

# A Economia Proporcionada às Instalações de Saneamento pela Seleção Correta dos Motores Elétricos para Acionamento de Bombas

Eng.º DRAUZIO LUIZ LUCARELLI (\*)  
Eng.º AUGUSTO CESAR BRUCOLI (\*\*)  
Eng.º RICARDO FERREIRA DE SOUZA (\*\*\*)

## 1. INTRODUÇÃO

As bombas se constituem geralmente nos equipamentos de maior potência das instalações de Saneamento.

As bombas de captação de água bruta, de recalque de água tratada e de elevatórias de esgoto, são as maiores cargas elétricas desses sistemas.

Desta forma este trabalho abordará em particular os motores elétricos que acionam estas bombas, podendo entretanto os critérios aqui estabelecidos serem estendidos a outras cargas.

A potência nominal desses motores, a potência efetivamente fornecida por feles, suas características de fator de potência e rendimento, irão determinar o custo inicial das instalações elétricas e o maior ou menor custo operacional acusado no consumo de energia elétrica.

Por problemas administrativos, empresas públicas geralmente adquirem as bombas junto com os motores, para o que suas equipes técnicas especializadas especificam inte-

gralmente a da melhor forma possível esses motores.

Ocorre entretanto que a seleção da potência nominal dos motores é normalmente deixada a critério exclusivo de quem seleciona as bombas. Estes, por serem de especialidade técnica diversa, não possuem informações sobre o comportamento dos motores e portanto não os "sentem", podendo ser levados a selecionarem motores de potência superior à realmente necessária, onerando assim, os custos iniciais e de operação dos sistemas.

Neste trabalho analisaremos detalhadamente todos os aspectos envolvidos na determinação da potência nominal dos motores e demonstraremos a influência dessa determinação no resto da instalação.

## 2. ANÁLISE DAS SOLICITAÇÕES MECÂNICAS DAS BOMBAS

### 2.1 Solicitações Contínuas de Potência no Eixo da Bomba — BHP

A potência requerida para acionar uma bomba ou consumida por ela (breake horsepower) quando fornecendo uma vazão  $Q$  de um líquido de peso específico  $\gamma$  com uma pressão total  $H$  e rendimento  $\eta$  é dada pela relação:

$$\text{BHP} = \gamma \frac{Q \times H}{K \times \eta}$$

onde  $K$  é uma constante que depende das unidades usadas para  $Q$  e  $H$ .

$$K = 274 \begin{cases} Q = \text{m}^3/\text{h} \\ H = \text{m} \end{cases}$$

$$K = 75 \begin{cases} Q = \text{l}/\text{seg} \\ H = \text{m} \end{cases}$$

$$K = 3960 \begin{cases} Q = \text{GPM} \\ H = \text{pés} \end{cases}$$

Dependendo do tipo de bomba, seja ela de fluxo radial, axial ou misto, o BHP variará de modo diferente com a vazão como indicado a seguir.

#### 2.1.1 Bomba de Fluxo Radial (Fig. 2.1.1) (Puramente Centrífuga)

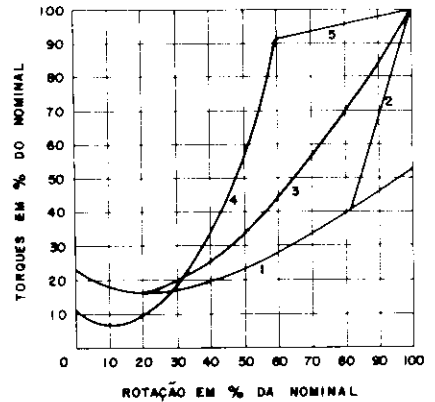
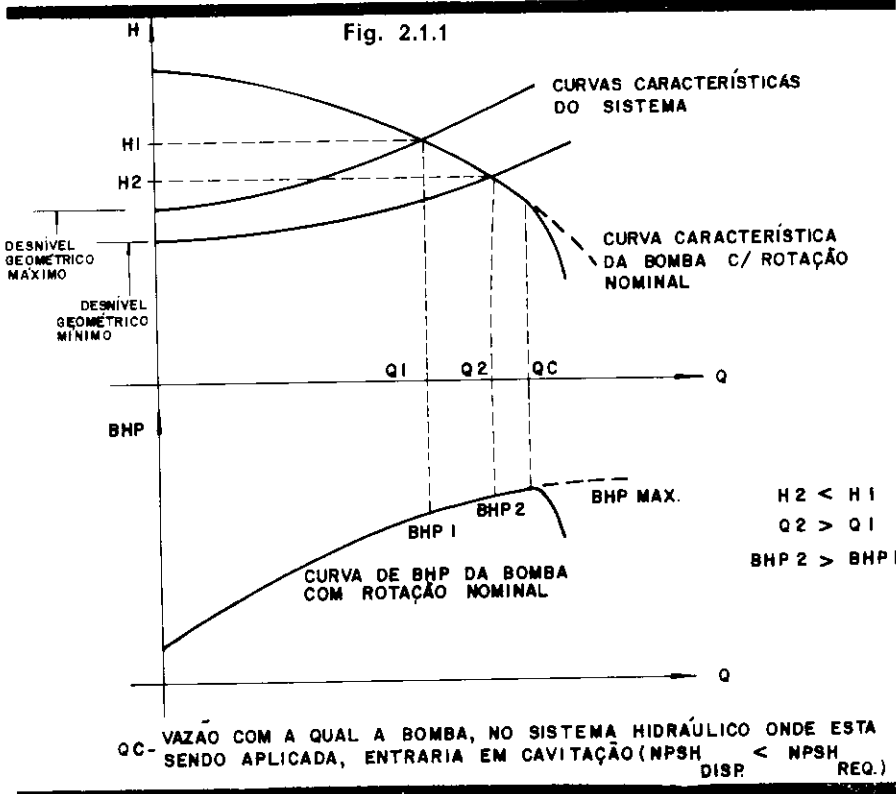
Bombas deste tipo apresentam um aumento contínuo do BHP em função da vazão até o ponto onde, dependendo dos NPSH requerido e o disponível, a bomba entra em cavitação apresentando redução abrupta de vazão, pressão e BHP.

Assim, essas bombas apresentam para esse ponto o maior BHP possível no sistema considerado, sendo necessário analisar esse ponto para cada caso.

(\*) Chefe da Divisão de Projetos Elétricos do Departamento Eletromecânico — Diretoria de Construção da SABESP.

(\*\*) Engenheiro Eletricista do Departamento Eletromecânico — Diretoria de Construção da SABESP.

(\*\*\*) Engenheiro Mecânico e Sanitarista do Departamento Eletromecânico — Diretoria de Construção da SABESP.



CURVAS TÍPICAS TORQUE x ROTAÇÃO DE BOMBAS

Curva 1 — bombas de fluxo radial e misto com recalque fechado.  
 Curva 3 — bombas de fluxo radial e misto com recalque aberto.  
 Curva 1+2 — bombas de fluxo radial e misto com válvula de retenção.  
 Curva 4+5 — bombas de fluxo axial com recalque aberto.

3. POTÊNCIAS E TORQUES DO MOTOR

Por serem os motores de indução os mais usuais, vamos aqui analisar as potências dentro de sua faixa operacional e seus torques disponíveis fora dessa faixa.

3.1 Potência do Motor

Devemos considerar quatro aspectos da potência de um motor elétrico: a potência puramente mecânica, a potência nominal, a potência admissível e a potência elétrica absorvida da rede.

3.1.1 Potência Mecânica

A potência que um motor elétrico fornece é sempre a potência mecânica **no seu eixo** e que lhe é solicitada pela carga acionada.

O motor fornece pois, somente o que lhe é solicitado pela carga.

Se por exemplo um motor de 100 CV acionar uma bomba que lhe solicita 20 CV ele fornecerá no seu eixo somente 20 CV. Se o mesmo motor acionar uma outra bomba que lhe solicita 130 CV, ele fornecerá no seu eixo os 130 CV solicitados se tiver torque para tanto.

