifique o alinhamento de correias, engrenagens e correntes e sua adequada manutenção.
- Os motores de alto rendimento apresentam aparentemente as mesmas características físicas do motor comum, porém, o seu interior é constituído de material de melhor qualidade, elevando o seu rendimento em até 10%. Seu uso é aconselhável em processos contínuos, nos quais o motor opera mais de 7.000 horas por ano. A substituição merece uma análise criteriosa da viabilidade econômica.
- Reparo do motor queimado: a cultura de reenrolamento de motores danificados deve ser amplamente discutida, pois um motor reformado geralmente apresenta queda de rendimento. O aumento dos gastos com energia elétrica devido ao aumento do consumo desse motor, em muitos casos, seria suficiente para comprar um motor novo.
- Controle de velocidade: o uso de inversores de frequência para o controle de velocidade de motores é uma alternativa muito eficiente que pode ser aplicada em substituição dos processos tradicionais de controle de variáveis dos processos industriais, principalmente vazão e pressão em sistemas de bombeamento.
- O compressor alternativo ou de pistão é muito utilizado nas indústrias devido à sua alta capacidade de armazenamento e de pressão, baixo custo e alto rendimento. Porém, esses compressores apresentam baixa confiabilidade e alto custo de manutenção. Recomenda-se, então, verificar a viabilidade de substituí-lo por compressor centrífugo de alta velocidade controlado por inversor de frequência. Essa alternativa dispensa, ainda, o uso de engrenagens, simplificando a instalação e evitando problemas de alinhamento.
- Verificar cuidadosamente o alinhamento de eixos. Além do consumo excessivo, o desalinhamento em acoplamentos plásticos causa desgaste e diminuição da vida útil, além de influenciar na diminuição da eficiência de transmissão do conjunto acoplamento x componente.
- Além do aspecto relativo à redução do atrito, a refrigeração propiciada pela lubrificação permite que as peças que compõem o acoplamento trabalhem mais livres. Esses dois fatores contribuem para a diminuição do consumo de energia elétrica.

- Comparar os valores de operação e de projeto para os redutores, caixas de engrenagem, corrente de transmissão e correias plana e em V. Correias em V ou sincronizadas patinam menos do que as planas. Porém, melhor ainda, é a utilização de correias dentadas. Importante, também, cada tipo de correia está associado a um tipo de polia. Deve-se observar, ainda, se as correias estão pouco ou excessivamente tensionadas.
- Manter as correias de acionamento adequadamente ajustadas, trocando-as quando desgastadas. No caso de polias com múltiplas correias, recomenda-se que no rompimento de uma, todas sejam substituídas e não só a que se rompeu.
- Nas esteiras rolantes, verificar o estado dos rolamentos dos roletes. A lubrificação muitas vezes é negligenciada, pois os roletes ficam em lugares altos, de acesso complicado. Verificar se a correia/esteira parte sem carga. É comum que o sistema seja desligado com a correia carregada. Quando reinicia, o sistema parte com carga adicional desnecessária, o que leva ao aumento do consumo de energia.
- Caso a carga caia verticalmente sobre uma esteira, verifique a possibilidade de instalação de uma chapa de desvio para se obter alguma velocidade na direção do movimento da esteira, aproveitando-se a força da gravidade. Na medida do possível, deve-se ocupar toda seção da esteira transportadora.
- Verifique também o estado geral de lubrificação, pois o movimento relativo das peças que compõem o acoplamento deve trabalhar o mais livre possível, o que diminui o consumo de energia.



3. AR-CONDICIONADO

Os sistemas de condicionamento de ar representam um item importante nos custos de uma edificação, quer pelos investimentos iniciais necessários, quer pelo dispêndio que provocam ao longo do tempo com consumo de energia e com manutenção das instalações.

O condicionamento do ar consiste no controle da temperatura, da umidade, da movimentação e da pureza do ar em recintos fechados. Em geral, o ar-condicionado é utilizado para proporcionar uma sensação de conforto às pessoas, mas pode, também, ser necessário para climatizar ambientes, cujas atividades requerem controle rígido de uma ou mais características do ar, como ocorre, por exemplo, em certas indústrias como as que produzem alimentos e bebidas, em hospitais, em centros de computação etc.

Os sistemas de ar-condicionado variam de simples aparelhos de janela até grandes centrais. Os aparelhos de janela são unidades indicadas para ambientes de pequenas dimensões, que funcionam com condensação a ar e estão aptos a refrigerar o ambiente no verão e a aquecê-lo no inverno pela simples reversão do ciclo de refrigeração.

As pequenas centrais, utilizadas, por exemplo, em escritórios e comércios de pequeno porte, funcionam com condensação a ar ou a água e possuem capacidades que variam de 3 a 20 TR's. São unidades compactas que podem aquecer o ar no inverno tanto pela reversão do ciclo de refrigeração como através de resistências elétricas, ou com a utilização de água quente ou vapor.

As grandes centrais de ar-condicionado localizam-se em uma casa de máquinas, de onde distribuem o ar para grandes ambientes como teatros, cinemas, restaurantes etc.

As centrais de água gelada são utilizadas em grandes instalações que servem a vários ambientes simultaneamente, ficando em uma casa de máquinas os equipamentos comuns a todos eles, como a torre de resfriamento, o sistema de aquecimento e o sistema de frio, que será distribuído na forma de água quente ou água gelada para fancoil's (climatizadores de ambiente).

Os aparelhos de ar-condicionado são sistemas que consomem, relativamente, grande quantidade de energia, e isso se deve às próprias características dos processos físicos envolvidos no seu funcionamento ou mesmo ao uso contínuo a que são submetidos durante longos períodos. Por isso, as instalações de condicionamento de ar constituem um capítulo importante de um programa de uso racional de energia.

Os sistemas de condicionamento de ar possuem quatro componentes básicos:

- compressor;
- condensador;
- evaporador;
- motor-ventilador.

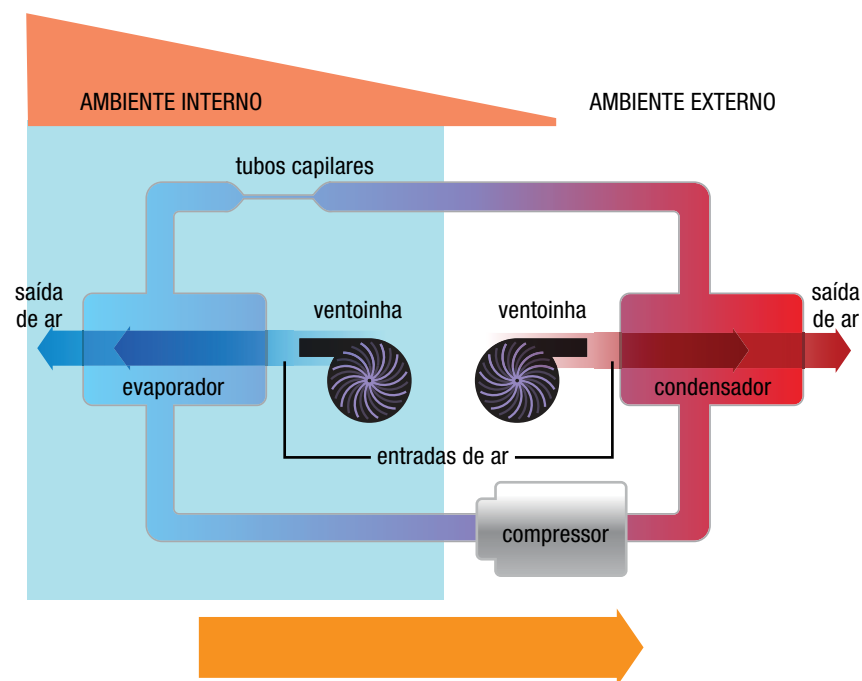
3.1 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento dos condicionadores de ar nada mais é do que a troca de temperatura do ambiente através da passagem do ar pela serpentina do evaporador que, por contato, sofre queda ou aumento de temperatura, dependendo do ciclo utilizado, baixando a umidade relativa do ar.

Quando alcançada a temperatura desejada, se faz uma leitura por meio de um sensor localizado no evaporador, e este por sua vez desliga o compressor, fazendo com que o equipamento mantenha a temperatura; qualquer variação na temperatura estipulada aciona novamente o compressor que é responsável pela circulação do gás refrigerante dentro do sistema.

