

Manual de Administração de Energia



**SECRETARIA
DE ENERGIA**

Força Motriz

*Motores Elétricos
Ar Condicionado
Ar Comprimido*



GOVERNO DO ESTADO DE
SÃO PAULO

São Paulo - 2001

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DE ENERGIA

Coordenadoria de Planejamento e Política Energética

Rua Bela Cintra, 847 - 10º andar
CEP 01415-000 - São Paulo - SP
Telefones: 55 11 3138-7412 / 55 11 3138-7545

www.energia.sp.gov.br

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	3
2. MOTORES ELÉTRICOS	4
2.1 TIPOS DE MOTORES	4
2.2 DIMENSIONAMENTO DE MOTORES	5
2.3 UTILIZAÇÃO RACIONAL DOS EQUIPAMENTOS	7
2.4 MOTORES DE ALTO RENDIMENTO	8
2.5 VARIADORES DE VELOCIDADE	9
2.6 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO	9
3. AR CONDICIONADO	14
4. AR COMPRIMIDO	16
4.1 ECONOMIA DE ENERGIA NA PRODUÇÃO E DIST. DE AR COMPRIMIDO	16
4.2 UTILIZAÇÃO RACIONAL DAS INSTALAÇÕES	16
4.3 CUIDADOS COM A OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE SECAGEM DE AR	17
4.4 ELIMINAÇÃO DE VAZAMENTOS E OUTRAS FONTES DE DESPERDÍCIO	18
4.5 REDUÇÃO DAS PERDAS DE CARGA	19
4.6 AUMENTO DAS SEÇÕES DAS TUBULAÇÕES	19
4.7 REDUÇÃO DA PRESSÃO	19
GRÁFICOS	20

1. INTRODUÇÃO

A força motriz é um dos mais importantes usos finais de eletricidade. Suas aplicações permeiam todos os setores da economia, desde simples equipamentos de uso doméstico até os acionamentos de máquinas em grandes complexos industriais.

No setor industrial a força motriz tem particular importância devido sua grande participação no consumo de eletricidade. Mesmo assim é muito comum encontrarmos em operação motores superdimensionados causando grandes desperdícios de energia elétrica na indústria.

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

O manual “Administração de Energia - Força Motriz” traz importantes orientações sobre as técnicas que envolvem a utilização racional de energia elétrica nos motores, sistemas de condicionamento de ar e sistemas de ar comprimido.

As informações aqui apresentadas têm cunho simplesmente orientativo, cabendo ao responsável pela operação e manutenção, a avaliação criteriosa das possibilidades de implantação das medidas de racionalização do uso de energia, levando em consideração critérios técnicos e econômicos.

2. MOTORES ELÉTRICOS

Grande parte do consumo de energia elétrica das indústrias destina-se à alimentação de motores. Estes equipamentos encontram-se normalmente distribuídos em um amplo espectro de utilizações, que abrange desde máquinas voltadas ao processo industrial até 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. Apesar da elevada parcela que os motores representam no consumo de energia elétrica nacional, é também comum encontrar-se equipamentos operando em vazio quando poderiam ser desligados. Agravando ainda mais o quadro de desperdício característico dos sistemas de força motriz, há uma tendência generalizada de se especificar motores com potências significativamente superiores às necessárias, em nome de uma suposta reserva de potência que em contrapartida iria aumentar a confiabilidade do equipamento.

2.1 TIPOS DE MOTORES

Os motores elétricos existentes no mercado classificam-se quando à forma de corrente que trabalham, em contínua e em alternada. Os motores de corrente contínua apresentam a possibilidade de regulação precisa da velocidade, pois variando-se a voltagem, varia-se a velocidade. Seu custo, entretanto, é mais elevado e acarreta a necessidade de instalação de fonte em corrente contínua ou retificadores. Além disso, apresentam outras desvantagens, principalmente os de maior potência por serem volumosos, não sustentarem grandes velocidades e serem menos eficientes em relação aos de corrente alternada.

Os motores de corrente alternador podem, dependendo do tipo, ser síncronos ou assíncronos. Os motores síncronos operam em velocidades fixas, apresentam rendimento um pouco mais elevado do que os de indução e fator de potência unitário. O custo deste 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 citados acima, sendo usados em quase todos os tipos de máquinas. Nestes motores, a velocidade varia de acordo com a carga aplicada no eixo, sendo o tipo mais comum utilizado. Portanto, as considerações a seguir, serão baseadas em motores trifásicos de indução.

2.2 DIMENSIONAMENTO DE MOTORES

Ao analisarmos as curvas características dos motores, conforme os gráficos anexos, observamos que o rendimento e fator de potência variam conforme o carregamento. Para um dado motor, quanto menor for o carregamento menores serão estes valores e, por conseqüência, menos eficiente será sua operação.

Nem sempre é possível ajustar a potência do motor àquela efetivamente necessária, e isto ocorre por dois motivos. Primeiro, os motores são oferecidos em potências pré-determinadas, 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. Quando o regime for contínuo, deve-se especificar o motor para operar entre 75% e 100% da carga, o que corresponde à faixa de rendimento de pico. O fator de serviço do motor é, neste caso, considerado como um fator de segurança. Para partidas pesadas, deve-se levar em consideração os dados de carga, o tipo de partida (estrela-triângulo, compensadora ou direta) e o tipo de acoplamento. Nos casos de regime intermitente, o motor deve ser dimensionado pelo método quadrático, calculando a potência equivalente que produz a mesma imposição térmica ao motor.

