

Utilização de bombas de rotação variável em obras sanitárias

DORIVAL CORRÊA VALLILO (1)
HIDEO KUBOTA (1)
MILTON TOMOYUKI TSUTIYA (2)
SABURO UEDA (3)

1. INTRODUÇÃO

As bombas de rotação variável (BRV), têm sido gradativamente utilizadas nos sistemas de abastecimento de água e esgotos sanitários.

É de grande importância para o engenheiro que trabalha na área de saneamento, conhecer os conceitos básicos para a sua utilização.

Serão abordados, neste trabalho, os principais aspectos necessários ao desenvolvimento do projeto e, esperamos com isso, colaborar na escolha adequada dos equipamentos.

2. OBJETIVOS E VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE BRV

Os principais objetivos são:

● Abastecimento de água:

Manter "constante" a pressão de descarga da bomba, dentro de uma faixa pré estabelecida, independentemente da demanda ou da variação da pressão de sucção.

● Esgoto Sanitário:

Manter "constante" o nível do poço de sucção, dentro de uma faixa pré estabelecida, independentemente da vazão afluyente ao poço de sucção.

As principais vantagens são:

- eliminação de reservatórios elevados (água).
- redução do volume do poço de sucção (esgoto).

3. TIPOS DE VARIADORES DE ROTAÇÃO

Os principais tipos de variadores de rotação são:

- Reostato Líquido.
- Acoplamento eletro magnético.
- M.G. Scherbius.
- Thyristor — Scherbius.
- Kramer.
- Motor de comutação.
- Com variação de frequência.
- Acoplamento Hidráulico.
- Motores de Combustão Interna, etc.

4. PRINCIPAIS CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DE BRV

Para uma boa escolha, devemos analisar os seguintes aspectos fundamentais:

4.1. CURVA DE PRESSÃO REQUERIDA (CPR)

● Abastecimento de Água

Para manter constante a pressão de descarga da bomba independentemente da demanda, a bomba deverá operar sobre uma curva denominada "Curva de Pressão Requerida" (CPR).

Esta curva representa a diferença entre a pressão de descarga que desejamos manter constante, e a pressão disponível de sucção para cada demanda.

● Esgoto Sanitário

Neste caso, a curva de pressão requerida sobre a qual a bomba deverá operar para manter o nível do poço de sucção constante, independentemente da vazão afluyente, coincidirá com a própria curva característica do sistema, desde que a perda de carga na sucção seja desprezível.

Pela figura 1, pode-se observar que quanto maior for a inclinação da CPR, para uma mesma variação de demanda, tanto melhor é o aproveitamento do sistema de variação de rotação.

4.2. CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA

De um modo geral, não se deve uti-

(1) Engenheiros da Divisão de Projetos Mecânicos — Diretoria de Construção da SABESP.

(2) Engenheiro da Divisão de Projetos II — Diretoria de Construção da SABESP.

(3) Chefe de Divisão de Compras Técnicas — Diretoria Administrativa da SABESP.

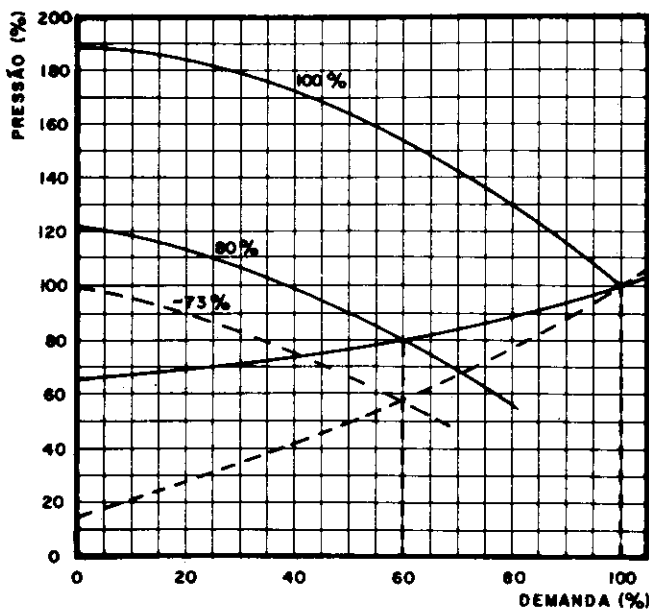


FIG. 1 - Variação de rotação x inclinação da CPR.