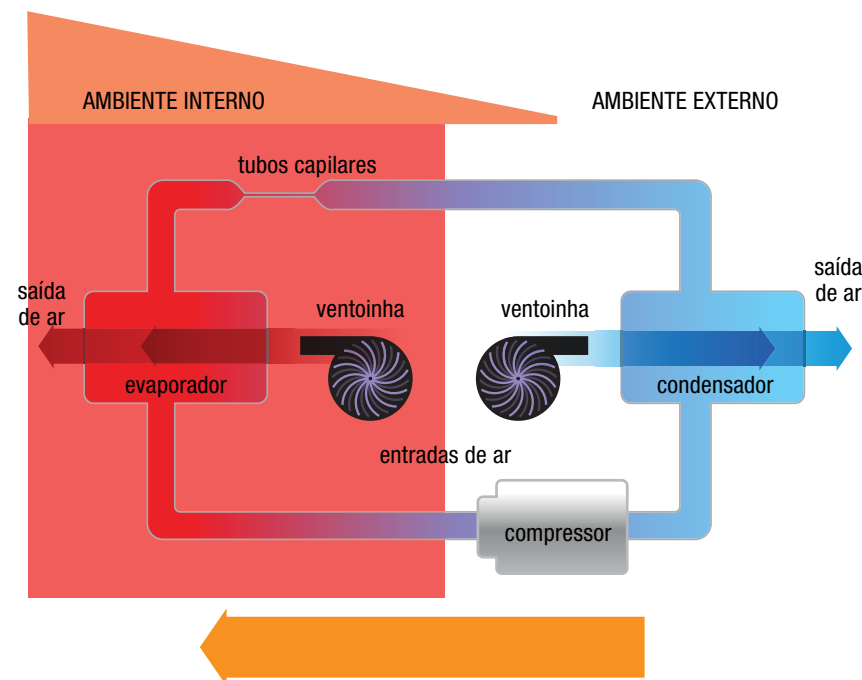
3.2. Operação de refrigeração

No caso da operação de refrigeração, o gás sai do compressor em alta pressão e alta temperatura. No caminho que percorre no condensador, perde calor, e continua perdendo no “elemento de expansão” (tubo capilar e filtro secador). No evaporador, o gás já chega frio, pronto para refrigerar o ambiente interno, e carregando o calor para o ambiente externo.



3.3. Operação de aquecimento

Para a operação de aquecimento, o princípio é o mesmo. A diferença é que existe uma válvula reversora que muda o caminho que o gás vai percorrer. Em vez de ir primeiro para o condensador como no ciclo frio, o gás vai primeiro para o evaporador. Com isso, o condensador e o evaporador trocam de papel. Tudo funciona da mesma forma, só que inversamente. Quem fica quente é o evaporador (ambiente interno) e o condensador, fica frio (ambiente externo).



3.4 Cálculo de BTU

BTU é a unidade que mede a quantidade de calor presente em um ambiente fechado, e que precisa ser retirada ou adicionada para atingir um conforto térmico. A sigla BTU significa Bristish Thermal Unit ou Unidade Térmica Britânica.

Existem algumas variáveis para se calcular a BTU ou a quantidade de calor que precisa ser retirada de um ambiente. Entre elas, é preciso considerar:

- como o ambiente recebe a incidência do sol;
- se há sombra o dia todo; sol o dia todo; só na parte da tarde; ou só na parte da manhã;
- a localização do ambiente;
- se é região litorânea;
- se fica em andar térreo;
- se fica entre andares;
- o tipo de telhado.

Outras variáveis que influenciam esse cálculo são:

- números de janelas;
- números de portas;
- paredes externas e janelas que recebem insolação;

- quantidade e potência de equipamentos elétricos e lâmpadas que dissipam calor;
- número de pessoas no ambiente.

Em média, utiliza-se para cálculo de carga térmica 600 BTU/h por metro quadrado. Por exemplo, um ambiente de 20 m² seria: $600 \times 20 = 12.000$ BTU.

Entre as ações que podem ser implementadas para melhorar o rendimento energético do sistema de ar-condicionado, podemos destacar:

- o controle das fontes externas de calor (ou de frio), como insolação e ventilação natural, aproveitando-as para aumentar ou diminuir a temperatura do ambiente, conforme a época do ano ou os objetivos desejados;
- regular as fontes internas de calor (ou de frio), otimizando o funcionamento de equipamentos e instalações como motores elétricos, fornos, iluminação, e procedendo ao isolamento térmico de tubulações e depósitos de substâncias aquecidas (ou geladas);
- a conscientização dos usuários sobre a necessidade de se manter fechadas portas e janelas dos ambientes climatizados (deve-se colocar avisos nesse sentido nas portas e janelas);
- regular o sistema para que opere em torno da maior temperatura da zona de conforto indicada pelo projetista, ou instalador, ou dos índices indicados pela ABNT;
- desligar o sistema sempre que o ambiente estiver desocupado (deve-se estudar a possibilidade de desligar o ar-condicionado uma hora antes do encerramento do expediente);

- a substituição do ar ambiente pelo ar frio da madrugada para diminuir a carga térmica da edificação;
- operar somente as torres de refrigeração, bombas e outros equipamentos que forem essenciais à operação do sistema;
- operar apenas um equipamento com carga elevada em vez de dois ou mais equipamentos semelhantes com cargas muito abaixo da capacidade normal;
- redução do fluxo de ar ao mínimo aceitável em cada área;
- proceder à manutenção periódica de todo o sistema, eliminando vazamentos e limpando aparelhos de janela, torres de refrigeração etc.;
- instalação de recuperadores de calor, resfriando o ar externo através do ar de exaustão, quando o processo exigir a troca de todo o ar interno por ar externo;
- instalação de um sistema de aeração natural para desligar o sistema de ar-condicionado sempre que as condições permitirem;
- utilização de um sistema de termoacumulação, com água gelada ou com gelo, para diminuir o consumo de energia com condicionamento de ar nos horários de ponta e reduzir a demanda do equipamento;
- utilização de 100% do ar externo quando sua entalpia for menor do que a do ar de retorno, instalando um sistema de controle entálpico;
- instalação de equipamentos de controle de rotação dos motores das bombas de sistemas que usam água gelada para adaptar a vazão às necessidades momentâneas do sistema, reduzindo assim o consumo de energia de bombeamento.



4. AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é uma das mais antigas formas de transmissão de energia que se conhece, sendo utilizada hoje por quase todos os ramos da atividade industrial. Em atividades específicas como mineração, exploração de pedreiras, abertura de túneis, indústrias químicas, siderúrgicas, fundições e indústria automobilística, o ar comprimido é uma fonte de energia insubstituível.

As instalações de ar comprimido apresentam grandes oportunidades de economia de energia, começando com o projeto adequado, a forma correta de operação e a implantação de um programa de manutenção eficiente.

É comum a utilização da unidade de medidas para vazão do fluido em metros cúbicos por hora (m^3/h) ou ainda em determinadas condições utiliza-se a unidade Normal metros cúbicos por hora (Nm^3/h).

Entretanto, são várias as unidades utilizadas para a pressão, que no Sistema Internacional (SI) é definida como Pascal (Pa), equivalente a 1 Newton/1m². Assim, utilizam-se para a pressão unidades como milímetros de mercúrio (mmHg), atmosfera (atm), Torricelli (torr), libras por polegada ao quadrado (psi) e o bar.

A pressão atmosférica medida no nível do mar é de 101.325 Pascals (Pa) = 101.325 Newtons/m² (corresponde a 760 mm de Hg). Essa unidade é conhecida como uma atmosfera e, também, um torr.

ALGUMAS EQUIVALÊNCIAS ENTRE AS UNIDADES DE MEDIDA:

$$1 \text{ Pa (Pascal)} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Newton/1m}^2$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1013,25 \text{ mb (milibar)} = 1 \text{ torr (Torricelli)} = \\ 1,01325 \text{ bar} = 101.325 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ psi (libra por polegada ao quadrado)} = 0,07 \text{ atm}$$

$$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi} = 100 \text{ mil Pa}$$

4.1 Economia de energia na produção e distribuição de ar comprimido

Existem várias maneiras de se economizar em sistemas de ar comprimido. Bastam algumas regulagens simples, como baixar a pressão até o mínimo necessário para o funcionamento do equipamento, ou um pouco mais de cuidado na manutenção com a limitação e o conserto de vazamentos, ou ainda tomar medidas mais dispendiosas como a substituição de compressores ineficientes por novos modelos que ofereçam melhor rendimento energético, qualidade de ar superior etc.

4.2 Utilização racional das instalações

A regra principal é cuidar para que a temperatura do ar, na admissão do compressor, seja a mais baixa possível. Um aumento de 5 °C na temperatura do ar aspirado significa um aumento no consumo da ordem de 1%.

Para melhorar o rendimento energético, é aconselhável utilizar reservatórios de ar suficientemente grandes (capacidade do reservatório superior a 100 ou 150 litros para cada m³ por minuto de vazão de ar) e reduzir a incrustação nos circuitos de arrefecimento.