A potência que um motor elétrico de indução fornece é sempre a potência mecânica **no eixo** que depende do seu torque e da correspondente rotação. Potência, torque e rotação se relacionam segundo equação:

$$P = K \times T \times \text{RPM} \quad (3.1)$$

onde K uma constante que depende das unidades utilizadas.  
 Para P em CV e T em N x m,  $K = 1/7.023,4957$   
 Para P em CV e T em Kgfxm,  $K = 1/716,1972$   
 e CV = 0.9863 HP

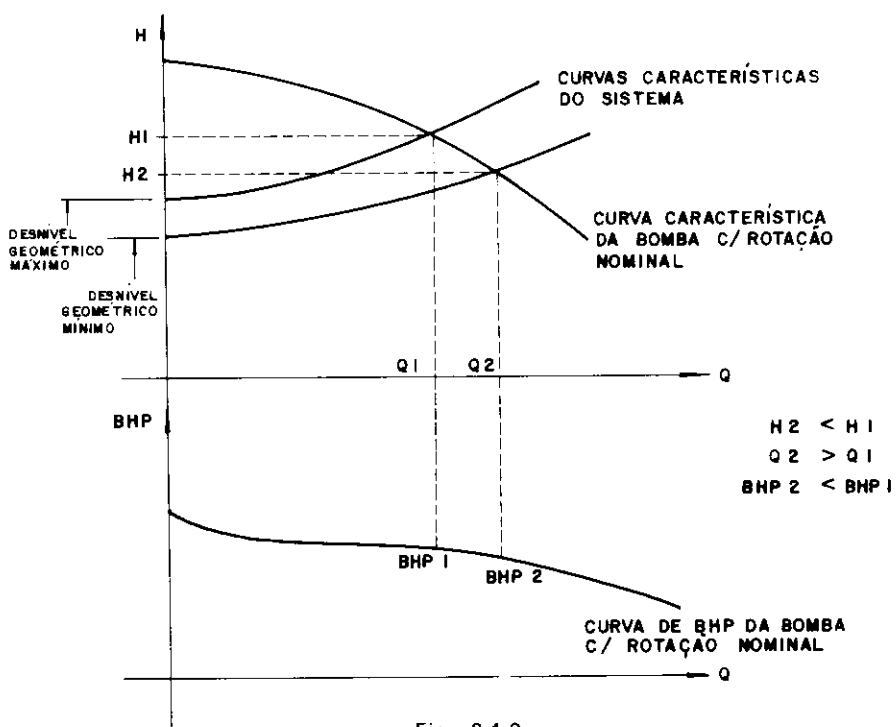


Fig. 2.1.2

2.1.2 Bomba de Fluxo Axial (Fig. 2.1.2)

Bombas deste tipo apresentam uma redução do BHP com o aumento da vazão.

2.1.3 Bomba de Fluxo Misto

Bombas deste tipo apresentam um comportamento do BHP em função da vazão semelhante ao da bomba de fluxo radial.

2.2 Solicitações Transitórias de Torques na Partida

São as solicitações de torques que ocorrem durante poucos segundos quando a bomba é acelerada, desde a rotação zero até sua rotação nominal.

Dependendo do tipo de bomba considerado, seja ela de fluxo radial, axial ou misto, os torques solicitados na partida variarão como indicado no gráfico a seguir:

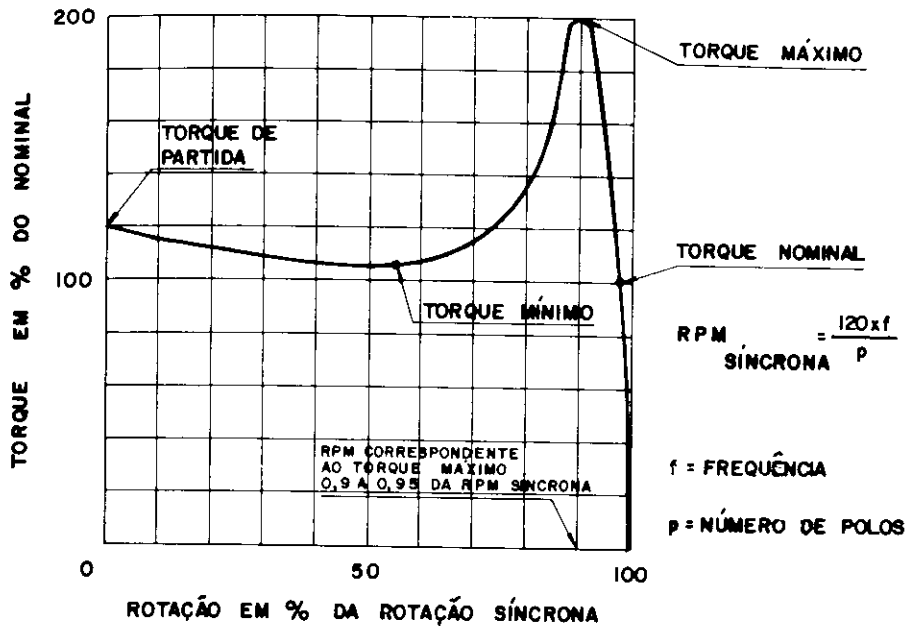


fig. 3.1

### CURVA TÍPICA TORQUE x ROTAÇÃO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO

A curva típica de torque x rotação de um motor de indução é indicada na figura 3.1.

Observando essa figura fixemos que a faixa operacional de um motor de indução é a que se situa entre a rotação síncrona e a rotação correspondente ao torque máximo.

Note-se que um motor de indução não pode operar com rotação síncrona, pois nessa rotação o torque é nulo. Em vazio isto é, sem carga alguma no eixo, a rotação é muito pouco inferior à rotação síncrona, uma vez que o pequeno torque desenvolvido na rotação correspondente, deverá equivaler à potência necessária para vencer os atritos e acionar os ventiladores para refrigeração do motor.

O motor em carga poderá desenvolver torque inferior, igual ou superior ao torque nominal (correspondente à potência nominal) dependendo da solicitação da carga acionada.

A cada par de valores (torque; rotação correspondente) corresponde uma potência que é igual à solicitada pela carga.

Como pode ser observado no gráfico da figura 3.1, na faixa de rotações entre a síncrona e a correspondente a rotação de conjugado máximo, à uma pequena variação de rotação corresponde um grande aumento conjugado significando (conforme equação 3.1) que, do ponto de vista puramente mecânico, o motor poderá fornecer uma potência máxima correspondente ao torque máximo e respectiva rotação, ou seja:

$$P_{\max} = K \times T_{\max} \times \text{RPM}_{T_{\max}}$$

A tabela VI da EB-120 (ABNT) fixa os valores mínimos de conjugado máximo, os quais, para as categorias A, B (motores de linha normal) e C, giram em torno de 200% do conjugado nominal.

Isto significa que **os motores elétricos normalmente possuem uma grande reserva de potência mecânica.**

### 3.1.2 Potência Nominal

Para melhor compreendermos o conceito de potência nominal de um motor elétrico, devemos tomar conhecimento do seu sistema isolante.

#### 3.1.2.1 Sistema Isolante

Os motores elétricos utilizam no seu enrolamento um sistema de isolamento constituído de materiais de estrutura química orgânica, cuja vida depende da temperatura em que operam. Quanto maior a temperatura de operação, menor a vida desses materiais (vide Item 4 — Classe de Isolação). Todo motor deve ter uma vida útil média projetada, razão pela qual, definida a qualidade dos materiais isolantes que serão utilizados, conseqüentemente é definida a temperatura máxima de trabalho para que se obtenha a vida útil média projetada.

O motor elétrico converte energia elétrica em mecânica com um determinado rendimento e conseqüente perdas de energia que se traduzem em aquecimento. Embora a medida que se aumenta a potência solicitada do motor, o seu rendimento aumente (pois em vazio toda energia consumida se transforma em perdas-rendimento zero), as perdas em valor absoluto aumentam traduzindo-se em um aumento de temperatura. Por

esse motivo, somente se pode solicitar do motor no máximo uma potência, tal que na correspondente temperatura de operação os materiais isolantes utilizados na isolação ofereçam a vida útil média projetada. Essa potência assim determinada é a potência nominal do motor, conforme adiante definida.