Os critérios de dimensionamento acima nem sempre são levados em consideração, e como resultado 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:

- Liste os motores de potência mais significativa, anotando sua potência nominal em CV e 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 ($\cos \varphi$) e rendimentos (η) para a corrente medida. Caso não disponha da curva característica, que pode ser fornecida pelo fabricante do motor, utilize os gráficos anexos como orientação.
- Calcule a potência ativa do motor utilizando a expressão:

$$P_a = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$$

onde:

P_a = potência ativa do motor (W)

U = tensão de operação do motor (V)

I = corrente medida no motor (A)

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

- Calcule a potência útil do motor adotando a expressão:

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

onde:

P_u = potência útil do motor (CV)

P_a = potência ativa do motor (W)

η = rendimento extraído da curva ou gráfico

1CV = 736W

- Verifique o dimensionamento do motor observando a relação entre a potência útil (P_u) e a potência nominal (P_n). Quando esta 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 em questão e selecione a potência nominal próxima à 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 as que estão anexas como orientação.
Obs.: Para um resultado preciso, é necessário utilizar a curva específica do motor.
 - Verifique os valores de fator de potência e corrente do motor escolhido para as condições de carregamento calculadas no item anterior.
- Calcule a potência ativa do novo motor utilizando a expressão:

$$P_a' = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$$

onde:

P_a' = potência ativa do novo motor (W)

U = tensão de operação do motor (V)

I = corrente obtida na curva ou gráfico (A)

$\cos \varphi$ = 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:

$$E = \frac{(P_a - P_a') \times h}{1000} \text{ (kWh/mês)}$$

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

2.3 UTILIZAÇÃO RACIONAL DOS EQUIPAMENTOS

A energia elétrica deve ser sempre usada de maneira racional, evitando-se seu desperdício. Isto pode muitas vezes ser conseguido a partir da adoção de medidas simples e de fácil implantação, como por exemplo o desligamento dos motores e máquinas quando não utilizados. Medidas desta natureza podem proporcionar uma significativa economia de energia elétrica que não deve ser desprezada.

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

- Percorra as instalações observando a forma de utilização das diversas máquinas e equipamentos que possuam motores, identificando aqueles que apresentam interrupções freqüentes na operação.
- Verifique se é possível desligar tais equipamentos nos períodos ociosos sem provocar problemas ao equipamento ou à instalação elétrica de uma maneira geral.
- Verifique a tensão de operação e meça a corrente de cada motor quando 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 esta condição de operação. Caso não disponha da curva característica, utilize os gráficos como orientação.

• Calcule a potência ativa solicitada em cada um dos motores identificados, utilizando a seguinte expressão:

$$Pa = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\phi$$

onde:

Pa = 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:

$$E = \frac{Pa \times h}{1000} \text{ (kWh/mês)}$$

2.4 MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

A evolução do projeto de motores ao longo do tempo trouxe grandes vantagens em termos de custo e peso do equipamento. Se compararmos por exemplo os dados referentes a um motor de 5 HP, fabricado em 1888 com um equivalente fabricado um século depois, verificaremos que o seu peso diminuiu de 450 kgf para cerca de 35 kgf, e seu preço nominal (em valores da época, sem correção) foi reduzido de US\$ 800 para cerca de US\$ 160. Isto deve-se principalmente à otimização dos processos de cálculo, reduzindo fatores de segurança desnecessários com conseqüente diminuição das quantidades de ferro e cobre contidos nos equipamentos, bem como à melhoria na qualidade da isolação dos enrolamentos, que permitem a operação dos motores em temperaturas mais elevadas. Nota-se, no entanto, que como resultado desta "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, mediante o emprego de materiais selecionados, maior quantidade de cobre e ferro, processos de fabricação mais aperfeiçoados e tolerâncias mais estreitas. Evidentemente, o emprego destas tecnologias acaba onerando o custo final do motor de alto rendimento.

Estes motores apresentam em média rendimentos da ordem de 10% superiores aos rendimentos de motores convencionais de baixa potência (na faixa 1 a 5 CV) e de 3% superiores aos rendimentos 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 da potência é simples e não muito dispendiosa, não devendo ser encarada como 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. Sua atratividade torna-se mais evidente nos casos de motores de baixa potência, elevado fator de carga e longas horas de operação, novas aplicações e em determinados casos onde o rebobinamento for necessário.

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

1. instalar um motor eficiente numa nova aplicação no lugar de um motor convencional;
2. instalar um motor eficiente quando o motor convencional em uso necessitar ser rebobinado;
3. instalar um motor eficiente em substituição a um motor convencional em operação.

2.5 VARIADORES DE VELOCIDADE

Em uma instalação industrial podem ocorrer situações em que os motores não sejam exigidos em sua capacidade nominal durante todo o ciclo de operação. Nestes casos, a opção mais correta seria a utilização de motores de corrente contínua, que tem elevado custo. Por este motivo é comum encontrar motores de indução desempenhando tarefas para as quais não foram projetados, valendo-se de recursos como 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. Isto ocorre com máquinas centrífugas, incluindo a grande maioria das bombas, ventiladores e alguns compressores.

Embora as bombas e ventiladores possibilitem as melhores condições para o emprego de variadores de velocidade, isto não significa necessariamente que todos os casos tenham custo-benefício atrativos. 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, então nesse caso não é indicada a utilização de variador de velocidade.

Em geral, as seguintes vantagens são obtidas 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 acima referentes ao dimensionamento e utilização de motores, alguns procedimentos simples de manutenção podem trazer economias de energia elétrica, como será mostrado a seguir;

a) Ventilação adequada

Nos motores auto-ventilados, o ar de resfriamento é fornecido por um ventilador interno ou externo acionado pelo eixo do motor. O fluxo de ar arrasta consigo poeira e materiais leves que obstruem aos poucos as aberturas ou 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, provocando igualmente aquecimentos excessivos.

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

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

- limpar cuidadosamente os orifícios de ventilação;
- limpar as aletas, retirando poeira e materiais fibrosos;
- cuidar para que o local de instalação do motor permita circulação de ar;
- verificar o funcionamento do sistema de ventilação auxiliar e a livre circulação de ar nos dutos de ventilação.

b) 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. Assim sendo, é importante verificar e controlar a temperatura ambiente para não ultrapassar os valores para a qual o motor foi projetado.

c) Cuidado com as 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, reduzindo 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.

d) 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 no consumo de energia. 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 sendo, é interessante verificar sistematicamente a temperatura dos motores em funcionamento, pois esta análise simples pode revelar problemas na instalação que, quando não identificados a tempo, comprometem os equipamentos e aumentam os gastos com energia.

e) Operação com partidas e paradas bem equilibradas

Devem ser evitadas as partidas muito demoradas que ocorrem quando o conjugado motor é apenas ligeiramente superior ao conjugado resistente, visto que a sobreintensidade de corrente absorvida enquanto a velocidade nominal não é atingida, aquece perigosamente o motor. É fundamental que o conjugado de partida seja suficiente, atendendo às seguintes recomendações:

- escolha de um motor adequado;
- verificando se a linha de alimentação possui capacidade para limitar a queda de tensão durante a partida;
- mantendo 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 a grosso modo o custo de energia equivalente a três partidas.

f) Evitar partidas muito freqüentes

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

g) 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 e 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 limpar as 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.

h) Fixação correta dos motores e eliminação das vibrações

O motor standard é construído geralmente para funcionar tanto no eixo horizontal, como vertical. Para funcionamento no eixo vertical ou outras inclinações, 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 conseqüência 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 este problema, sugere-se 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, aproximando o ouvido e detectando possíveis falhas pelos ruídos produzidos;
- 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.

i) Lubrificação correta dos mancais

À temperatura de 40 °C, a vida útil de um rolamento de esferas em funcionamento contínuo pode ser de 4 anos ou mais. No entanto, para cada 10 °C de elevação da temperatura de trabalho a vida útil diminuiu, em média, 50%.