É importante manter a lubrificação adequada dos equipamentos pneumáticos. Para isso, é aconselhável instalar dispositivos especiais, evitando assim a lubrificação manual, que exige o desligamento dos aparelhos.

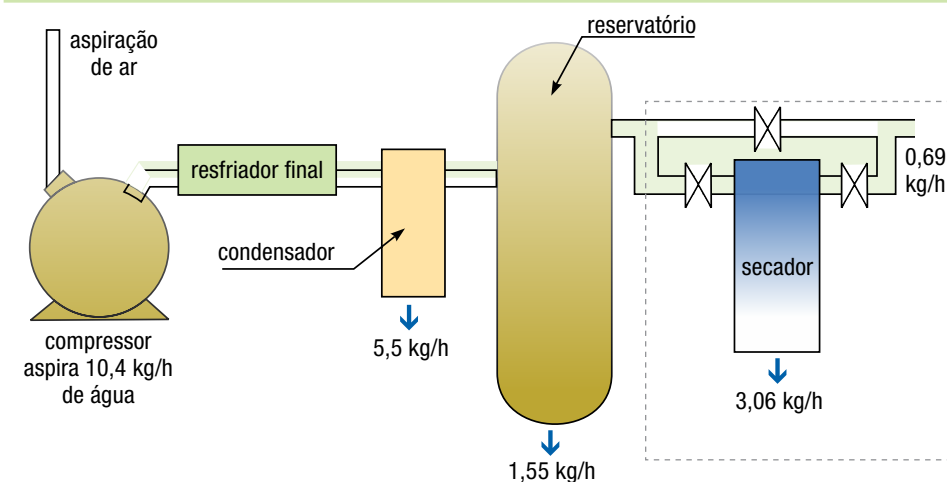
A limpeza do filtro de admissão de ar também é de suma importância, uma vez que, quando a pressão de admissão se eleva de 250 mm de coluna de água, o rendimento cai em 2%.

Para que o equipamento apresente boas condições de operação e garanta um menor consumo de energia, deve-se seguir periodicamente alguns procedimentos básicos de manutenção.

4.3 Cuidados com a operação dos sistemas de secagem de ar

A água provoca fenômenos de oxidação, perda de carga e de rendimento, assim como a deterioração da rede, que causa perdas por vazamentos. Portanto, é importante secar o ar comprimido antes que ele circule na tubulação. Para isso, apresentamos uma sugestão no exemplo a seguir.

Esquema básico de instalação



4.4 Eliminação de vazamentos e de outras fontes de desperdício

Os vazamentos são a maior fonte de desperdício em um sistema de ar comprimido. Em alguns casos, as perdas são superiores a 50%. Na prática, no entanto, encontram-se vazamentos de até 45% em instalações de grande porte.

Embora não seja possível dizer qual é o nível de vazamento tolerável em uma rede de ar comprimido, pois, dependendo da idade e do tipo da instalação, valores de até 5% ainda podem ser considerados toleráveis. Em algumas instalações, como siderúrgicas e estaleiros, por exemplo, são toleráveis vazamentos de até 10%.

A tabela a seguir mostra o consumo de energia necessário para suprir os vazamentos numa rede operando a uma pressão de 7 bar durante 6.000 horas por ano.

Consumo de energia para suprir vazamentos

VAZAMENTO		PERDA (l/min)	POTÊNCIA NECESSÁRIA PARA COMPRIMIR O AR PERDIDO (kW)	CONSUNO ANUAL (kWh)
DIÂMETRO (mm)	SUPERFÍCIE (mm²)			
0,8	0,5	12	0,1	600
1,5	1,8	186	1	6.000
3	7	660	3,5	21.000
6	28	2.570	15	90.000

Esta outra tabela mostra a quantidade de ar comprimido perdida por furos relativamente pequenos a diversas pressões manométricas.

Perdas por furos a 21 °C (cantos arredondados)

PRESSÃO MANOM. (bar)	DIÂMETRO DO FURO (mm)				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
CAUDAL (m³/h)					
4,5	0,748	2,992	6,731	11,966	18,697
5,0	0,816	3,263	7,343	13,054	20,397
5,5	0,884	3,535	7,955	14,142	22,096
6,0	0,952	3,807	8,567	15,230	23,796

Devemos lembrar, porém, que é impossível eliminar todos os vazamentos de uma rede de ar comprimido. Sendo assim, quando calcularmos o potencial de economia, isso deve ser levado em consideração, aceitando-se um determinado nível de vazamento residual.

4.5 Método para avaliação dos vazamentos

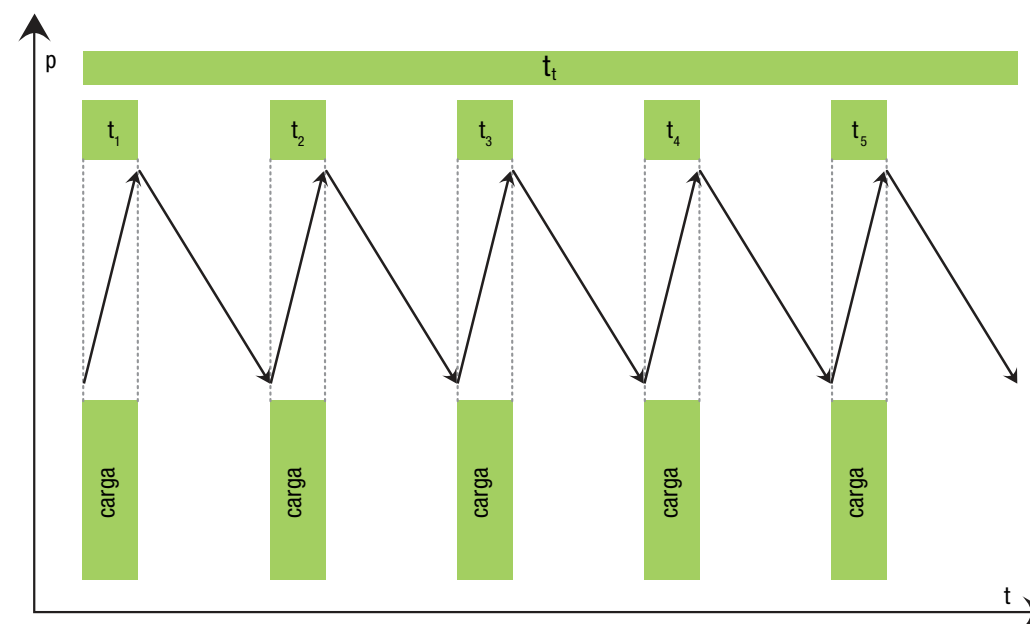
Antes de se implantar um programa de conservação de energia em sistemas de ar comprimido, é importante avaliar aproximadamente as perdas que ocorrem com vazamentos. Para tanto, pode-se utilizar um método simplificado que considere a vazão conhecida de ar livre do compressor, com o auxílio de um relógio comum ou cronômetro.

Para isso, deve-se observar o seguinte roteiro:

- 1- Fechar as entradas de ar dos aparelhos utilizados.
- 2- Colocar o compressor em marcha até atingir a pressão de trabalho nas tubulações.
- 3- No exato momento em que o compressor atingir a pressão de trabalho, determina-se o primeiro horário.
- 4- Se houver vazamentos, a pressão da rede irá diminuir fazendo com que o compressor recomece a operar com carga (neste momento, deve-se marcar o tempo novamente para se determinar o segundo horário).
- 5- Ao atingir novamente a pressão de trabalho, o compressor entrará em alívio, pois as perdas por vazamento já foram repostas. Esse horário deverá ser anotado, pois representará o terceiro horário a ser considerado.
- 6- Mede-se os tempos de 5 operações em carga consecutivas (t_1 a t_5).
- 7- Paralelamente, mede-se o tempo total (t_t) de 5 ciclos de carga e descarga completos, ou seja, espera-se até o compressor entrar em carga pela sexta vez.

A figura da página ao lado representa graficamente os tempos a serem medidos e os intervalos em alívio/desligados a serem considerados nos cálculos.

Representação gráfica da determinação de vazamentos



Para determinar as perdas com vazamento, deve-se utilizar a seguinte fórmula:

$$F = Q \cdot \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{t_t}$$

em que:

F = Perdas por vazamento na instalação (m³/min)

Q = Vazão de ar do compressor (m³/min)

t_t = tempo total decorrido no teste

t_1 a t_5 = tempos parciais do compressor em carga durante o teste

Para determinar as perdas com vazamento, deve-se utilizar a seguinte fórmula:

$$F = \frac{Q \times T}{T \times t}$$

em que:

F = Perdas por vazamento na instalação (m³/min)

Q = Vazão de ar do compressor (m³/min)

T = Tempo de carga em minuto, determinado pela diferença dos horários anotados nos itens 4 e 5

t = tempo de alívio (em vazio) em minutos, determinado pela diferença dos horários anotados nos itens 3 e 4.