#### 3.1.2.2 Potência Nominal

Define-se potência nominal de um motor elétrico como sendo a potência mecânica que o mesmo pode fornecer **no eixo continuamente**, sob tensão e frequência nominais e geralmente com o melhor rendimento e fator de potência, sem que a temperatura de regime ultrapasse o limite correspondente ao do seu sistema de isolação.

Observemos aqui que quando se fala em potência de motor deve-se associar o termo à potência continuamente disponível no eixo, uma vez que em termos de potência mecânica, como já visto, os valores são bem maiores, porém normalmente não disponíveis continuamente.

#### 3.1.3. Potência Admissível

É a potência que se pode solicitar continuamente do motor sem que haja um comprometimento sensível da vida do seu sistema isolante. Poderíamos admitir um comprometimento até 80 a 90% da vida nominal normal.

#### 3.1.4. Potência Elétrica Absorvida da Rede de Alimentação

##### 3.1.4.1. Rendimento

Devemos distinguir a potência nominal do motor de sua potência elétrica absorvida da rede de alimentação. Esta depende do rendimento e é dada pela equação:

$$P = \frac{P_{\text{mec.}}}{\eta}$$

onde:

- $P$  = potência elétrica absorvida da rede em Watts
- $P_{\text{mec}}$  = potência mecânica fornecida pelo motor no eixo, em Watts
- $\eta$  = rendimento do motor.

##### 3.1.4.2. Fator de Potência

Existe ainda uma grandeza elétrica que determina a absorção dessa potência da rede com um maior ou menor valor de corrente. Essa grandeza é o fator de potência. Assim a mesma potência elétrica é fornecida ao motor na sua tensão nominal com uma corrente relacionada com

DADOS DE PLACA					
MOD. 28.6452.710	CARC 8119.P	HZ 60	FASES 3	CV. 300	POLOS 2
V. 440	60 HZ 347	A 3580	RPM Nº SERIE 5337		RPM ISOL CLASSE B
ENSAIO FEITO A 440 V - 60 HZ.			PREP	APROV. 29/09/77	

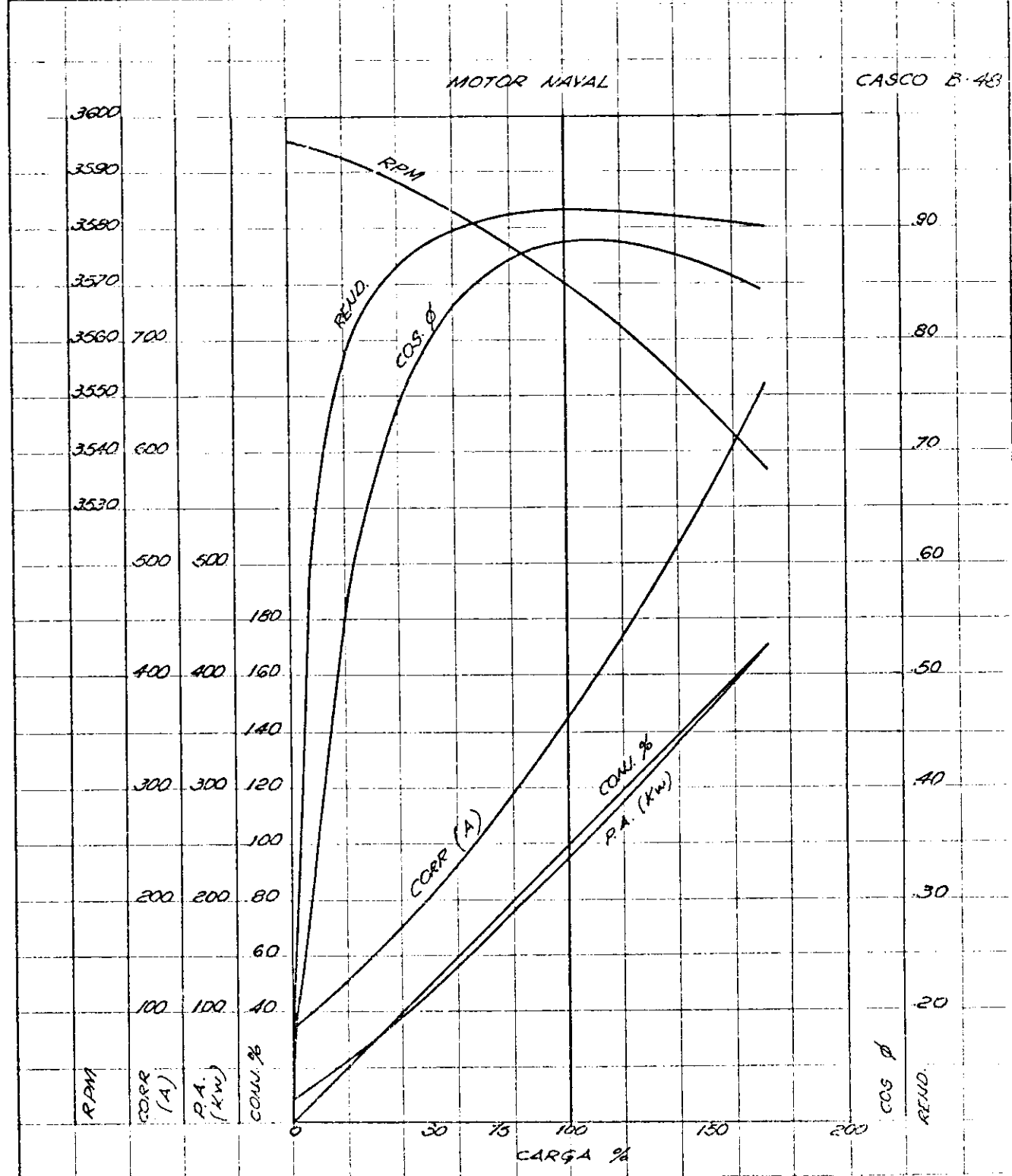


FIG. 3.1.4.

VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE UM MOTOR DE INDUÇÃO COM A CARGA

o fator de potência conforme indica a equação.

$$P = \frac{P_{mec.}}{\eta} = \sqrt{3} VI \cos \alpha$$

onde

- V = tensão nominal em volts
- I = corrente nominal em amperes
- cos  $\alpha$  = fator de potência

Observemos que o produto  $I \times \cos \alpha$  da equação é constante, significando que mantida uma potência elétrica, o valor da corrente depende inversamente do valor do fator de potência.

É por isso que motores de mesma potência nominal e rendimento, podem apresentar corrente nominal diferente.

O fator de potência e o rendimento são características fixadas no projeto da máquina e seus valores variam dependendo somente do percentual de carga que o motor fornece em relação a sua potência nominal. Normalmente o projetista de motores procura estabelecer os melhores (maiores) valores de rendimento e fator de potência para a condição da máquina fornecendo sua potência nominal e consequentemente de modo geral, se verificará valores inferiores dessas características com o motor fornecendo potências abaixo da nominal.

O gráfico da fig. (3.1.4) mostra a variação do rendimento e do fator de potência em função da carga solicitada no eixo de um motor real. Notar portanto que, como a concessionária cobra sobre a potência elétrica fornecida, o fator de potência não interfere diretamente no valor da conta, impondo somente para a mesma potência elétrica fornecida pela rede, valores tanto maiores de corrente quanto menor for o fator de potência.

Devido ao fato dos condutores da rede terem limites de condução de corrente, isto para as concessionárias é ruim, uma vez que com f. p. baixos a rede fornece menor potência elétrica (faturável) do que com f.p. altos. Isto leva as concessionárias a imporem uma multa para f.p. menores do que 0.85, corrigindo o valor a ser pago com a relação:

$$\frac{0.85}{f. p. \text{ medido}}$$

Pelas razões técnicas expostas é fortemente recomendado que se selecione a potência nominal do motor o mais próximo possível da potência solicitada pela carga.

### 3.2 Torques disponíveis para aceleração da carga até a rotação nominal

Quando se analisa a aceleração de um motor na partida acionando uma carga, analisamos normalmente um transitório de curta duração e portanto somente se leva em consideração as potências mecânicas envolvidas do motor e da carga, analisadas em cada ponto pelos respectivos valores de torque e rotação.