A correta lubrificação dos rolamentos, além de permitir uma melhoria no rendimento, evita a elevação da temperatura. A lubrificação é feita geralmente com graxa mineral.

Quando as temperaturas de operação forem elevadas (de 120 °C a 150 °C) ou as velocidades de rotação forem superiores a 1.500 rpm, usa-se 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. Já nos motores maiores, há necessidade de lubrificação externa. A frequência de lubrificação depende do projeto dos mancais e das características dos lubrificantes utilizados.

Encontram-se listadas a seguir algumas recomendações que podem garantir maior vida útil 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 em função do serviço e da temperatura; para os mancais lubrificados a óleo, verificar os anéis de retenção e utilizar o óleo recomendado;
- observar a temperatura dos mancais em operação;
- cuidar 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, assinalar este fato ao fabricante no momento do pedido.

3. AR CONDICIONADO

Os sistemas de condicionamento de ar representam um item importante dos 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 de recintos fechados. O ar condicionado é geralmente utilizado para proporcionar 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, em hospitais, em centros de computação, etc.

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

As pequenas centrais funcionam com condensação a ar ou a água e possuem capacidades variando de 3 a 20 TR. 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 numa 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, mantendo numa 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" (Climatizadores de Ambiente).

Os aparelhos de ar condicionado são sistemas que consomem, relativamente, grandes quantidades de energia, quer pelas próprias características dos processos físicos envolvidos, quer pelo uso contínuo a que são submetidos durante longos períodos. Por isso, as instalações de condicionamento de ar constituem-se num capítulo importante de um programa de uso racional de energia.

Dentre as ações que podem ser implementadas para melhorar o rendimento energético do sistema de ar condicionado podemos destacar as seguintes:

- controlar as fontes externas de calor (ou de frio), como insolação e ventilação natural, tirando proveito das mesmas para aumentar ou diminuir a temperatura do ambiente, conforme a época do ano ou os objetivos colimados;
- regular as fontes internas de calor (ou de frio), otimizando o funcionamento de equipamentos e instalações como motores elétricos, fornos, iluminação e outros, e procedendo ao isolamento térmico de tubulações e depósitos de substâncias aquecidas (ou geladas);
- conscientizar os usuários da necessidade de se manterem fechadas portas e janelas dos ambientes climatizados; coloque 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; estude a possibilidade de desligar o ar condicionado uma hora antes do encerramento do expediente;
- substituir o ar ambiente pelo o 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 nominal;
- reduzir o 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.;
- instalar 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;
- instalar um sistema de aeração natural para desligar o sistema de ar condicionado, sempre que as condições permitirem;
- utilizar sistema de termo acumulação, 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;
- utilizar 100% do ar externo quando sua entalpia for menor do que a do ar de retorno, instalando um sistema de controle entálpico;
- instalar 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

4.1 - Economia de Energia na Produção e Distribuição de Ar Comprimido

Existem várias maneiras de economizar energia em ar comprimido. Bastam algumas regulagens simples, como por exemplo, baixar a pressão até o mínimo necessário ao funcionamento do equipamento, ou um pouco mais de cuidado na manutenção com a limitação e conserto de vazamentos, ou ainda tomar medidas mais dispendiosas como a substituição dos 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 isto 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. O quadro 1 apresenta um plano com as principais operações a serem efetuadas.

QUADRO 1
PLANO DE MANUTENÇÃO

Procedimentos	Periodicidade
Lubrificação Verificar as condições de óleo Trocar o óleo	500 horas 3.000 a 6.000 horas
Válvulas de Retenção Vistoria periódica	trimestral
Filtro de Admissão de Ar Limpar (quando a pressão de admissão se eleva de 250 mm de coluna d'água o rendimento cai em 2%)	semanal
Correias Verificar a tensão das correias de acionamento	mensal
Circuito de água Desincrustação (conforme o aumento da temperatura da água e do ar)	Verificar pelo menos 1 vez por ano
Circuito de Ar Purgar ou verificar o funcionamento dos purgadores	diariamente
Revisão Geral	6.000 horas