Observação: Para refinar os resultados, deve-se repetir o método de três a quatro vezes e calcular as médias dos valores encontrados.

O índice de vazamento encontrado é referente ao compressor utilizado no teste. Para calcular o percentual de perdas, deve-se comparar o caudal em relação à capacidade de todos os compressores utilizados na produção de ar comprimido.

Lembre-se de que em uma rede bem cuidada, os vazamentos não devem ultrapassar 5% da vazão.

4.6 Redução das perdas de carga

A variação entre a pressão medida no reservatório e na extremidade das derivações não deve ser superior a uma perda de 0,5 bar. Uma perda de carga de 0,5 bar numa rede de 7 bar resulta num consumo adicional de energia da ordem de 3%. Quedas de pressão de 0,7 a 2,1 bar na entrada de uma ferramenta reduzem sua potência de 14% a 55%.

De modo geral, limita-se a velocidade do ar a um máximo de 36 metros por minuto nas tubulações principais. Sempre que possível, utilizam-se curvas com grande raio e uniões em curva para tubulações.

4.7 Aumento das seções das tubulações

Ao projetarmos uma instalação nova, reforma ou ampliação, devemos, se possível, aumentar em 10% o diâmetro das tubulações, o que acarretará normalmente um aumento de 10% a 20% nos custos, mas a perda de carga se reduzirá em 32% e, conseqüentemente, haverá uma redução no consumo de energia da ordem de 30%.

4.8 Redução da pressão

Ao analisarmos uma central de ar comprimido, devemos sempre verificar qual é a real necessidade de pressão nos equipamentos utilizadores e se essa pressão deve ser mantida por todo o tempo. No quadro a seguir, são mostradas as economias de energia aproximadas, obtidas com a redução da pressão de trabalho para uma rede que opera, inicialmente, a 7 bar.

Economia de energia com redução de pressão

COMPRESSOR	REDUÇÃO DA PRESSÃO DE 7 bar PARA:	
	6,4 bar	5,6 bar
1 estágio	4%	11%
2 estágios arrefecimento a água	4%	11%
2 estágios arrefecimento a ar	3%	7%

As despesas com dispositivos para otimizar uma rede que opera com baixa vazão e alta pressão de ar trazem rapidamente dividendos. A instalação de um redutor de pressão montado para alimentar equipamentos a pressão normal pode resultar em uma economia de energia de até 24%.

Essa avaliação deve ser feita principalmente nos finais de semana, quando a instalação de ar comprimido estiver trabalhando com pressão acima da necessária, uma vez que os equipamentos utilizadores não estão operando em sua totalidade, permitindo, portanto, uma maior redução da pressão nesses períodos, o que resultará em economias representativas de energia elétrica.

4.9 Medidas a serem observadas quando da elaboração do projeto

O projeto das instalações de ar comprimido deve considerar vários aspectos fundamentais para o aumento da eficiência energética. Medidas importantes, quando adotadas durante a fase de projeto, não implicam um grande aumento de investimento inicial, e trazem significativa redução no consumo de energia ao longo de toda a vida útil da instalação.

Vejamos algumas medidas genéricas que podem ser adotadas na maioria dos projetos de instalações de ar comprimido, sendo que o bom senso do projetista contribuirá para que outras medidas de racionalização energética específicas da sua instalação sejam incorporadas ao projeto.

4.9.1 Escolha do compressor

A escolha do compressor adequado às necessidades do processo produtivo é um aspecto importante a ser considerado, devendo-se verificar, por exemplo, a possibilidade de se utilizar compressores com múltiplos estágios de compressão.

O tamanho, tipo e número de compressores a serem adquiridos dependem, entre outras coisas, da pressão de trabalho, da vazão requerida e do ambiente de trabalho. A sua determinação é uma das tarefas mais complexas no projeto de uma instalação de ar comprimido, a qual deve ser feita por um especialista.

Quando da aquisição dos compressores, deve-se verificar o consumo específico deles, ou seja, o quilowatt-hora consumido por metro cúbico de ar livre comprimido. Porém, é necessário considerar todos os equipamentos secundários instalados. Um compressor arrefecido a água necessita de uma bomba de circulação

de água e de um motor para o ventilador da torre de resfriamento, por exemplo, equipamentos que normalmente não constam dos consumos nos catálogos dos fabricantes.

A utilização de sistemas com velocidade variável através do conversor eletrônico de frequência é muito vantajosa quando a instalação de ar comprimido opera com flutuações e grandes vazões. O sistema mede precisamente a pressão da rede, enviando um sinal ao compressor para que atenda exatamente à demanda necessária. Porém, o custo desse tipo de compressor é mais elevado, justificando a sua utilização para suprir as variações do sistema, mas nunca como compressor de base, pois, neste caso, ele funcionará sempre a plena carga, tornando o variador de frequência desnecessário.

O sistema de velocidade variável, controlando continuamente a velocidade, elimina a necessidade de estrangulamento do ar de admissão ou de sistema carga/alívio. Isso representa uma grande economia de energia, particularmente durante os períodos em que o compressor estiver operando com carga parcial.

4.9.2 Dimensionamento das tubulações

O projeto adequado da rede de distribuição é outro ponto de grande importância na eficiência energética. Deve-se procurar minimizar as perdas de carga.

Na linha principal, a velocidade máxima do ar comprimido deve ser de 8 m/s e a perda máxima admissível deve ser de 0,04 bar. Na linha de distribuição (para comprimentos menores de 10 metros), a velocidade máxima do ar comprimido deve situar-se entre 7 e 10 m/s e a perda máxima admissível deve ser de 0,03 bar. As linhas de serviço devem apresentar velocidade máxima do ar comprimido de 15 m/s e sua perda máxima admissível deve ser mantida em 0,03 bar.

Caso esses valores não possam ser obedecidos, deve-se considerar uma perda de carga de 0,08 kgf/cm² para cada 100 metros de tubulação no projeto.

Uma perda de carga de 1 bar na distribuição do ar comprimido, produzido a 8 bar manométricos por um compressor com 1 estágio de compressão, significa um consumo adicional de energia de 7,13%.

As tubulações devem ser dimensionadas prevendo-se um futuro aumento de carga. Depois de instalada, dificilmente a tubulação será modificada e, normalmente, novas linhas de distribuição não serão adicionadas à rede existente.

Sempre que possível, utilizam-se curvas com grande raio e uniões em curva para tubulações.

Lembramos que quedas de pressão de 0,7 a 2,1bar na entrada de uma ferramenta reduzem sua potência de 14% a 55%, aumentando o seu tempo de utilização e prejudicando a produtividade.

4.9.3 Recuperação de calor

É possível ainda prever no projeto de instalação um sistema de recuperação de calor gerado pelo arrefecimento dos compressores, permitindo o aproveitamento de mais de 90% do calor gerado, no caso de compressores de deslocamento positivo.

Na especificação técnica, para a compra do compressor, é importante consultar o fabricante sobre a possibilidade de utilização de recuperadores de calor. O calor recuperado pode ser utilizado para o aquecimento da água para o banho de funcionários ou preaquecimento de água para as caldeiras, por exemplo.

4.9.4 Temperatura de captação do ar

O ponto de captação do ar a ser comprimido, por exemplo, deve estar em local de baixa incidência de calor. Um aumento de 5 °C na temperatura do ar aspirado implica um aumento do consumo da energia da ordem de 1,65%.

Os compressores devem ser instalados, de preferência, em locais bem ventilados com captação do ar do ambiente externo. Cuidados adicionais devem ser tomados para que o ar muito frio (abaixo de 4 °C) não seja aspirado pelo compressor, pois poderá causar o seu congelamento.

4.9.5 Umidade

A água provoca fenômenos de oxidação, perda de carga e de rendimento, assim como a deterioração da rede, causando perdas por vazamentos. Portanto, é importante secar o ar comprimido antes que ele circule na tubulação. Uma sugestão é apresentada no exemplo a seguir.

Seja uma central de ar comprimido com vazão de 1.000 m³/h a 7 bar manométricos de pressão. A aspiração de 1.000 m³/h arrasta consigo 10,4 kg/h de água, dos quais 5,5 kg/h são extraídos do ar ao passar pelo resfriador e recipiente de condensação (alguns compressores descartam diretamente a água condensada durante a compressão).

No reservatório, o ar ao resfriar-se até 30 °C, por estar saturado, condensa novamente, liberando 1,15 kg/h de água, restando ainda 3,75 kg/h.