Assim é que o estudo de partida é feito com o auxílio das curvas de torque  $\times$  rotação do motor e da bomba, devendo nesse estudo, o motor apresentar torque sempre superior ao da bomba para se garantir que acelere desde a rotação zero até sua rotação nominal. (vide fig. 3.2)

Da observação da fig. 3.2 é claro que para cada ponto o torque acelerante é a diferença entre o torque motor e o torque resistente da bomba, isto é

$$T_{acel.} = T_{motor} - T_{bomba}$$

Normalmente o projetista de motores possui recursos para desenvolver máquinas que podem ter a mesma potência nominal, mas conforme as necessidades, com valores de torques de partida e máximo adequados para cada caso de acionamento.

Por esses motivos não devemos normalmente especificar motores de maior potência nominal (e portanto

com torques mais elevados) para atender a condição transitória de partida e sim especificar a potência mais adequada para o acionamento (como indicado adiante), com os torques necessários para garantir a aceleração do motor nas condições dos sistemas hidráulico, mecânico e elétrico projetados.

Um estudo detalhado de aceleração de um motor deve levar em conta:

□ O tipo de partida utilizado (direta e plena tensão, compensada, estrela-triângulo, etc...)

□ A queda de tensão que ocorre na partida (depende do tipo de partida utilizado e do sistema elétrico de alimentação).

□ A curva torque  $\times$  rotação do motor nas condições acima consideradas.

□ A curva torque  $\times$  rotação da bomba nas condições selecionadas de partida (tipo de bomba, com registro de recalque aberto ou fechado, etc...).

Até agora vimos que:

a) Os motores elétricos possuem uma grande reserva de potência mecânica.

b) Projetado o motor, a utilização de uma maior ou menor potência mecânica continuamente, depende exclusivamente do seu sistema isolante.

c) Os motores são geral e normalmente projetados para oferecerem as melhores características de rendimento e fator de potência quando fornecerem a potência nominal.

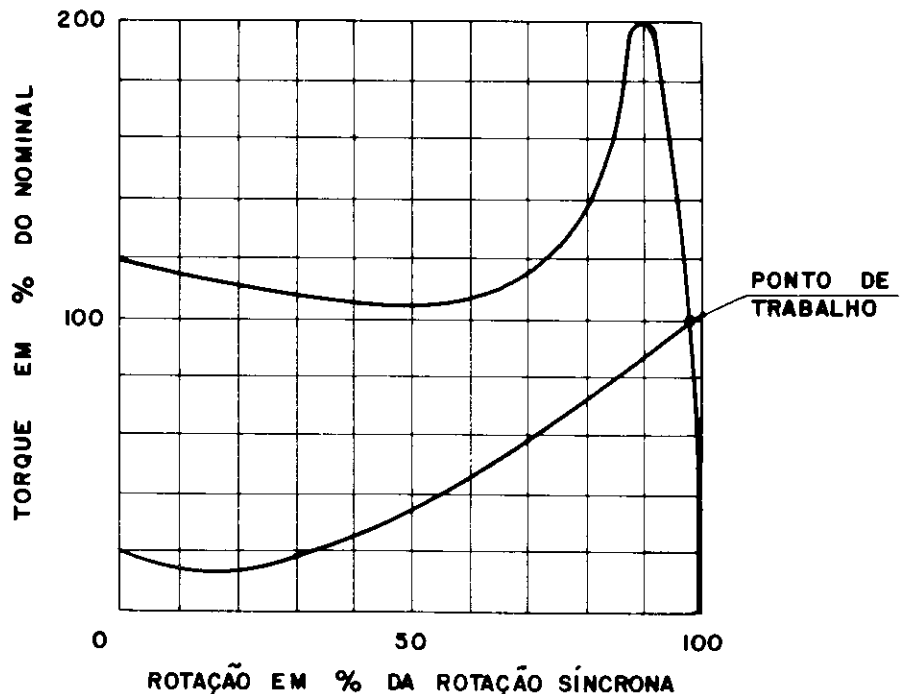


fig. 3: 2

CURVAS DE TORQUE  $\times$  VELOCIDADE DO MOTOR E DA BOMBA

d) A conta de energia elétrica depende do rendimento e do fator de potência do motor.

e) É recomendado selecionar-se os motores com potência nominal próxima da potência solicitada pela carga.

f) Não se deve normalmente selecionar a potência nominal mais elevada para atender a condição transitória de partida, e sim selecionarmos os conjugados de partida e máximo adequados a cada acionamento.

**4. CLASSE DE ISOLAÇÃO**

Os materiais isolantes utilizados na fabricação de máquinas elétricas são classificados quanto à máxima temperatura de trabalho contínuo.

As principais classes de isolação são as seguintes:

	Temp. Total Máxima
Classe A	≅ 105°C
Classe B	≅ 130°C
Classe F	≅ 155°C
Classe H	≅ 180°C

A temperatura total máxima de uma máquina elétrica é composta de 3 parcelas: a temperatura ambiente, a elevação de temperatura e temperatura do ponto mais quente.

Para ambientes normais a temperatura ambiente máxima é normalizada em 40°C.

A elevação de temperatura é a provocada pelas perdas da máquina. Quanto ao ponto mais quente, devemos considerar que em operação real o enrolamento do motor não trabalha sob uma temperatura igual e uniforme existindo partes dele que trabalham sob temperaturas maiores do que outras.

A parte mais quente é chamada ponto mais quente "hot spot" e é a parte do enrolamento que envelhece por temperatura mais rapidamente e que por isso falhará primeiro determinando a "queima do motor"

Quando se mede a temperatura do enrolamento pela variação de sua resistência ôhmica (caso mais comum) estamos obtendo uma temperatura média abaixo da temperatura do ponto mais quente. Por isso as normas consideram na composição da temperatura total uma parcela relativa ao ponto mais quente.

Assim as temperaturas totais se compõem como abaixo indicado.

**4.1 Vida do sistema de isolação**

A observação do gráfico da fig. 4.1 indica que os materiais isolantes de cada classe de isolação quando submetidos a um regime de trabalho contínuo sob a temperatura total máxima normalizada de sua classe e esforços dielétricos e mecânicos normais, terão uma vida média de 8 a 10 anos.

Outra observação muito importante é quanto a declividade das curvas mostradas no gráfico, que indicam que a cada 8°C a 10°C de redução na temperatura do enrolamento, a vida é duplicada ou vice-versa, a cada 8°C a 10°C de aumento à vida é reduzida pela metade.

Como normalmente a temperatura ambiente média não atinge os 40°C normalizados, e na maioria dos casos existe uma folga entre as elevação real da temperatura e o limite máximo de elevação normalizado, é de se esperar que em condições normais, a vida média da isolação seja ainda maior, razão pela qual o gráfico indica a vida dentro de uma faixa de tempo.

	Temp. total máx.	Temp. Ambiente	Elev. Temp.*	Pto. + quente*
Classe A	105°C	40°C	60°C	5°C
Classe B	130°C	40°C	80°C	10°C
Classe F	155°C	40°C	105°C	10°C
Classe H	180°C	40°C	125°C	15°C

\* para motores abertos ou fechados com as temperaturas medidas por variação da resistência ôhmica dos enrolamentos.

COMPOSIÇÃO DAS TEMPERATURAS TOTAIS POR CLASSE DE ISOLAÇÃO

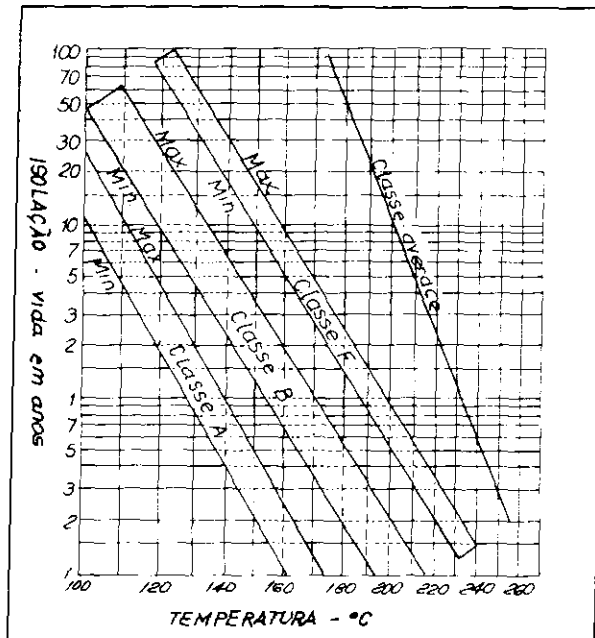


FIG. 4.1  
VIDA DOS MATERIAIS ISOLANTES EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE TRABALHO

Quando se utiliza uma isolação de classe superior à elevação de temperatura do motor como por exemplo, motor isolado em classe F e projetado para elevação correspondente a classe B, estamos contando com uma folga de temperatura de 25°C ou mais, o que nos oferece uma vida da ordem de cinco vezes maior, em condições normais de utilização do motor.