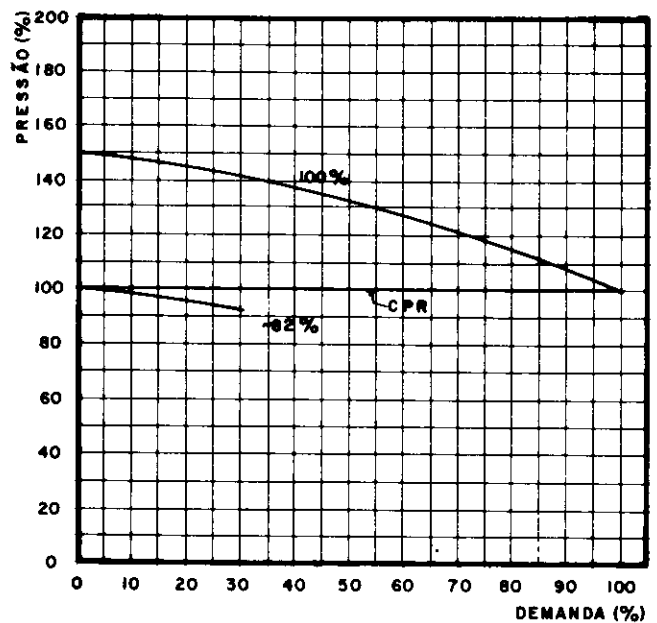


FIG. 2 - Q x H da bomba e CPR.

lizar bombas com curva característica plana, isto é, com baixa rotação específica.

Para exemplificar consideremos a figura 2, na qual pretende-se manter a pressão de descarga constante. A pressão de sucção foi mantida constante e a perda de carga na sucção desprezada.

Pela Lei da Similaridade, temos:

$$N_i = N_o \sqrt{\frac{H_i}{H_o}}$$

onde: H_o = pressão à vazão $Q_o = 0$ e rotação N_o .

H_i = pressão à vazão $Q_i = 0$ e rotação N_i .

Substituindo os valores de H_i e H_o da figura 2, obtemos:

$$N_i = N_o \sqrt{\frac{100}{150}} \approx 0,81 N_o$$

Isto significa que para o sistema apresentado a variação máxima de rotação, foi de apenas 19% da rotação máxima.

Utilizando uma outra bomba com curva característica mais plana para o mesmo sistema, representado na figura 3, teremos:

$$N_i = N_o \sqrt{\frac{100}{110}} \approx 0,95 N_o$$

ou seja, a variação de rotação será de apenas 5% da rotação máxima. Portanto, quanto mais plana for a curva ca-

racterística da bomba, tanto menor será a variação da rotação, ou então, quanto maior for a rotação específica (N_q), melhor será o seu aproveitamento na utilização da rotação variável.

Na figura 4 apresentamos as curvas características genéricas de bombas em função da rotação específica (N_q).

Curva n.º	N_q
1	17
2	42
3	77
4	109
5	176

onde:

$$N_q = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

N - rpm

Q - m³/s

H - m

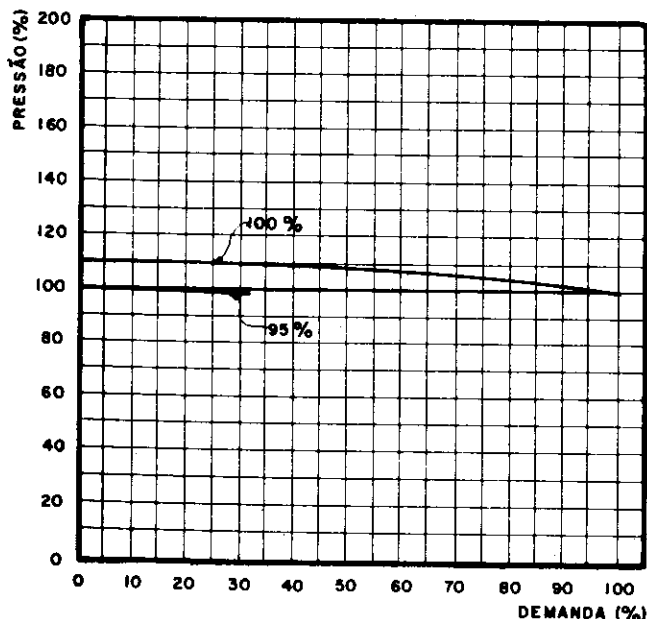


FIG. 3 - Q x H da bomba e CPR.