No secador de ar por refrigeração, o ar é resfriado a 20 °C, resultando em uma nova extração de água de 3,06 kg/h.

Com essa configuração, é possível obter ar comprimido útil contendo 0,69 kg/h de água, amenizando consideravelmente os problemas que podem ser causados numa instalação convencional.

Os secadores devem ser dimensionados para a vazão máxima do sistema, com capacidade de retirar a umidade do ar nos períodos mais úmidos do ano. Quando da expansão do número ou capacidade dos compressores, também o sistema de secagem deverá ser adequado.

Mesmo com todos os cuidados na secagem do ar, a umidade pode vir a contaminar a rede de distribuição do ar. Por esse motivo, as tubulações devem ser instaladas com um caimento de 1:200 e os purgadores devem ser instalados a determinados intervalos para a retirada de água condensada da linha. Essa medida contribui para a melhoria da purga do condensado formado na rede, reduzindo a incidência de vazamentos futuros na instalação.

4.9.6 Captação do ar

A regra principal é cuidar para que a temperatura do ar, na admissão do compressor, seja a mais baixa possível.

Redução do consumo por redução da temperatura de captação do ar

		PARA				
		40 °C	35 °C	30 °C	25 °C	20 °C
DE	45 °C	1,60%	3,25%	4,95%	6,71%	8,53%
	40 °C		1,62%	3,30%	5,03%	6,83%
	35 °C			1,65%	3,36%	5,12%
	30 °C				1,68%	3,41%
	25 °C					1,71%

Por exemplo, uma redução da temperatura de captação do ar de 35 °C para 30 °C significa uma redução do consumo de 1,65%.

Caso não ocorra captação do ar exterior com temperaturas mais baixas, deve-se estudar a possibilidade de modificar a captação do ar de modo a obtê-lo a temperaturas mais baixas.

4.9.7 Redução da pressão

Ao analisarmos uma central de ar comprimido, devemos sempre verificar qual é a real necessidade de pressão nos equipamentos utilizadores e se essa pressão deve ser mantida por todo o tempo.

Economia de energia com redução de pressão (compressor de 1 estágio)

		PARA				
		9 bar	8 bar	7 bar	6 bar	5 bar
DE	15 bar	23,08%	27,84%	32,98%	38,61%	44,83%
	14 bar	20,41%	25,33%	30,65%	36,47%	42,92%
	13 bar	17,40%	22,50%	28,03%	34,07%	40,76%
	12 bar	13,97%	19,29%	25,05%	31,34%	38,30%
	11 bar	10,04%	15,60%	21,62%	28,20%	35,48%
	10 bar	5,44%	11,29%	17,62%	24,53%	32,19%
	09 bar		6,18%	12,87%	20,19%	28,28%
	08 bar			7,13%	14,93%	23,56%
	07 bar				8,39%	17,69%
	06 bar					10,14%

Procede-se à redução gradual da pressão por meio dos pressostatos de alta dos compressores, até que se atinja a menor pressão possível para a operação sem problemas nos equipamentos consumidores.

A redução de pressão junto aos equipamentos não resulta em economia de energia, pois o ar já foi comprimido a uma pressão mais elevada, ou seja, o trabalho de compressão (energia) já foi realizado.

4.9.8 Controles

Além do controle por meio de variadores de frequência, utilização de gerenciadores e controle por meio de alívio há também o controle por cascata. É a forma mais comum de controlar os compressores, principalmente os a pistão, porém pouco aplicada.

Cada compressor é ajustado para um ponto mínimo e máximo de operação diferenciado e os compressores são acionados em sequência de acordo com o nível de queda de pressão e consequente demanda de ar comprimido do sistema.

Quando a demanda de ar comprimido é pequena, somente um compressor entra em operação. À medida que a demanda aumenta, outros compressores são acionados.

Dessa forma, evita-se que todos os compressores sejam ligados e desligados ao mesmo tempo, reduzindo-se assim os ciclos de ligamento deles e reduzindo o consumo de energia.

Recomenda-se o rodízio dos compressores nesse tipo de controle, ou seja, durante uma semana, determinado compressor supre a carga básica e outros as variações. Na semana seguinte, o compressor utilizado para a carga básica na semana anterior vai para o “topo” e outro compressor é utilizado para a carga básica, desde que do mesmo tamanho. Com o rodízio, evita-se que um compressor seja utilizado mais do que os outros.

4.9.9 Monitoramento

Por meio do monitoramento da produção de ar comprimido, obtém-se informações sobre o aumento excessivo do consumo de ar comprimido, indicando possível aumento de vazamentos nas instalações. A implementação do monitoramento é simples:

- eliminam-se os vazamentos da instalação tanto quanto possível;
- na ausência do registro da vazão dos compressores, instala-se um medidor de energia elétrica para que a energia consumida por todos os compressores possa ser registrada;
- por algum tempo, relaciona-se o consumo de ar comprimido (kWh ou m³) à produção (horária, diária, semanal), obtendo um consumo específico padrão (kWh/t, m³/t, kWh/unidade, m³/unidade...), que será utilizado como padrão.

Ao longo do tempo, o consumo específico irá aumentar devido a vazamentos, até atingir um valor considerado o máximo admissível.

Nesse momento, deve ser feita uma nova verificação da rede de ar comprimido para suprimir os vazamentos, levando o consumo específico ao seu patamar inicial.

Outro item a ser monitorado é a capacidade dos compressores de ar. Apesar de não nos oferecer uma informação qualitativa, nos fornece uma boa base de comparação ao longo do tempo. A metodologia a adotar é a que segue:

- fecham-se as válvulas de saída de todos os compressores, com exceção do compressor a testar;

- fecha-se a válvula de distribuição de ar comprimido que fica depois do reservatório de ar;
- esvazia-se o reservatório de ar comprimido;
- liga-se o compressor a ser testado e anota-se o tempo gasto até que a pressão de trabalho tenha sido atingida;
- repete-se o procedimento para todos os outros compressores.

Esses testes devem ser refeitos periodicamente, por exemplo, de três em três meses. Caso o tempo gasto para atingir a pressão de trabalho, que deve ser sempre a mesma, varie substancialmente, poderá haver algum problema na linha entre o compressor e o reservatório ou o compressor pode ter perdido parte de sua capacidade. Nesse caso, uma revisão se faz necessária.

Com compressores em utilização há algum tempo, obtém-se uma base “antiga”, ou seja, o compressor já pode estar com problemas sem apresentar pioras nas medições subsequentes, porém havendo compressores idênticos trabalhando na mesma unidade, comparações podem ser realizadas com os valores obtidos para cada compressor.

Quando da aquisição de novos compressores, recomenda-se a imediata realização desse teste, obtendo-se uma base de comparação “nova”, contra a qual as medições futuras serão avaliadas.

Observação: O tempo de enchimento do reservatório depende, entre outras variáveis, da temperatura e umidade do ar livre, portanto, algumas variações devem ser consideradas normais, principalmente se forem comparados valores obtidos no verão com valores obtidos no inverno.

4.9.10 Manutenção

É importante manter a lubrificação adequada dos equipamentos pneumáticos. Para isso, é aconselhável instalar dispositivos especiais, evitando a lubrificação manual que exige o desligamento dos aparelhos.

Para que o equipamento apresente as melhores condições de operação e garanta um menor consumo de energia deve-se seguir periodicamente alguns procedimentos básicos de manutenção.

A tabela abaixo apresenta um plano com as principais operações a serem efetuadas.

Outro aspecto de grande importância a ser incluído nos programas de manutenção são os sistemas de lubrificação dos equipamentos pneumáticos, devendo-se dar preferência para a instalação de dispositivos automáticos, que fazem a lubrificação adequada sem que seja necessário desligar os equipamentos.

Algumas ferramentas pneumáticas têm lubrificador interno. No entanto, seu reservatório tem pouca capacidade e o nível e a quantidade de óleo fornecido não podem ser monitorados, sendo, portanto, mais conveniente a utilização de lubrificadores de linha, que devem ser instalados o mais próximo possível do ponto de aplicação para evitar que o óleo se deposite nas paredes dos tubos.

A manutenção deve ainda preocupar-se com a eficiência dos sistemas de drenagem das redes de distribuição do ar comprimido, mantendo o ar o mais seco possível.