De uma maneira geral pode-se avaliar a alteração da vida média de um sistema isolante, em função da temperatura de trabalho, com o auxílio da equação:

$$\frac{\Delta \text{ pot. cons.}}{\Delta \text{ média}} = e^{0.069 (\Delta t_1 - \Delta t_2)} \quad (4.1)$$

- $\Delta t_1$  — elevação de temperatura c/ potência nominal
- $\Delta t_2$  — elevação de temperatura com a potência considerada
- $V_{\text{média}}$  — vida média da isolação c/ potência nominal
- $V_{\text{pot. cons.}}$  — vida média da isolação c/ a potência considerada

### 5. SOLICITAÇÕES MAIORES OU MENORES QUE A POTÊNCIA NOMINAL — ESTIMATIVA DA VARIAÇÃO NA ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

Caso se necessite retirar mais potência do motor, devemos considerar como já indicado anteriormente, que o motor deverá ter sua elevação de temperatura aumentada devido ao aumento das suas perdas.

Para avaliarmos esse aumento de elevação vamos analisar as suas causas.

As perdas dos motores se distribuem em:

1. Perdas por atrito e ventilação (não depende da carga)
2. Perdas no ferro do circuito magnético (não depende da carga)
3. Perdas ôhmicas no enrolamento (depende da carga)

Quando o motor está girando na faixa compreendida entre a rotação nominal e a correspondente ao torque máximo, as perdas relativas ao

atrito e ventilação e as perdas no ferro praticamente não variam.

Nessa faixa de rotações somente as perdas ôhmicas variam na dependência do quadrado da corrente a qual por sua vez depende da carga solicitada. Assim, mais carga, acarreta maior corrente, maiores perdas e maior elevação de temperatura, que se relacionam como segue:

$$\frac{W_1}{F.D.} = \Delta t_{\text{nom}} \quad (5.1)$$

onde:

$W_1$  = perdas totais do motor em watts com potência nominal

F.D. = fator de dissipação térmica do motor (capacidade de transferir para fora a energia térmica gerada no seu interior) em W/°C.

$\Delta t_{\text{nom}}$  = elevação de temperatura do motor com potência nominal. Se admitida no limite da classe de isolação do motor, será 60°, 80°, 105°C ou 125°C de acordo com a classe dos materiais isolantes.

Da mesma forma, para o motor fornecendo uma potência superior à nominal:

$$\frac{W_2}{F.D.} = \Delta t_{sc} \quad (5.2)$$

onde:

$W_2$  = perdas totais do motor em watts com potência superior a nominal

F.D. = fator de dissipação térmica do motor W/°C

$\Delta t_{sc}$  = elevação de temperatura do motor com sobre-carga.

Como nas potências próximas da nominal, as perdas ôhmicas no enrolamento são quase a totalidade das perdas totais, vamos assumir que

$$\begin{aligned} W_1 &= W_{1C} \\ W_2 &= W_{2C} \end{aligned} \quad e$$

onde:

$W_{1C}$  = perdas ôhmicas no enrolamento com potência nominal

$W_{2C}$  = perdas ôhmicas no enrolamento com sobre carga

e como:

$$W_{1C} = R I_{\text{nom}}^2 \quad (5.3)$$

$$W_{2C} = R I_{sc}^2 \quad (5.4)$$

onde: R — resistência ôhmica do enrolamento

dividindo-se (5.4) por (5.3)

$$\frac{W_{2C}}{W_{1C}} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{I_{sc}^2}{I_{\text{nom}}^2} = a$$

e . . .  $W_2 = a W_1$

substituindo-se em (5.2)

$$\frac{a W_1}{F.D.} = \Delta t_{sc} \quad \text{e considerando} \quad (5.1)$$

$$a \Delta t_{\text{nom}} = \Delta t_{sc}$$

e assim:

$$a = \frac{I_{sc}^2}{I_{\text{nom}}^2} = \frac{\Delta t_{sc}}{\Delta t_{\text{nom}}} \quad (5.5)$$

Considerando-se que o rendimento e o fator de potência variam pouco na faixa de carga em torno da nominal, pode-se admitir que aproximadamente a corrente varia linearmente com a potência na faixa de carga em consideração.

assim:

$$\frac{I_{sc}}{I_{\text{nom}}} = \frac{P_{sc}}{P_{\text{nom}}}$$

onde:

$P_{sc}$  = potência com sobrecarga

$P_{\text{nom}}$  = potência nominal

elevando ao quadrado e considerando (5.5)

$$a = \left( \frac{I_{sc}}{I_{\text{nom}}} \right)^2 = \left( \frac{P_{sc}}{P_{\text{nom}}} \right)^2 = \frac{\Delta t_{sc}}{\Delta t_{\text{nom}}} \quad (5.6)$$

Observemos que ao assumirmos  $W_1 \cong W_{1c}$  e  $W_2 \cong W_{2c}$ , e estabele-

lecemos que a elevação de temperatura varia com o quadrado da corrente e da potência, estamos obtendo elevações de temperatura superiores à real, uma vez que fizemos variar também com o quadro da potência perdas que não variam com ela. (perdas no ferro e por atrito e ventilação).

**6. VARIACÃO DA VIDA MÉDIA DO SISTEMA ISOLANTE EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA SOLICITADA**

Com o auxílio das relações (4.1) e (5.6) é possível estimarmos o comportamento da vida do sistema isolante de um motor elétrico em função da potência que se solicita no seu eixo.

Vamos como exemplo, considerar que um motor isolado em classe B com elevação de temperatura no limite de sua classe, isto é 80°C, quando fornecendo a potência nominal, seja submetido a uma sobre-carga contínua de 15%. Vamos com estes elementos avaliar a redução da vida média dos materiais isolantes nestas condições.

Considerando: (5.6)

$$\left(\frac{P_{sc}}{P_{nom}}\right)^2 = \frac{\Delta t_{sc}}{\Delta t_{nom}}$$

$$\left(\frac{1.15}{1}\right)^2 = \frac{\Delta t_{sc}}{80}$$

$\Delta t_{sc} \cong 105.8^\circ\text{C}$

que corresponde praticamente a elevação de temperatura de classe F.

Considerando (4.1)

$$\frac{V_{pot\ cons}}{V_{media}} = e^{0.069 (\Delta t_1 - \Delta t_2)}$$

$$= e^{0.069 (80 - 105.8)} \cong 0.17$$

Conclui-se que esse motor nessas condições teria sua vida média reduzida para aproximadamente 17% da vida média normal.

Observemos ainda que se nesse motor fosse utilizado um sistema de isolamento de classe superior, a vida dessa isolamento seria praticamente a normal ou cinco vezes a normal, conforme se utilizasse materiais de classe F ou H respectivamente. Outro exemplo:

Um motor isolado em classe B tem uma elevação de temperatura real de 72°C (o que não é difícil acontecer, pois quem projeta sempre considera uma folga na elevação).

Vamos avaliar a vida da isolamento quando o motor é submetido a sobre-carga contínua de 5%.

$$\left(\frac{P_{sc}}{P_{nom}}\right)^2 = \frac{\Delta t_{sc}}{\Delta t_{nom}} \left(\frac{1.05}{1}\right)^2 = \frac{\Delta t_{sc}}{72}$$

$$\Delta t_{sc} \cong 79.2^\circ\text{C}$$

A elevação de temperatura calculada indica que a isolamento do motor deverá apresentar uma vida média até ligeiramente superior à normal uma vez que se encontra abaixo do limite normalizado (80°C) para a classe B.