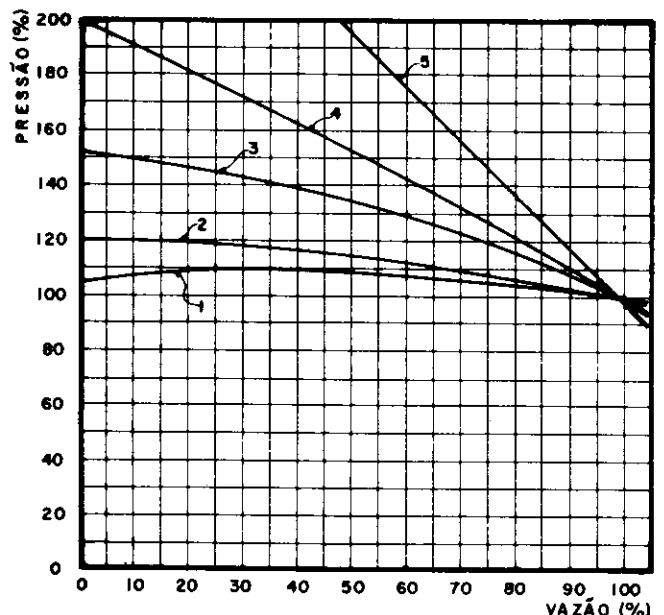


FIG. 4 - Q x H da bomba x N_q .

5. ROTAÇÃO VARIÁVEL EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

5.1. CURVA DE PRESSÃO REQUERIDA (CPR)

A CPR sobre a qual a bomba deverá operar para obter pressão de descarga constante, dependerá diretamente da condição de sucção do sistema.

Consideramos:

- a) Pressão de sucção variando com a demanda – figura 5.

Neste caso, a CPR terá a configuração representada na figura 5 A, na qual as curvas representam:

1. curva de pressão que desejamos manter constante.
2. curva de pressão disponível na sucção.
3. curva característica da bomba à rotação N_0 .
4. curva de pressão requerida (CPR).
5. curva característica da bomba à rotação N_1 .

- b) Pressão de sucção constante – figura 6.

A CPR desta instalação será conforme figura 6-A, na qual as curvas representam respectivamente:

1. curva da pressão que desejamos manter constante.
2. curva da pressão disponível na sucção.
3. curva característica da bomba à rotação N_0 .
4. curva de pressão requerida (CPR).
5. curva característica da bomba à rotação N_1 .

- c) Pressão de sucção variável

Seja a instalação representada na figura 7.

A bomba deverá operar dentro da área A, B, B' A', conforme figura 7-A, na qual as curvas representam respectivamente:

1. curva da pressão que desejamos manter constante.
2. curva da pressão disponível na sucção correspondente ao nível máximo.
- 2'. curva da pressão disponível na sucção correspondente ao nível mínimo.

3. curva característica da bomba à rotação N_0 .

4. curva da pressão requerida (CPR) correspondente ao nível máximo.

4'. curva da pressão requerida (CPR) correspondente ao nível mínimo.

5. curva característica da bomba à rotação N_1 .

Notas:

1) Na prática, a pressão de descargas não se mantém rigorosamente constante, devido à própria característica dos transdutores ou outros dispositivos que fornecem o sinal para o controle da rotação. Portanto, devemos considerar a pressão de descarga para vazão nula, 10% maior que a pressão referente à demanda máxima.

2) A rotação máxima final é da ordem de 95% da N_0 , onde N_0 é a rotação máxima nominal.

5.2. FAIXAS DE VAZÃO RECOMENDADAS PARA OPERAÇÃO

Teoricamente é possível reduzir-se a rotação da bomba até a vazão zero (condição de shut-off).

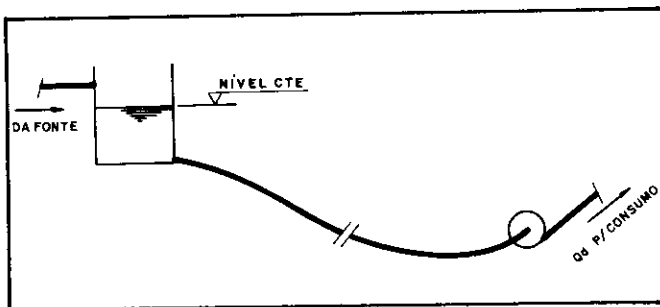


FIG. 5 – Instalação com pressão de sucção variando com a demanda.