A água condensada que chega aos equipamentos traz uma série de transtornos:

- lava o lubrificante, provocando maior desgaste e aumento da necessidade de manutenção;

- prejudica o funcionamento de válvulas, cilindros e instrumentos de controle;
- prejudica a qualidade dos produtos;

Plano de manutenção

PROCEDIMENTO	PERIODICIDADE
1. Lubrificação	
Verificar as condições de óleo	500 horas
Trocar o óleo	3.000 a 6.000 horas
2. Válvulas de retenção	
Vistoria periódica	trimestral
3. Filtro de admissão de ar	
Limpar (quando a pressão de admissão se eleva de 250 mm de coluna de água, o rendimento cai em 2%)	semanal
4. Correias	
Verificar a tensão das correias de acionamento	mensal
5. Circuito de água	
Desincrustação (conforme o aumento da temperatura da água e do ar)	verificar pelo menos 1 vez por ano
6. Circuito de ar	
Purgar ou verificar o funcionamento dos purgadores	diariamente
7. Revisão geral	
	6.000 horas

- provoca corrosão;
- provoca condensação ou congelamento no escapamento dos equipamentos pneumáticos.

A tabela da página a seguir apresenta uma lista de ações de melhoria, com estimativas do grau de aplicabilidade, dos ganhos e do potencial de contribuição.

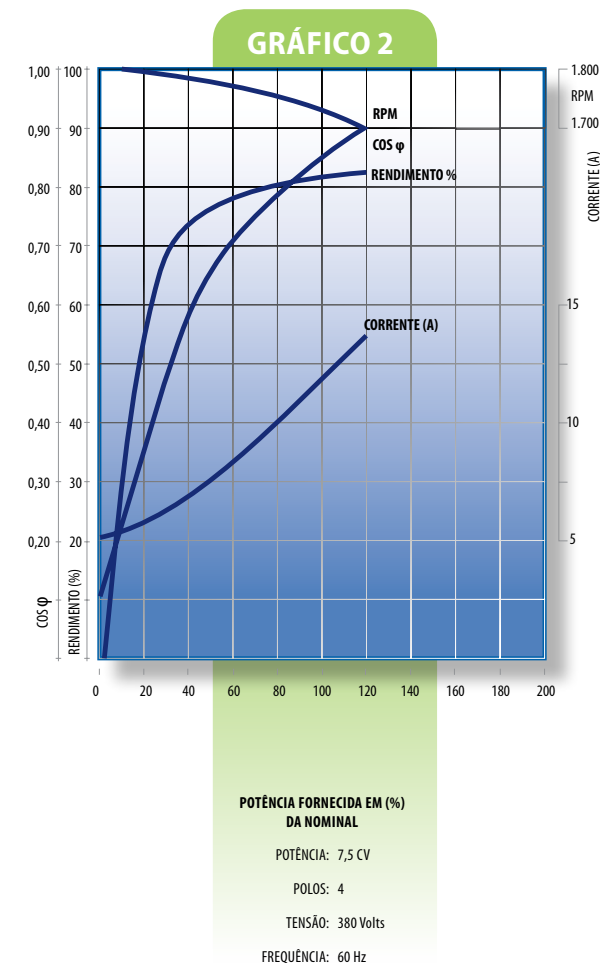
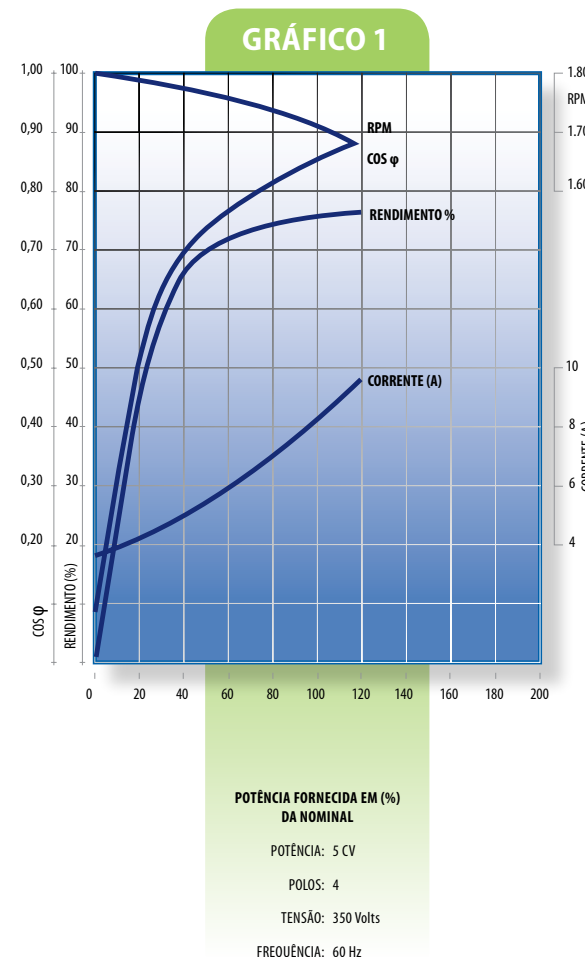
MEDIDAS DE ECONOMIA DE ENERGIA	APLICABILIDADE ⁽¹⁾	GANHOS ⁽²⁾	POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO ⁽³⁾
INSTALAÇÃO OU RENOVAÇÃO DO SISTEMA			
melhoria dos acionamentos (motores de alta eficiência)	25%	2%	0,5%
melhoria dos acionamentos (Reguladores de velocidade)	25%	15%	3,8%
Troca de conversores por versões mais modernas (aperfeiçoamento)	30%	7%	2,1%
Uso de sistema de controle sofisticado	20%	12%	2,4%
Recuperação de calor rejeitado para uso em outras funções	20%	20%	4,0%
Melhoria no resfriamento, secagem e filtragem do ar	10%	5%	0,5%
Projeto global do sistema, incluindo sistema de multipressões	50%	9%	4,5%
Redução na perda por queda de pressão	50%	3%	1,5%
Otimização de dispositivos (equipamentos) de uso final	5%	40%	2,0%
MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA			
Redução de vazamentos de ar	80%	20%	16%
Substituição de filtros mais frequente	40%	2%	0,8%
TOTAL			32,9%
(1) Percentual de situações em que esta medida é aplicável (2) Percentual de redução no consumo anual de energia (3) Potencial de contribuição = aplicabilidade x consumo			

Fonte: Manual prático de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido – Procel / Eletrobrás.

Gráficos anexo: Curvas características de motores em função do carregamento

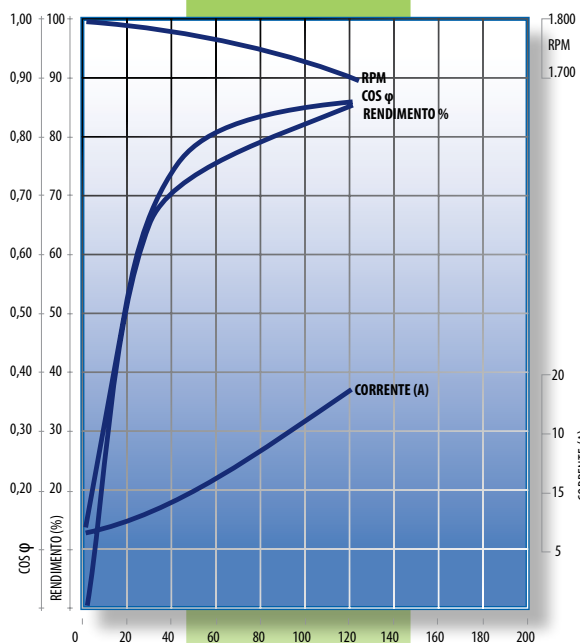
4.10 Sugestões para identificar oportunidades no uso final

- Identifique o uso de equipamentos de baixo consumo de ar comprimido.
- Procure orientações sobre procedimentos adequados, processos ou equipamentos alternativos que sejam capazes de realizar as mesmas aplicações do ar comprimido, porém com menor consumo de energia.
- Monte uma “sala de aula” de treinamento em otimização de sistema ou procure serviços de profissionais em sistemas de ar comprimido.
- Contrate bons profissionais para projetos eficientes ou manutenção adequada, por meio de cadastros, capacitação e certificação desses profissionais.
- Realize campanhas de caça aos vazamentos.
- Revise as aplicações de ar comprimido para determinar os níveis de pressão do ar necessários.
- Revise os usos originais do ar para determinar se o desenvolvimento dos processos de fabricação eliminou alguns pontos de consumo e não são mais necessárias ou podem ser re-configurados para se tornarem mais eficientes.
- Considere a implementação de um programa de detecção e reparos de vazamentos usando um detector ultrassônico de vazamento. Um programa efetivo de reparo de vazamentos deve incluir uma revisão das pressões e dos controles do sistema com objetivo de reduzir o consumo de energia.