4.3 - Cuidados com a Operação dos Sistemas de Secagem de Ar

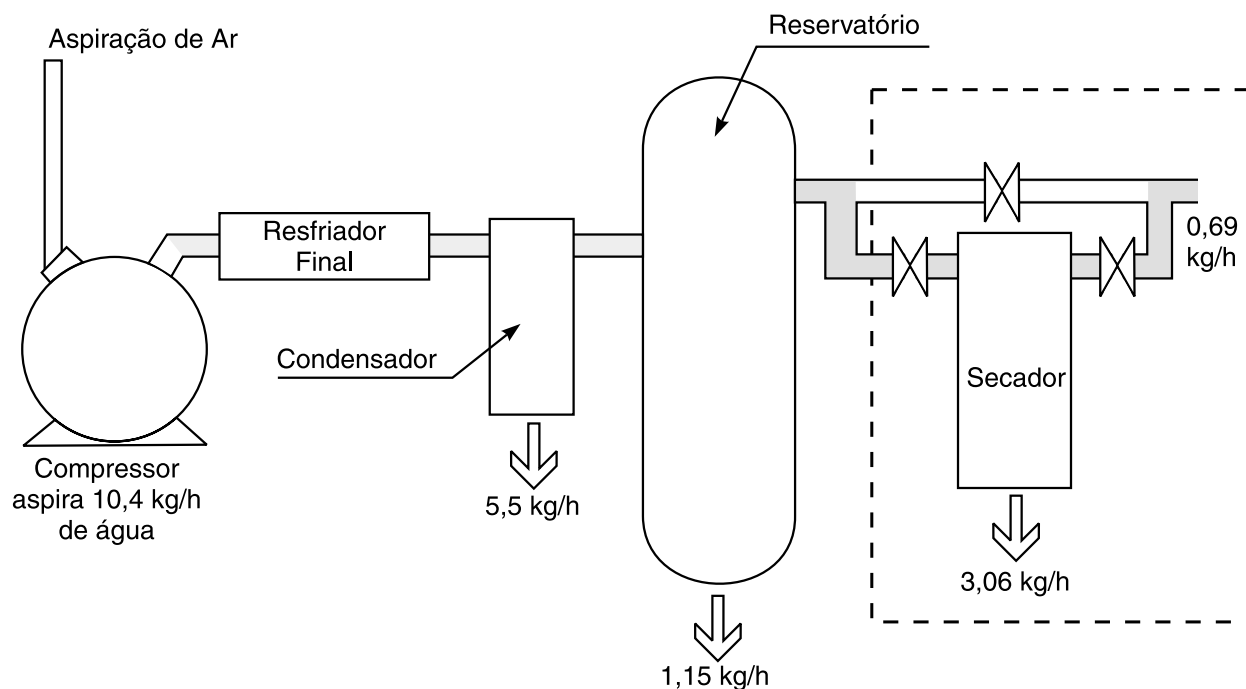
A água provoca fenômenos de oxidação, perda de carga e de rendimento, assim como a deterioração da rede, que causa perdas por vazamentos. Portanto, é importante secar o ar comprimido antes que ele circule na tubulação. Uma sugestão é apresentada no exemplo a seguir.

Exemplo - Instalação de Ar Comprimido com Secagem por Refrigeração

Se considerarmos uma central de ar comprimido com vazão de 1.000 Nm³/h a 7 bar de pressão, podemos efetuar a secagem por refrigeração da seguinte forma: a aspiração de 1.000 Nm³/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. 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 2°C, resultando uma nova extração de água de 3,06 kg/h.

Com essa configuração, conseguimos obter ar comprimido útil contendo 0,69 kg/h de água, amenizando consideravelmente os problemas que podem ser causados numa instalação convencional, onde temos ar com 3,75 kg/h de água para as condições de vazão e pressão estabelecidas.

ESQUEMA BÁSICO DA INSTALAÇÃO



4.4 - Eliminação de Vazamentos e Outras Fontes de Desperdício

Os vazamentos de ar comprimido custam muito caro. O quadro 2 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.

QUADRO 2
CONSUMO DE ENERGIA PARA SUPRIR VAZAMENTOS

Vazamento		Perda (l/min)	Potência Necessária para Comprimir o Ar Perdido (kW)	Consumo Anual (kWh)
Diâmetro (mm)	Superfície (mm ²)			
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

Antes de se implantar um programa de conservação de energia em sistemas de ar comprimido, é importante proceder-se à avaliação aproximada das perdas existentes 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.

Método para Avaliação dos Vazamentos

- 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, determinando-se o segundo horário);
- 5- Ao atingir novamente a pressão de trabalho o compressor entrará em alívio, pois já foram repostas as perdas por vazamento. Esse horário deverá ser anotado, representando o terceiro horário a ser considerado.

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

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

Onde:

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

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

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

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

Obs: Para afinar os resultados, deve-se repetir o método 3 a 4 vezes e calcular as médias dos valores encontrados.

Lembre-se: Numa rede bem cuidada, os vazamentos não devem ultrapassar 5% da vazão.

Na prática, encontram-se vazamentos de até 45% em instalações de grande porte.

4.5 - Redução das Perdas de Carga

A variação entre a pressão medida no reservatório e na extremidade das derivações não deveria 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.

4.6 - 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, teremos uma redução no consumo de energia da ordem de 30%.

4.7 - Redução da Pressão

Ao analisarmos uma central de ar comprimido devemos sempre verificar qual a real necessidade de pressão nos equipamentos utilizadores e se esta pressão deve ser mantida por todo o tempo. No quadro 3 são mostradas as economias de energia aproximadas que se obtêm reduzindo a pressão de trabalho para uma rede operando inicialmente a 7 bar.

QUADRO 3
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 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, em função dos equipamentos utilizadores não estarem operando em sua totalidade, permitindo, portanto, uma maior redução da pressão nesses períodos, o que resultará em economias de energia elétrica muito representativas.