Observemos do exposto que as solicitações de potência maiores que a nominal não indicam que o motor "queimará" e sim que na pior das hipóteses ocorrerá uma redução da vida do motor. Caso se dedique ao sistema isolante os devidos cuidados no que se refere as especificações, a vida do motor submetido a sobre-carga contínua poderá ser normal ou até prolongada.

**7. O PAPEL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DOS MOTORES**

Todo motor é normalmente instalado com as seguintes proteções mínimas:

- proteção contra sobrecargas contínuas
- proteção contra curto-circuitos

A proteção contra curto-circuito é instalada normalmente com a finalidade de proteção da cablagem de alimentação do motor e para diminuir a extensão dos danos em caso de curto-circuito no seu enrolamento. Esta proteção atua somente após a ocorrência do curto-circuito no motor ou no cabo.

A proteção contra sobre-cargas contínuas é normalmente exercida por dispositivos bimetálicos que reproduzem o comportamento térmico do motor (imagem térmica). Esses dispositivos são calibráveis de modo que é possível ajustá-los para a potência nominal do motor ou para potências superiores a nominal quando consideradas admissíveis.

Desta forma caso o motor seja solicitado a fornecer potências superiores às admissíveis, esse dispositivo provocará o desligamento do

motor evitando que seu aquecimento seja superior ao previsto.

**8. ANÁLISE DE UM CASO REAL**

Para ilustrar-mos o até aqui exposto vamos considerar um caso real de uma elevatória de água e selecionarmos a bomba e o motor.

**A) SISTEMA HIDRAULICO**

A curva do sistema bem como os dados de projeto encontram-se na fig. 8.2

**B) BOMBA**

Para atender as condições de projeto foi selecionada uma bomba modelo 16 LHN 28 "C" — WORTHINGTON — de fluxo radial cuja curva, Q x H, (fig. 8.1) encontra-se plotada sobre a do sistema na fig. 8.2.

Esta bomba foi selecionada para atender a vazão prevista para a 1.ª etapa com altura manométrica média (3357 m³/h; 98m.). Operando neste ponto, a potência solicitada pela bomba (BHP) é de 1396 HP.

Com 2 bombas operando em paralelo para atender a vazão prevista de 2.ª etapa com altura manométrica média (5440 m³/h; 106m), cada uma solicitará uma potência de 1299 HP.

A pior situação quanto à solicitação de potência ocorre nas condições de 1.ª etapa com a bomba operando sobre a curva do sistema com característica mínima (ponto 1A) quando então solicitará uma potência de 1415 HP.

**C) MOTOR**

Para acionar a bomba selecionada vamos especificar um motor com as seguintes características:

- potência nominal

Selecionada para atender o ponto de operação mais frequente.

Neste caso como existem duas etapas de implantação sendo que a primeira vigorará por 10 anos, o ponto mais frequente considerado é o ponto 1, no qual o BHP é de 1396 HP.

A potência nominal do motor deverá ser uma potência padronizada igual ou imediatamente superior ao BHP da carga o que define para o acionamento da bomba selecionada um motor de 1400 HP.

- Torque máximo — 180%

Sistema de isolamento e elevação real de temperatura.



# BOMBAS CENTRIFUGAS

## CURVA DE PERFORMANCE

**WORTHINGTON**

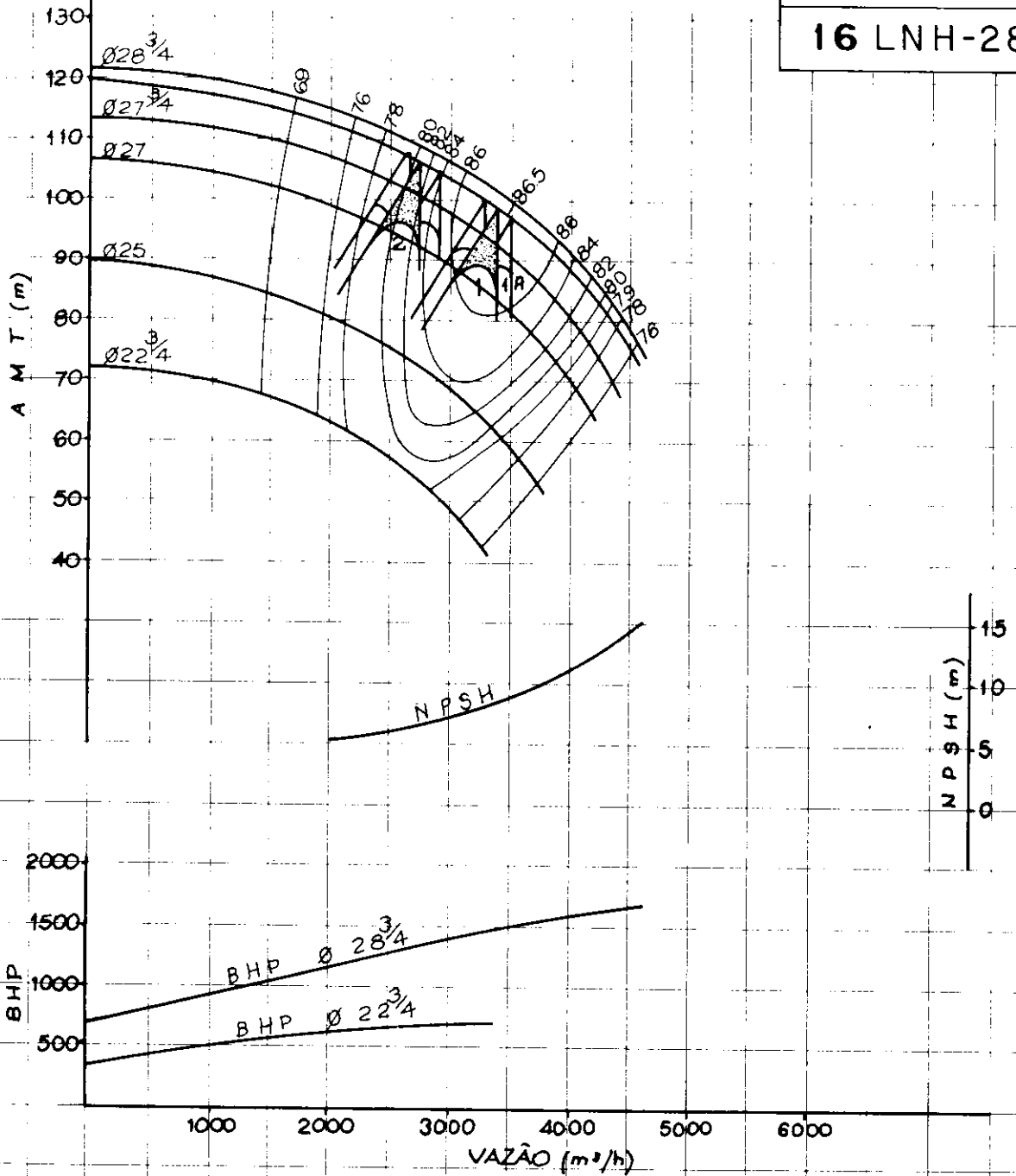
Pg. 23

DATA: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
 SUBSTITUI: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