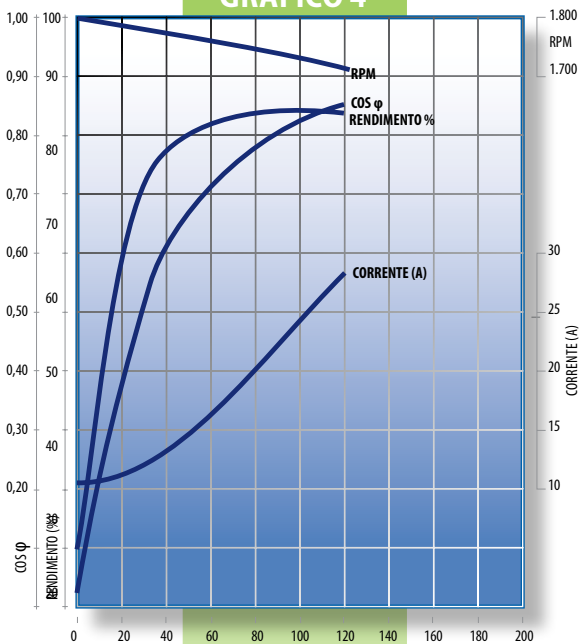
Gráficos anexo: Curvas características de motores em função do carregamento

GRÁFICO 3



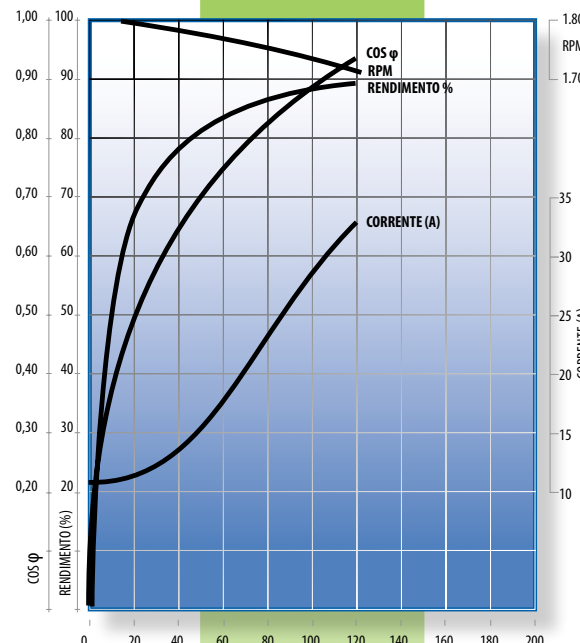
POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL
 POTÊNCIA: 5 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

GRÁFICO 4



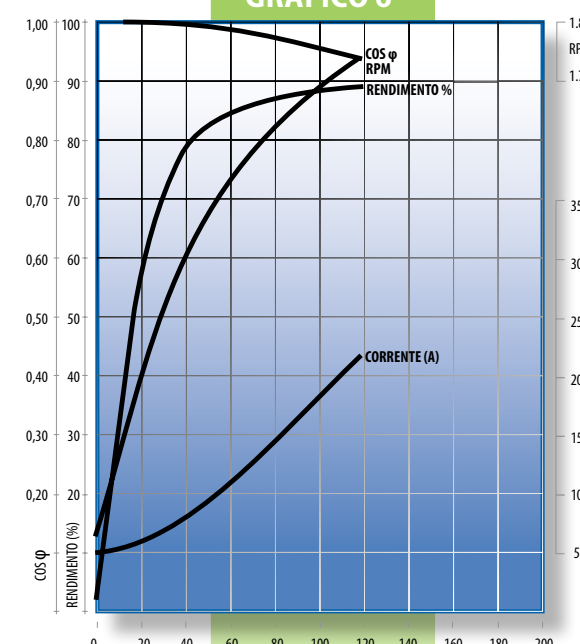
POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL
 POTÊNCIA: 7,5 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

GRÁFICO 5



POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL
 POTÊNCIA: 7,5 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

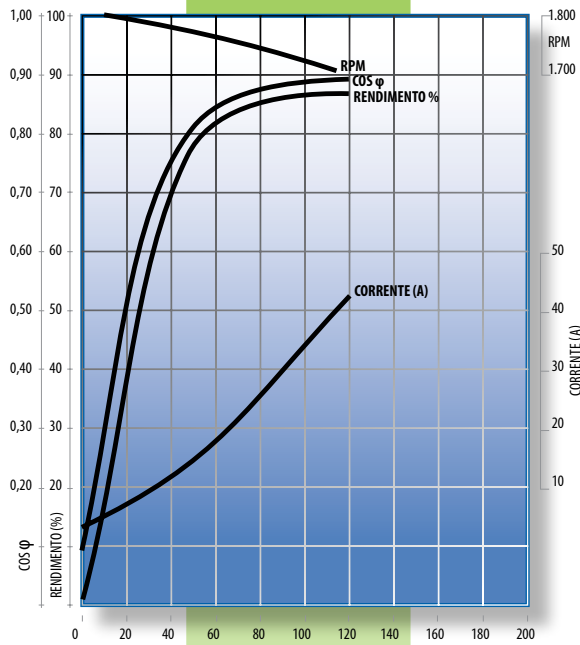
GRÁFICO 6



POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL
 POTÊNCIA: 25 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