GRÁFICOS

GRÁFICO 1

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

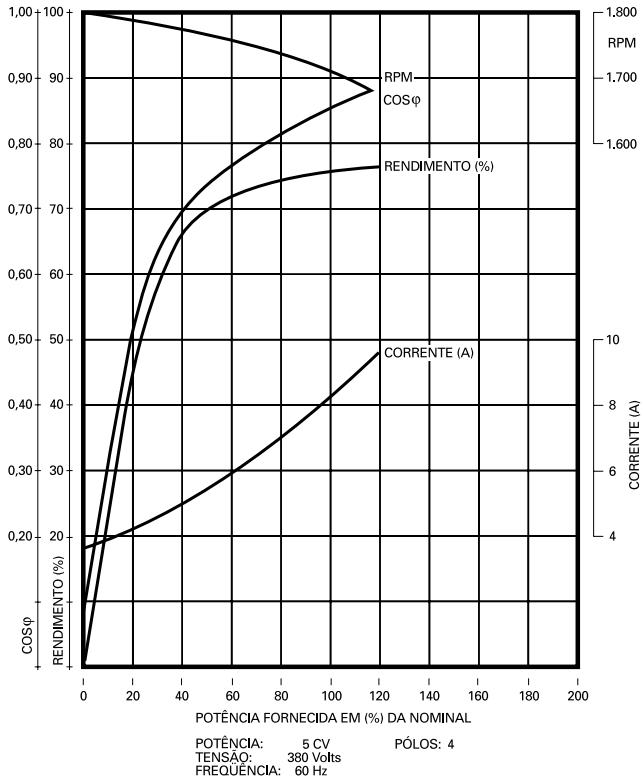


GRÁFICO 2

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

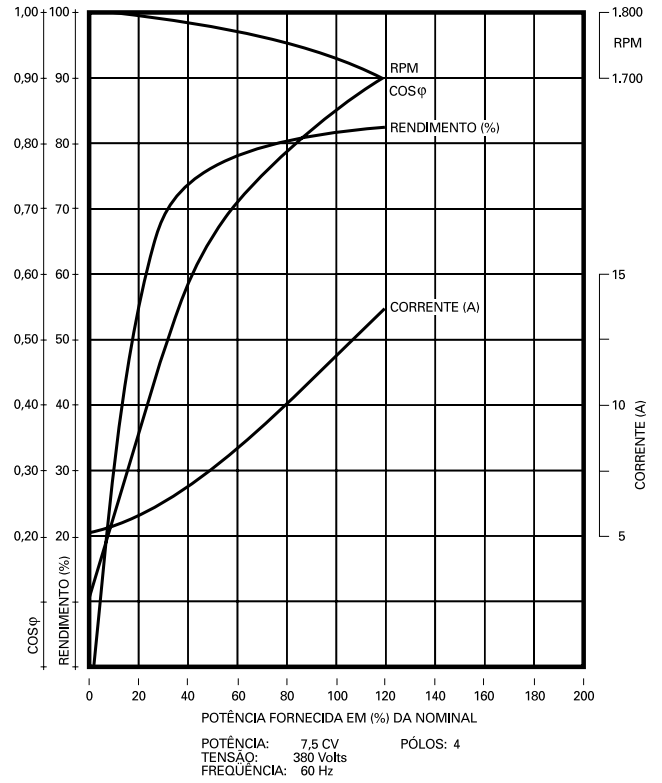


GRÁFICO 3

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

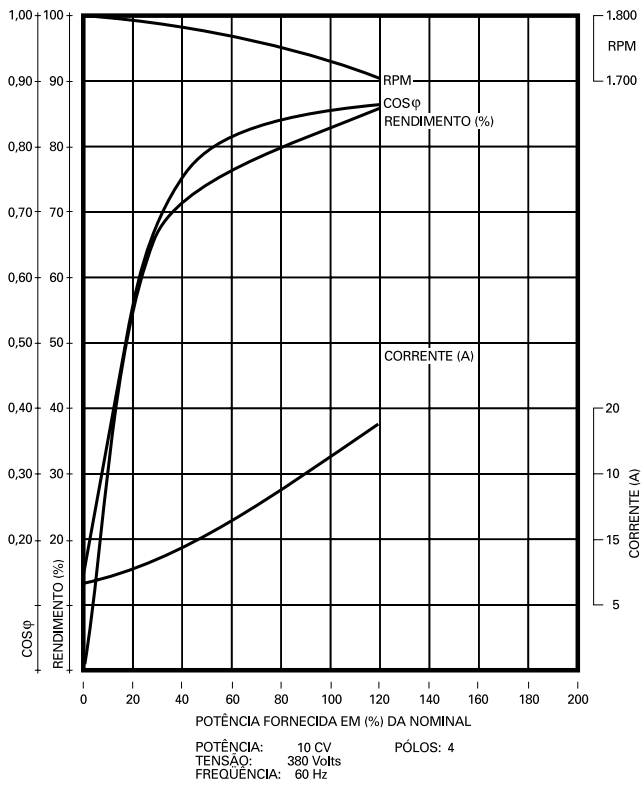
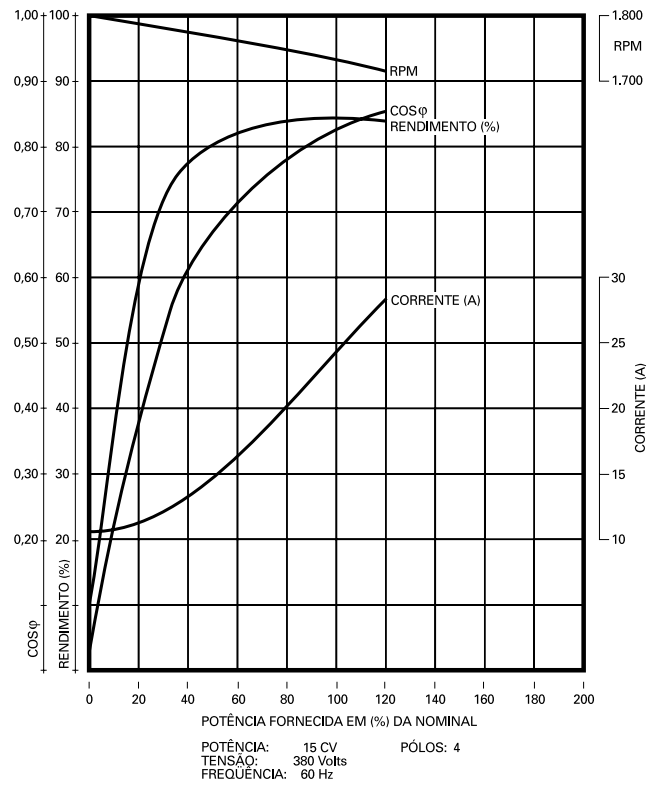