TIPO **LN**

**1175 RPM**

**16 LNH-28**

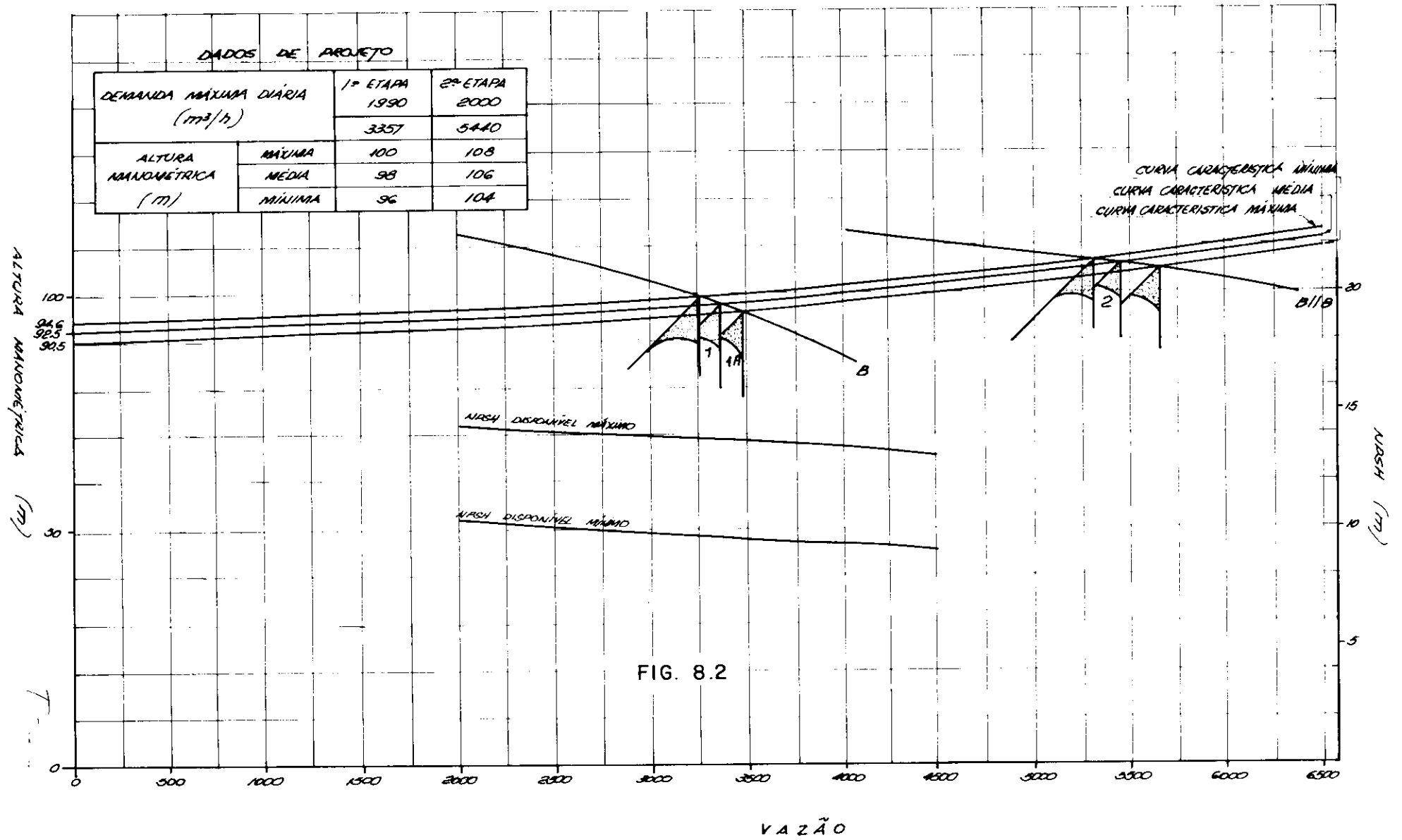


Sucção Ø	24 in.	609,6 mm.	Descarga:	16 in.	406,4 mm	Diâmetro Máximo de sólidos	mm	
<b>1ª ETAPA</b>	VAZÃO	3.357 m <sup>3</sup> /h		N:	86%		NPSHr:	8,3 m
	AMT:	98 m		BHP:	1396 HP		NPSHd:	9,6 m
<b>2ª ETAPA</b>	VAZÃO	2.720 m <sup>3</sup> /h		N:	81%		NPSHr:	6,5 m
	AMT:	106 m		BHP:	1299 HP		NPSHd:	10,0 m

**Importante:** Esta bomba é garantida para um ponto das condições de serviço. Outros pontos são aproximados, não garantidos. A vazão e a A.M.T. de projetos são baseadas em testes de fabrico, com água limpa e fria.

**FIG. 8.1**

# ELEVATÓRIA DE VILA BRASILÂNDIA SAM-EN



Considerando o caráter de serviço essencial o destinado ao abastecimento público, vamos adotar um sistema de isolamento de classe F, exigindo que a elevação real do motor não ultrapasse a correspondente a classe B ou seja 80°C quando medida pela variação da resistência ôhmica dos enrolamentos.

□ Rendimento e fator de potência.

Visando obter os custos iniciais e operacionais os menores possíveis exigiremos um rendimento mínimo de 92% e um fator de potência mínimo de 0,87 ambos considerados na faixa de 3/4 a 4/4 da potência nominal.

### Considerações

1.º) Devido a seleção da potência nominal praticamente igual ao BHP da bomba no ponto de operação mais frequente, o motor operará a maior parte do tempo com as melhores características de rendimento e fator de potência.

2.º) Ainda com a seleção da potência nominal igual ao BHP da bomba reduzimos ao mínimo a potência instalada, elemento que define o custo da demanda na conta de energia elétrica.

3.º) A adoção do sistema de isolamento de classe F com elevação de temperatura de 80°C nos oferece uma vida média da isolamento da ordem 5,6 vezes maior que a normal, uma vez que a operação mais frequente se fará praticamente com a potência nominal.

$$\frac{V_{pot\ cons}}{V_{nom}} = e^{0,069 (106 - 80)} = 5,6$$

4.º) Caso a operação mais frequente se realize no ponto 1A (o que é improvável) com uma potência solicitada do motor de 1415 HP, a vida da isolamento se reduzirá para 4,95 vezes maior que a normal!!!

$$\frac{\Delta t_{sc}}{\Delta t_{nom}} = \left( \frac{P_{sc}}{P_{nom}} \right)^2$$

$$\frac{\Delta t_{sc}}{\Delta t_{nom}} = \left( \frac{1415}{1400} \right)^2$$

$$\therefore \Delta t_{sc} = 81,8^\circ\text{C}$$

$$\frac{V_{pot\ cons}}{V_{nom}} = e^{0,069 (105 - 81,8)} = 4,95$$

### Consideração importante:

Caso a elevatória fosse de porte a exigir já na 1.ª etapa a operação concomitante de duas bombas, o ponto de operação mais frequente seria o 2, no qual o BHP é de 1300 HP, podendo-se assim se definir para o acionamento da bomba selecionada, agora um motor de potência nominal igual a 1300 HP.

O comportamento deses motor se caracterizaria por:

1.º) Com a potência nominal igual ao BHP da bomba no ponto de operação mais frequente, o motor operará a maior parte do tempo com as melhores características de rendimento e fator de potência, e ainda reduziremos ao mínimo a potência instalada, elemento que define o custo da demanda na conta de energia elétrica.

2.º) A adoção do sistema de isolamento de classe F com elevação de 80°C nos oferece uma vida média da isolamento da ordem de 5,6 vezes maior que a normal uma vez que a operação mais frequente se fará com a potência nominal.

3.º) Caso a operação frequente se realize no ponto 1A, portanto com uma bomba só (o que é ainda mais improvável) com uma potência solicitada do motor de 1415 HP ocorreria:

#### a) Torque solicitado

De acordo com a equação (3.1)

$$1300 = K \times T_{nom} \times RPM_{nom}$$

$$\text{e } 1415 = K \times T_{sc} \times RPM_{sc}$$

$$\text{considerando } RPM_n \cong RPM_{sc}$$

$$\frac{1415}{1300} = \frac{T_{sc}}{T_n}$$

$$T_{sc} \cong 1,09 T_n$$

o torque solicitado a 1415 HP de potência seria 109% do nominal o que não ofereceria o menor problema uma vez que o torque máximo é de 180%.

#### b) vida da isolamento:

$$\frac{\Delta t_{sc}}{\Delta t_{nom}} = \left( \frac{P}{P_{nom}} \right)^2$$

$$\Delta t_{sc} = 1,185 \times \Delta t_{nom}$$

$$\therefore \Delta t_{sc} \cong 95^\circ\text{C}$$

$$\frac{V_{pot\ cons}}{V_{nom}} = e^{0,069 (105 - 95)} \cong 2$$

A vida da isolamento nessas condições se reduziria para 2 vezes maior que a normal!!!