Gráficos anexo: Curvas características de motores em função do carregamento

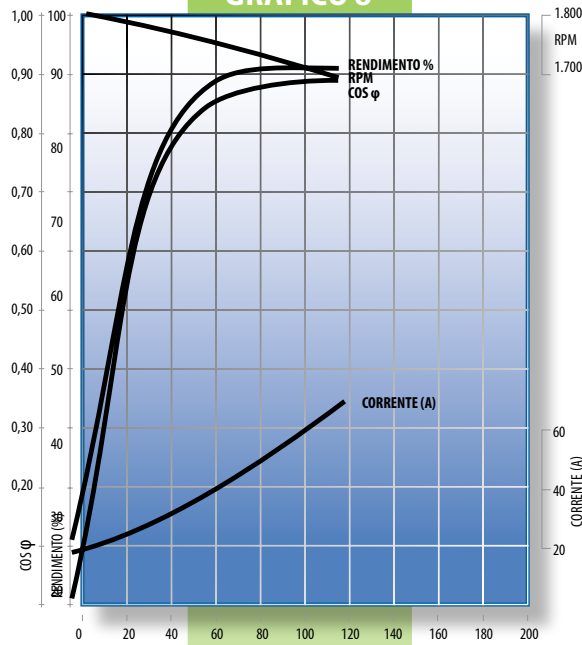
GRÁFICO 7



POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL

POTÊNCIA: 30 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

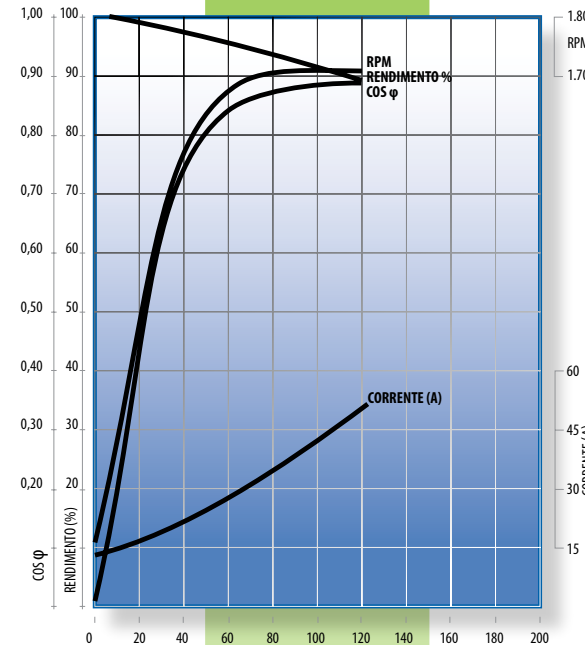
GRÁFICO 8



POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL

POTÊNCIA: 40 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

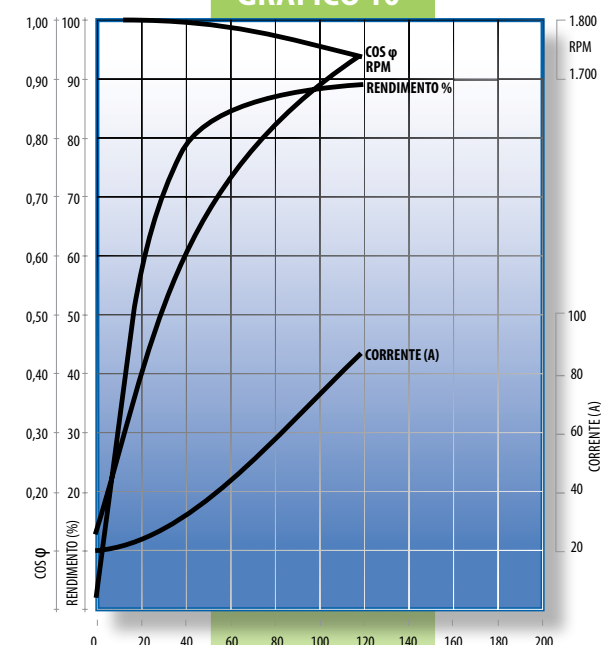
GRÁFICO 9



POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL

POTÊNCIA: 50 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

GRÁFICO 10

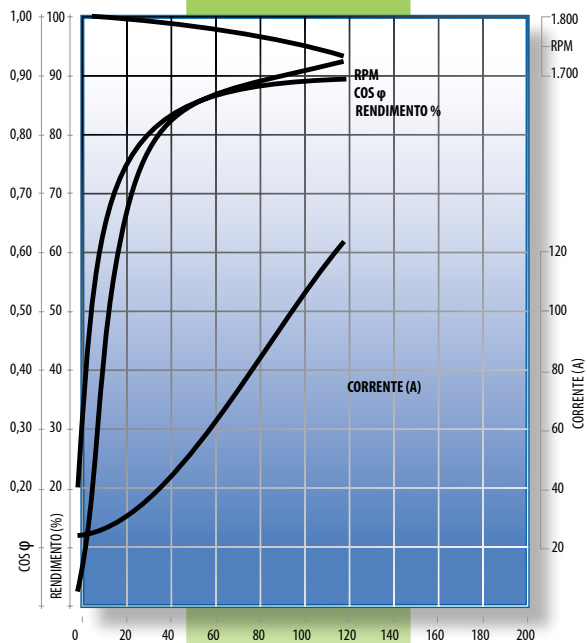


POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL

POTÊNCIA: 60 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

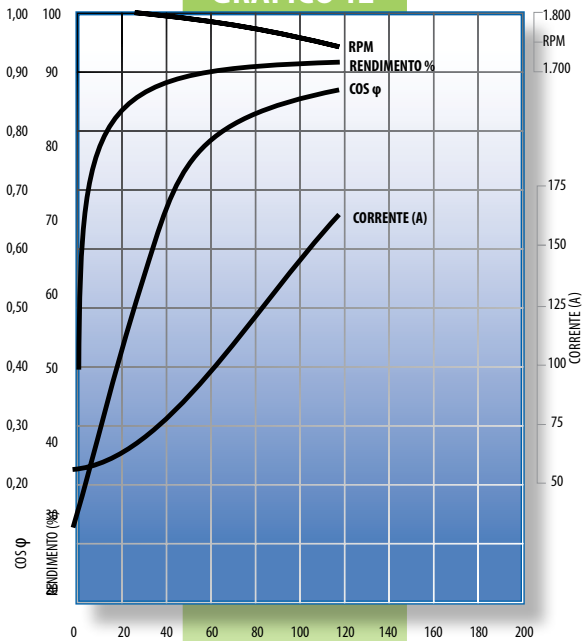
Gráficos anexo: Curvas características de motores em função do carregamento

GRÁFICO 11



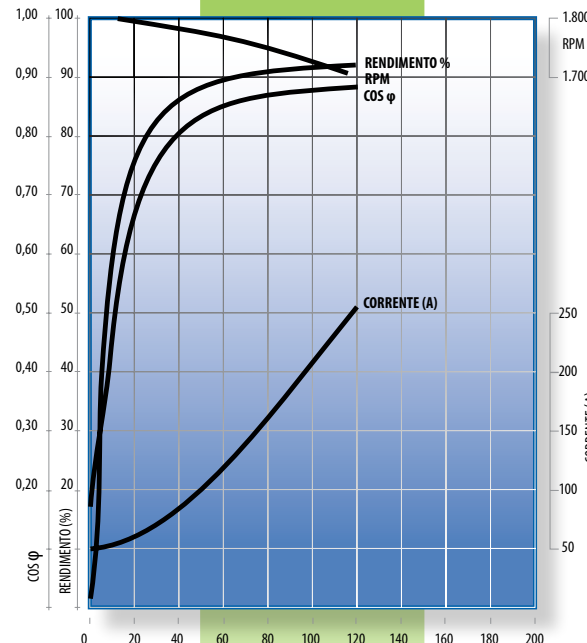
POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL
 POTÊNCIA: 75 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

GRÁFICO 12



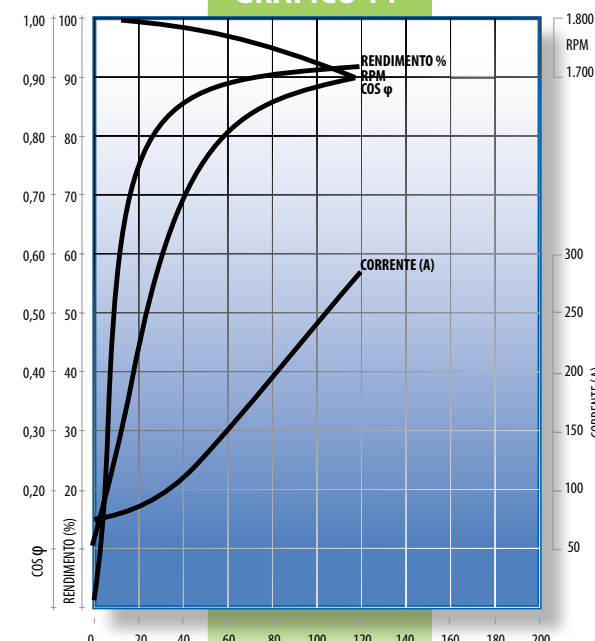
POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL
 POTÊNCIA: 100 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

GRÁFICO 13



POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL
 POTÊNCIA: 150 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

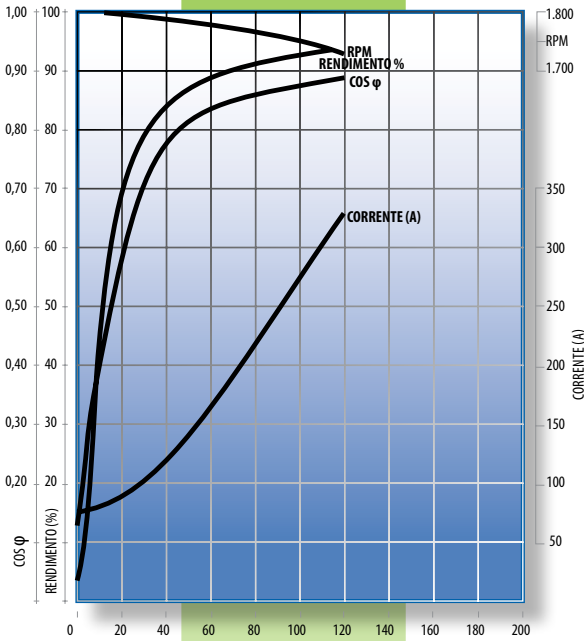
GRÁFICO 14



POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL
 POTÊNCIA: 175 CV
 POLOS: 4
 TENSÃO: 380 Volts
 FREQUÊNCIA: 60 Hz

Gráficos anexo: Curvas características de motores em função do carregamento

GRÁFICO 15



POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL

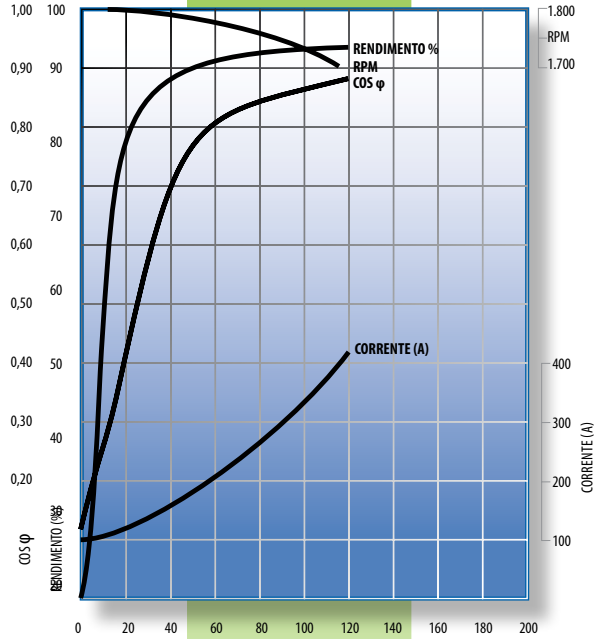
POTÊNCIA: 200 CV

POLOS: 4

TENSÃO: 380 Volts

FREQUÊNCIA: 60 Hz

GRÁFICO 16



POTÊNCIA FORNECIDA EM (%) DA NOMINAL

POTÊNCIA: 250 CV

POLOS: 4

TENSÃO: 380 Volts

FREQUÊNCIA: 60 Hz