GRÁFICO 4

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO



GRÁFICOS

GRÁFICO 5

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

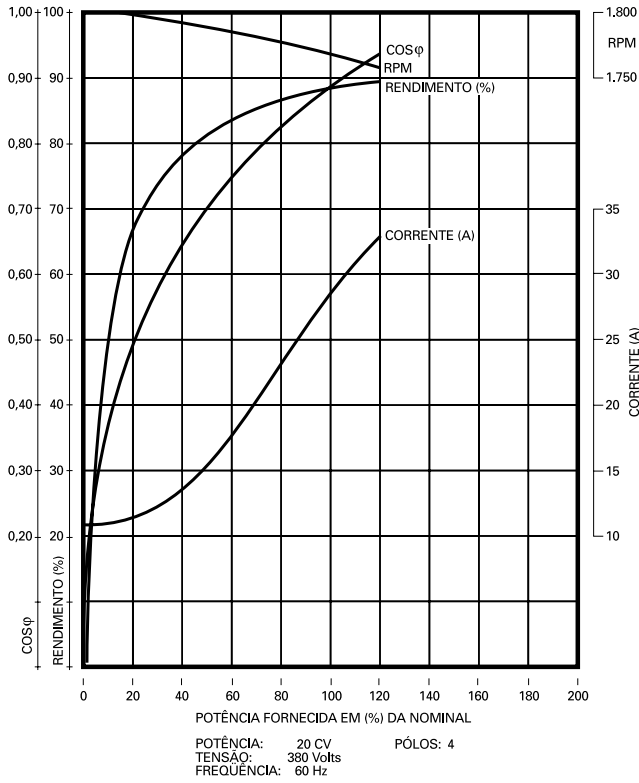


GRÁFICO 6

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

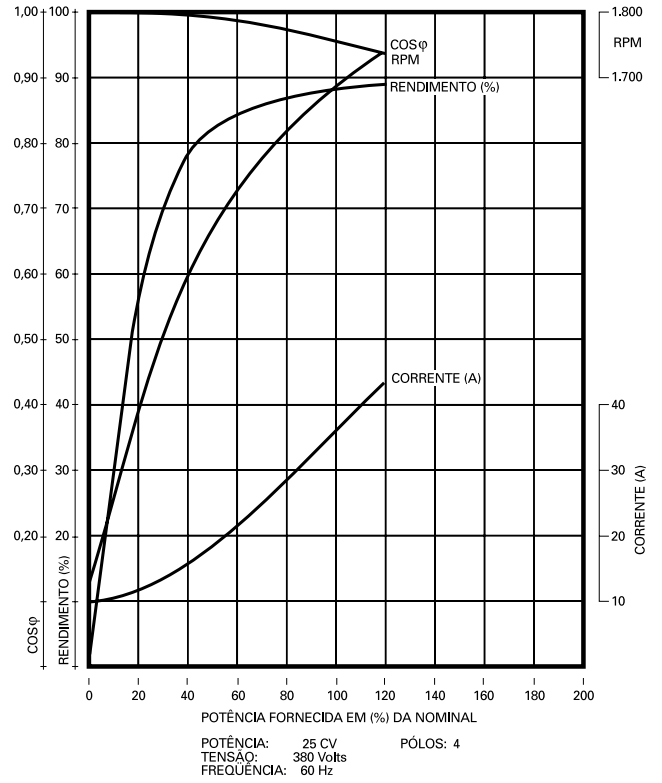


GRÁFICO 7

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

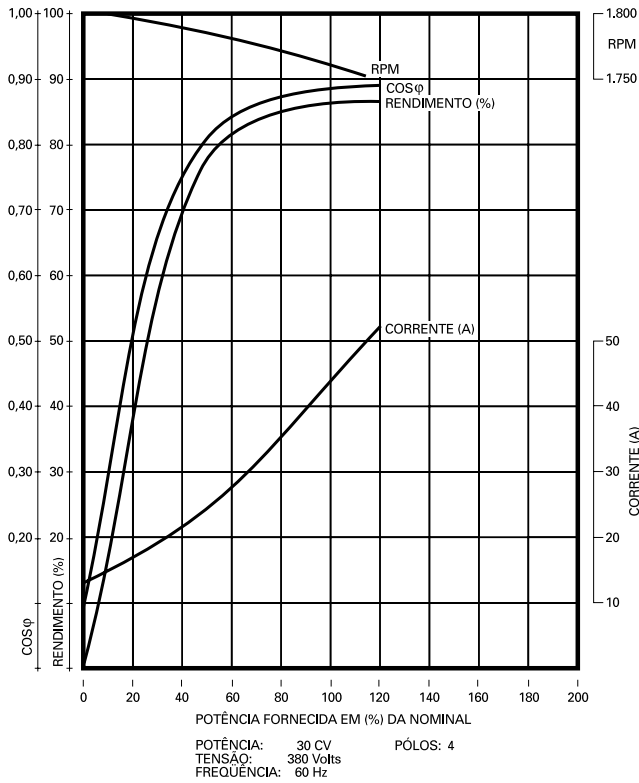
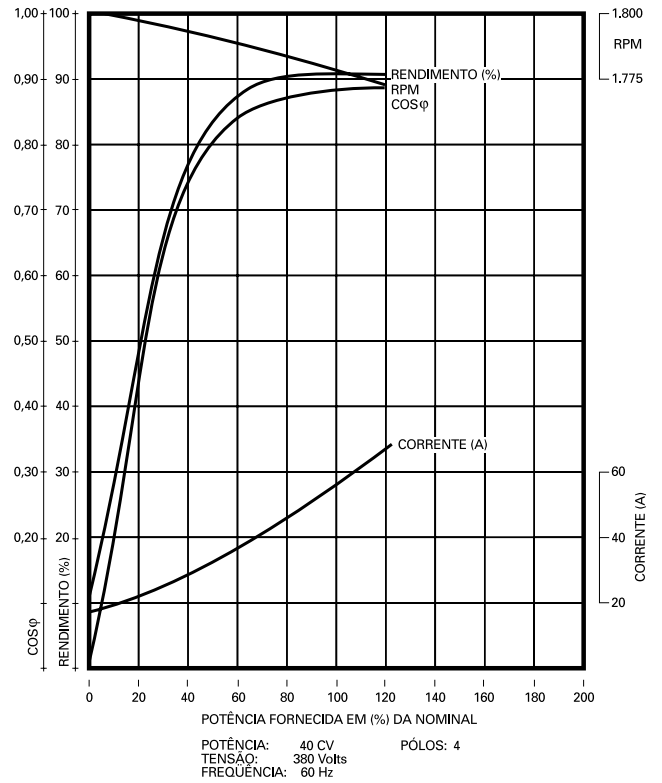