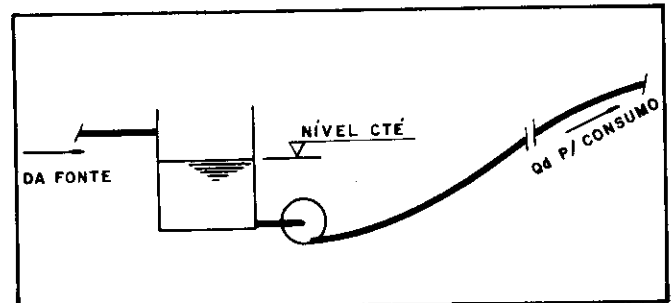


FIG. 6 – Instalação com pressão de sucção constante.

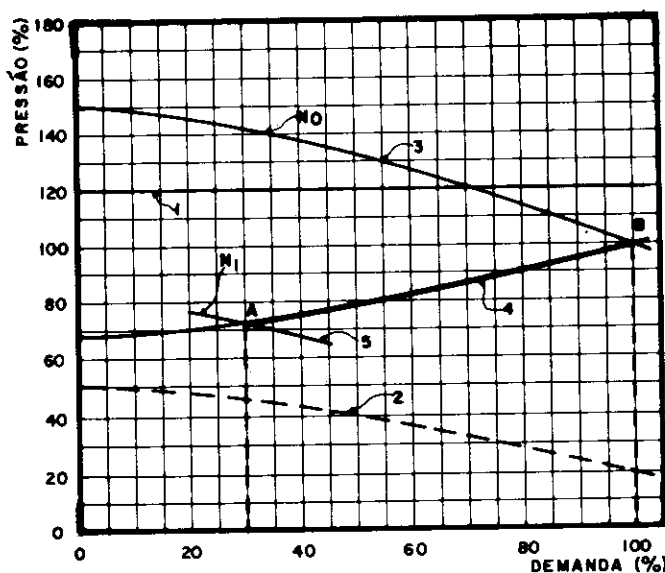


FIG. 5-A – Faixa de operação da bomba x demanda.

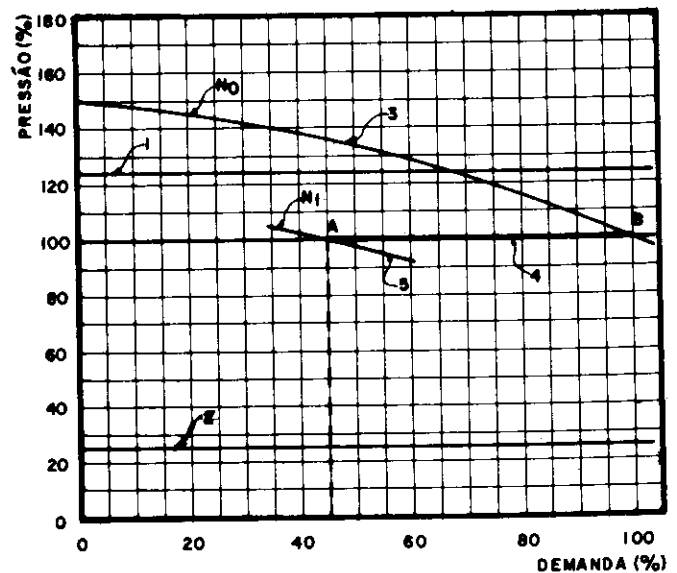


FIG. 6-A – Faixa de operação da bomba x demanda.

Na prática, entretanto, devemos evitar que as bombas operem a baixas vazões.

As operações contínuas nestas condições, principalmente no caso de bombas de média e grande capacidade, provocarão a recirculação de água dentro da carcaça, ocasionando problemas tais como:

- vibrações exageradas.
- cargas radiais e axiais excessivas prejudiciais aos mancais.
- aquecimento da carcaça.
- aquecimento do motor elétrico.

Uma boa regra prática é limitar a vazão mínima a valores não inferiores a 25% – 30% da vazão correspondente ao ponto de melhor rendimento na rotação máxima recomendada.

No entanto sugerimos, por questões de segurança, obter do fabricante a vazão mínima recomendada para a bomba em operação contínua.

5.3. LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE MELHOR RENDIMENTO

Sabemos que o maior tempo de operação dos conjuntos se dá em

uma faixa de vazão inferior à demanda máxima. Portanto, para o melhor aproveitamento do rendimento, o ponto referente à demanda máxima deverá estar situado à direita da faixa de melhor rendimento da bomba.