Como a operação real se fará em pontos variando entre a melhor e a pior condição e sendo razoável admitir-se que se fará a maior parte do tempo em condições mais próximas da melhor, é razoável também estimar-se que a vida da isolamento variará entre 2 a 5,6 vezes mais que a normal com maior probabilidade de situar-se mais próxima do limite maior.

4.º) Caso as condições de operação **projetadas** não venham a ser verificadas no campo, com ocorrências como:

a) BHP maior que o indicado nas curvas da bomba selecionada;

b) Curva do sistema hidráulico projetado diferente da real acarretando a operação da bomba em condições de QxH de modo a solicitar mais potência, o motor poderá fornecer **continuamente** com vida normal 1495 HP, oferecendo assim uma margem de aproximadamente 80 HP com relação a maior potência solicitada pela bomba no sistema hidráulico estudado, ou uma margem de 195 HP com relação à potência requerida pela bomba no ponto de trabalho selecionado.

### Considerações adicionais:

Bombeamento de fibras e outros corpos estranhos que venham a solicitar potências extras podem ser considerados em três situações:

a) O alto torque máximo do motor (até 180% do nominal) destrói os corpos estranhos mencionados com sobrecarga transitória de curta duração correspondente ao torque necessário;

b) Os corpos estranhos mencionados são de resistência tal que, não são rompidos e travam o rotor da bomba e conseqüentemente o do motor;

c) Os corpos estranhos mencionados não se rompem, não travam o rotor, porém, ali permanecem solicitando mais potência do motor.

Para analisarmos essas situações lembremos que todo o motor corretamente instalado possui normalmente dispositivos de proteção conforme já mencionado.

Assim, na primeira situação devido à característica temporizada da proteção e a sobrecarga momentânea imposta ao motor, esta proteção não chega a atuar e o motor permanece funcionando sem maiores conseqüências.

Na segunda situação, a proteção atuará em um tempo inferior ao tempo máximo permitido de rotor

travado do motor, (geralmente da ordem de alguns segundos) evitam-se que o mesmo se danifique.

Na terceira situação, se a sobrecarga ocasionada for superior àquela permitida pela proteção, então esta atuará em um tempo determinado pela sua curva de atuação, que é sempre inferior àquela que poderia danificar o motor naquelas condições.

## 9. A INFLUÊNCIA DA POTÊNCIA NOMINAL DO MOTOR NO CUSTO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SANEAMENTO

### 9.1 Investimento Inicial — Normas das Concessionárias de Energia Elétrica e das Empresas de Saneamento

No saneamento, o custo da energia elétrica é reduzido. (paga-se somente 40% da conta de energia fornecida em São Paulo pela LIGHT) razão pela qual **geralmente** é mais conveniente se economizar no investimento inicial do que no custo operacional.

Paralelamente a isso as concessionárias de energia impõem limites de potência instalada para o fornecimento de energia em baixa tensão, obrigando conseqüentemente o consumidor a instalar equipamentos de valor (entrada e medição de energia, subestação transformadora, etc...) para recebimento da energia elétrica em alta tensão quando a potência instalada exceder àqueles limites. A LIGHT estabelece esse limite em 100 CV, a CESP em 30 CV e a CPFL em 100 CV.

Por outro lado, por razões técnicas e econômicas as empresas de saneamento de porte, a exemplo de outras empresas, como Petrobrás (200 CV), Acesita (300 CV), Usiminas (200 CV), etc..., estabelecem limites de potência para alimentação dos motores em baixa tensão. Assim é que a SABESP indica a alimentação em baixa tensão para motores até 300 CV, estabelecendo conseqüentemente para potências superiores, motores de alta tensão, que normalmente nessa faixa de potência custam cerca de 80% mais que os de baixa tensão, além de exigirem equipamentos de acionamento e proteção em alta tensão também mais caros.

É evidente que para as potências superiores, porém próximas dos limites estabelecidos, os fatores técnicos são determinantes e na medida em que as potências aumentam, os fatores técnicos e econômicos que levam ao estabelecimento desses limites, se acentuam.

Assim é que são de fundamental importância os conceitos aqui emitidos para a seleção técnica e econômica dos motores para o aciona-

mento das bombas que solicitam potências em torno desses limites.

Examinemos dois exemplos reais:

a) Uma elevatória localizada em área de concessão da LIGHT, dimensionada para operar com uma só bomba que exige 77 CV do motor no ponto de operação.

De acordo com os critérios habituais de seleção, o motor selecionado seria de 100 CV acarretando, por imposição da concessionária, a instalação de todos os equipamentos elétricos para recebimento da energia em alta tensão com substancial aumento de custo no investimento inicial do sistema.

Com o critério correto, o motor poderá ser um motor normal de 75 CV, recebendo-se energia em baixa tensão, sem necessidade de se dispender verbas em equipamentos para recebimento de energia em alta tensão, aqui, completamente desnecessários, além de economizarmos durante a operação por estarmos operando com o motor a maior parte do tempo próximo da potência nominal, e portanto com suas melhores características de rendimento e fator de potência.

b) Uma elevatória, dimensionada para operar com bombas radiais que exigem 294 CV no ponto de operação normal e 325 CV no ponto de operação crítica.

Com os critérios habituais de seleção, os motores selecionados seriam de 350 CV que seriam, por determinação da normalização da SABESP, em alta tensão com conseqüente custo de motores, quadros e cablagem bem mais elevados.

Conhecendo-se o comportamento dos motores e especificando-os corretamente pôde-se selecionar motores de 300 CV de classe de isolamento F com elevação de temperatura não superior a 80°C, que atende às solicitações da bomba com durabilidade maior que a normal, evitando-se uma instalação mais onerosa.

O único custo que poderia ser considerado como adicional desta solução foi o representado pelos motores 15% mais caros devido à classe de isolamento e elevação de temperatura especificados.

### 9.2 Investimento Inicial — Fase de Projeto, Critérios de Seleção de Bombas e Motores e suas Conseqüências no Restante das Instalações

É prática habitual nas empresas de saneamento encomendar o projeto completo de cada instalação a ser construída de modo que tanto o projeto hidro-mecânico como o elétrico são desenvolvidos concomitantemente.

As potências nominais dos conjuntos moto-bombas variam dependendo tanto dos critérios estabelecidos para a seleção das bombas quanto dos estabelecidos para os motores.

As potências solicitadas pelas bombas dependerão das considerações se deverão ser selecionadas para a vazão média ou máxima de projeto e se os rendimentos assumidos se baseiam em valores reais extraídos das curvas dos principais fornecedores.

Quanto aos motores já analisamos com detalhes os aspectos que envolvem sua seleção.

Definidos os conjuntos moto-bombas se dimensionam vários itens de construção civil como área da elevatória, bases dos conjuntos, capacidade de carga de talhas ou pontes para seu transporte etc..., bem como todo o restante da instalação elétrica.

Ora, caso não se tenha critérios apurados na seleção dos conjuntos moto-bombas correremos o risco de desenvolvermos o projeto das instalações civis e elétricas superdimensionadas que elevam os custos do investimento inicial desnecessariamente.

### 9.3 Custo Operacional — Rendimento e Fator de Potência dos Motores — Custo de Demanda

Conforme já analisado, motores quando superdimensionados geralmente não oferecem as melhores características de fator de potência e rendimento nas condições reais de operação, além de implicarem num custo de demanda maior que o necessário.

Selecionando-se portanto motores, cuja potência nominal se situa próxima das solicitações mais frequentes, obteremos evidentemente os custos operacionais mais reduzidos.

## 10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do exposto, para se obter instalações mais econômicas, recomenda-se:

10.1 Especificar os motores com classe de isolamento F, porém com elevação máxima de temperatura de 80°C, quando medida pela variação da resistência ôhmica dos seus enrolamentos.

10.2 Especificar a potência nominal do motor para atender as solicitações mais frequentes e verificar seu comportamento nos pontos críticos de operação da bomba.

10.3 Especificar os torques de partida e máximo adequados para garantir a aceleração do motor nas condições do sistema hidráulico, mecânico e elétrico projetados.