GRÁFICO 8

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO



GRÁFICOS

GRÁFICO 9

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

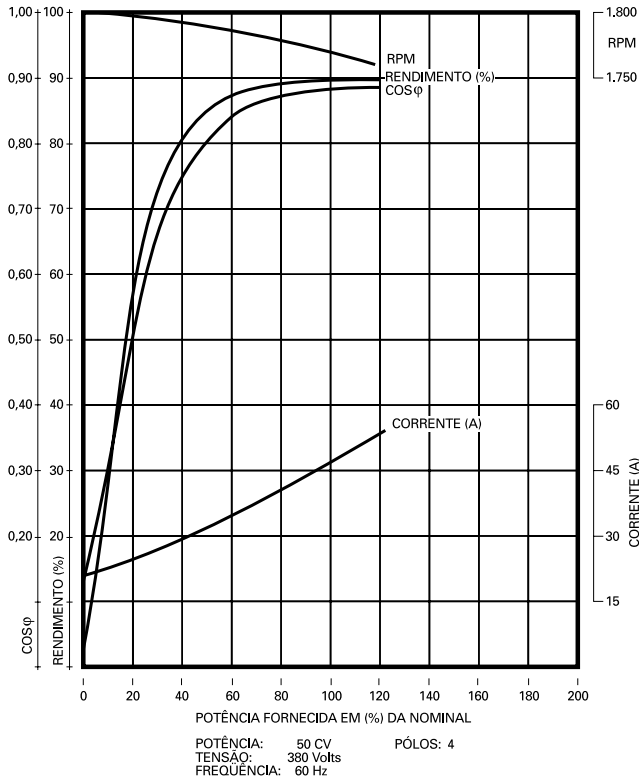


GRÁFICO 10

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

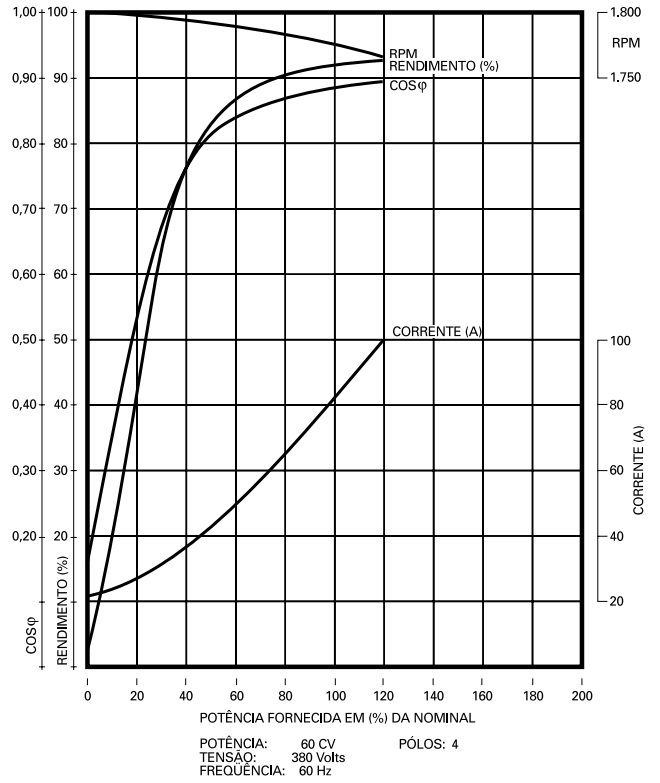


GRÁFICO 11

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

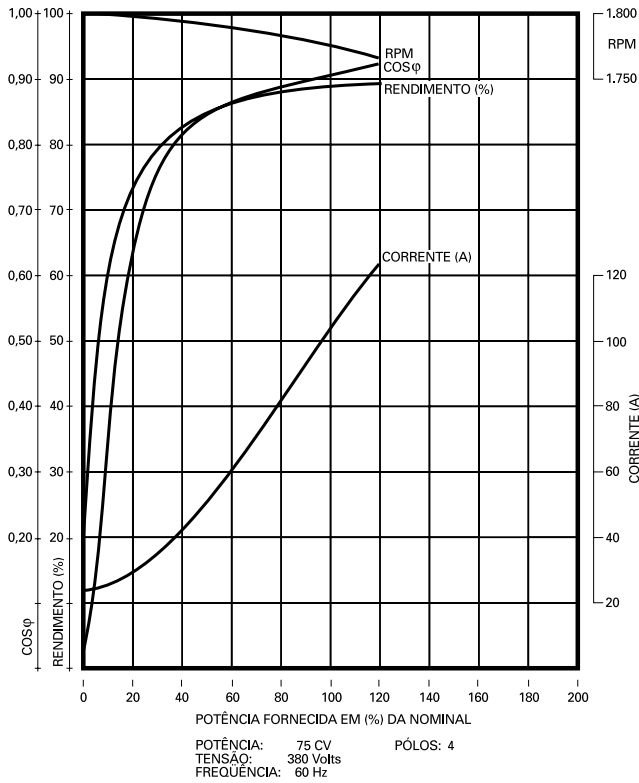
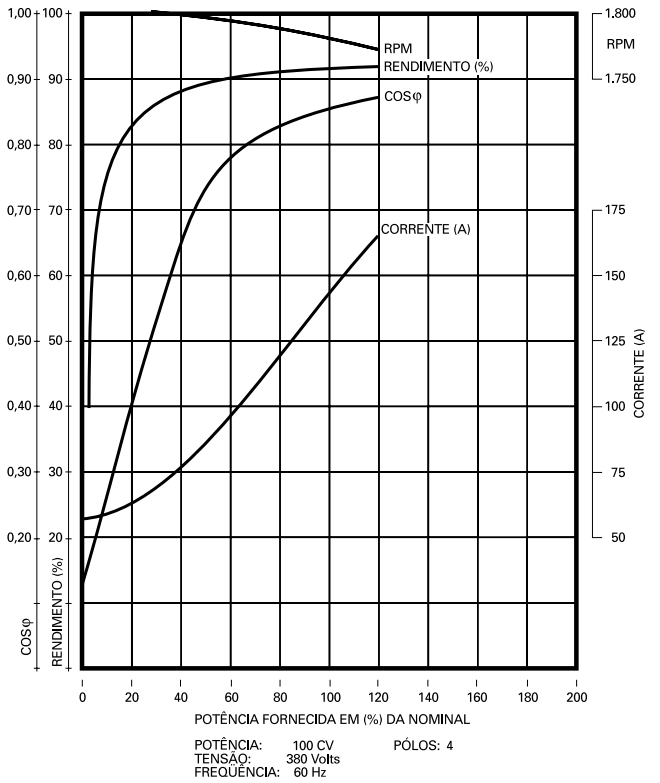


GRÁFICO 12

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO



GRÁFICOS

GRÁFICO 13

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

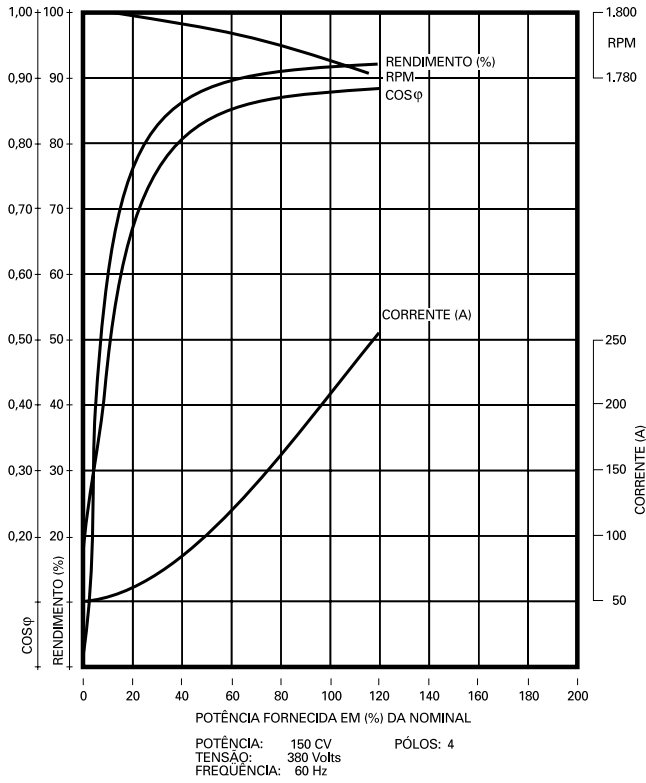


GRÁFICO 14

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

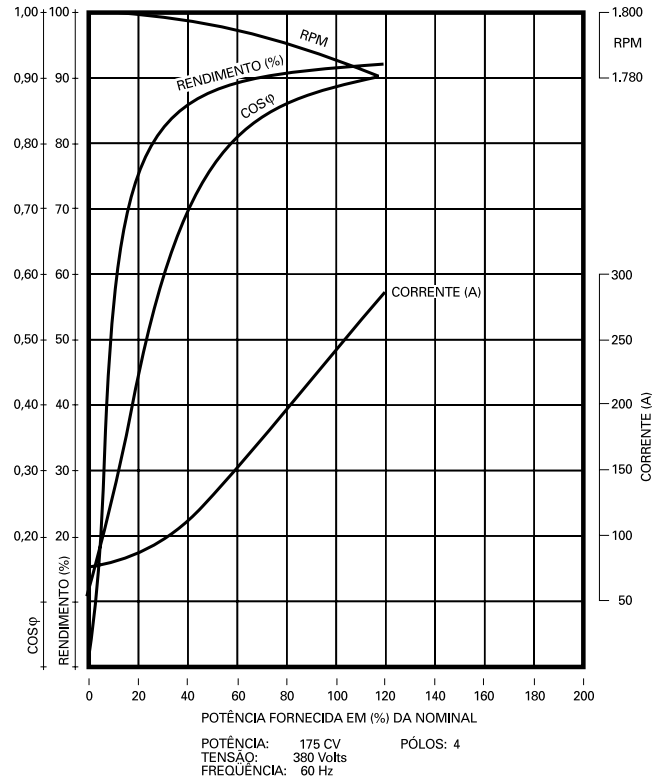


GRÁFICO 15

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO

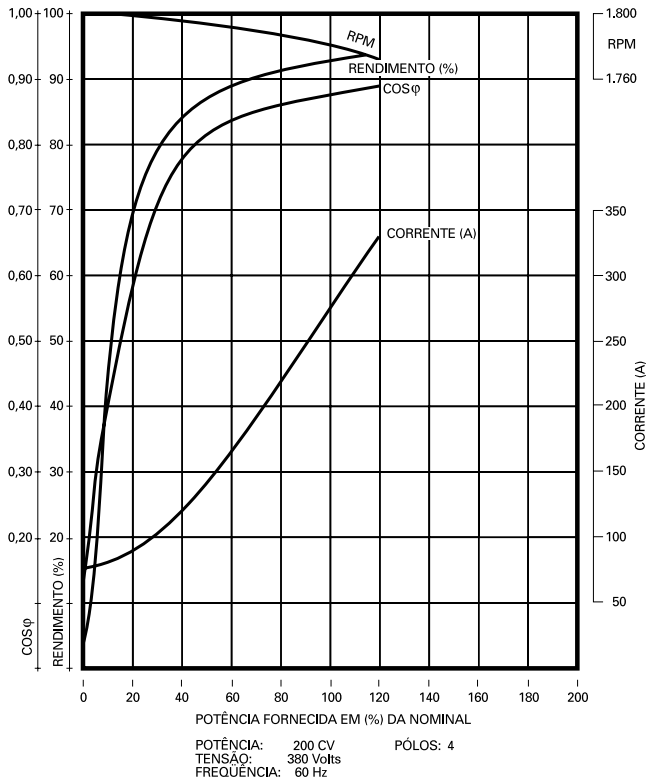
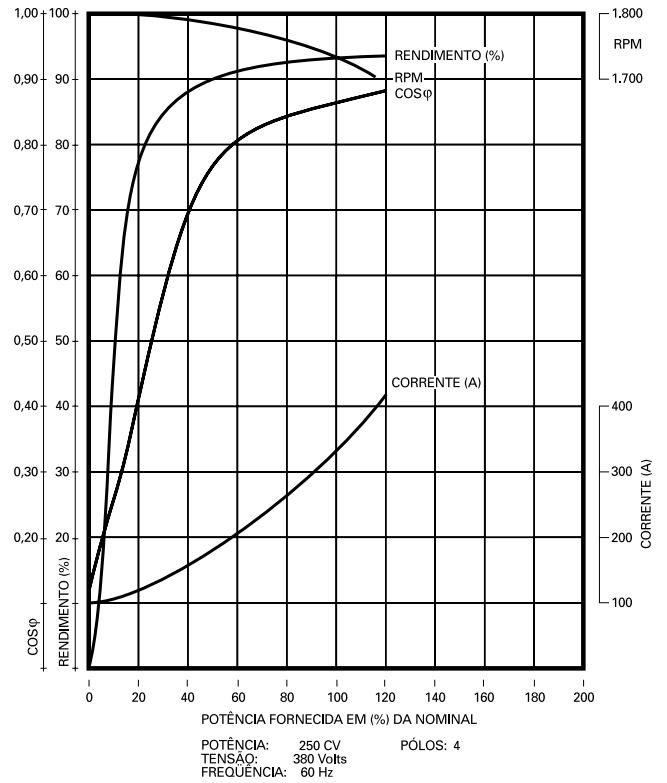


GRÁFICO 16

CURVA CARACTERÍSTICA DE MOTOR EM FUNÇÃO DO CARREGAMENTO



**SECRETARIA
DE ENERGIA**

www.energia.sp.gov.br



GOVERNO DO ESTADO DE
SÃO PAULO