5.4. CURVA DE "RENDIMENTO x DEMANDA"

A partir da figura 8, podemos obter a curva de "rendimento x demanda", com a qual podemos verificar facilmente a faixa de melhor aproveitamento da bomba conforme figura 9.

Neste exemplo, a faixa de melhor aproveitamento situa-se entre 60% a 100% da demanda máxima.

5.5. CURVA DE "ROTAÇÃO X DEMANDA"

Conhecendo-se as curvas características da bomba para diversas rotações e a CPR, podemos traçar a curva da "rotação x demanda".

Esta curva permite avaliar a faixa de variação da rotação. Para efeito de apresentação da curva considera-

mos a variação da rotação até a vazão zero, conforme figura 10.

5.6. SISTEMAS DE DUAS OU MAIS BOMBAS

Para grandes demandas utilizamos duas ou mais bombas trabalhando em paralelo. Basicamente esta associação pode ser feita de duas maneiras:

a) "Load Sharing".

Neste método a bomba denominada "base" opera até que a sua capacidade máxima seja atingida à rotação máxima.

Se a demanda ultrapassar esta capacidade máxima, entrará em operação a segunda bomba, denominada "de retardamento", passando as duas a operar nas mesmas condições de rotação e vazão.

b) "Staggered"

Neste método, a bomba denominada "base" opera até que a sua capacidade à rotação máxima seja atingida. Se a demanda ultrapassar esta capacidade, entrará em operação a segunda bomba, denominada "de retardamento". Neste caso a bomba de retardamento variará em função da demanda, enquanto que a rotação da bomba base permanecerá constante.

5.7. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

Seja um sistema de três bombas de rotação variável (uma de reserva), com pressão de sucção constante.

A figura 11 representa as características de funcionamento de cada bomba.

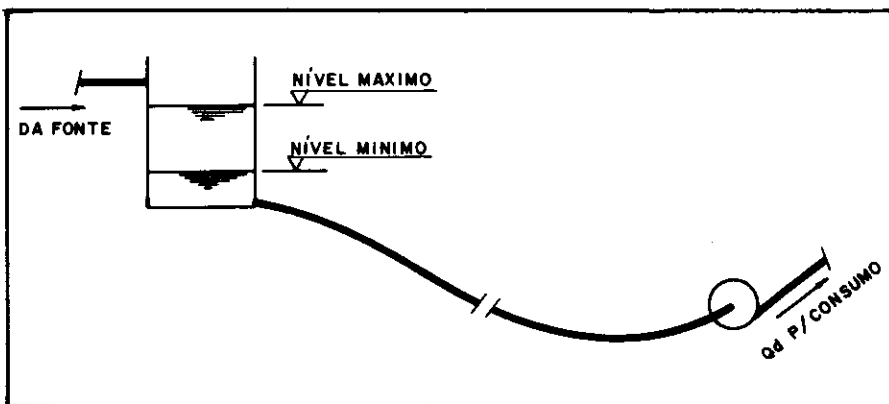


FIG. 7 – Instalação com pressão de sucção variando independentemente da demanda.

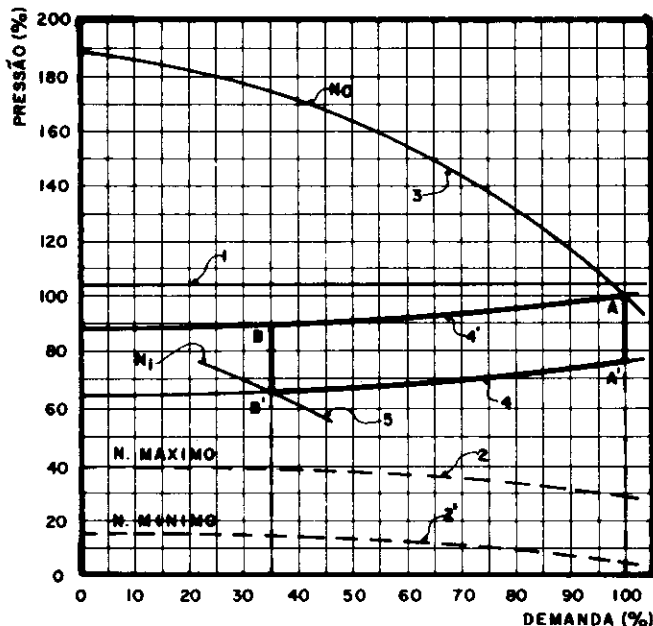


FIG. 7-A – Faixa de operação da bomba x demanda.

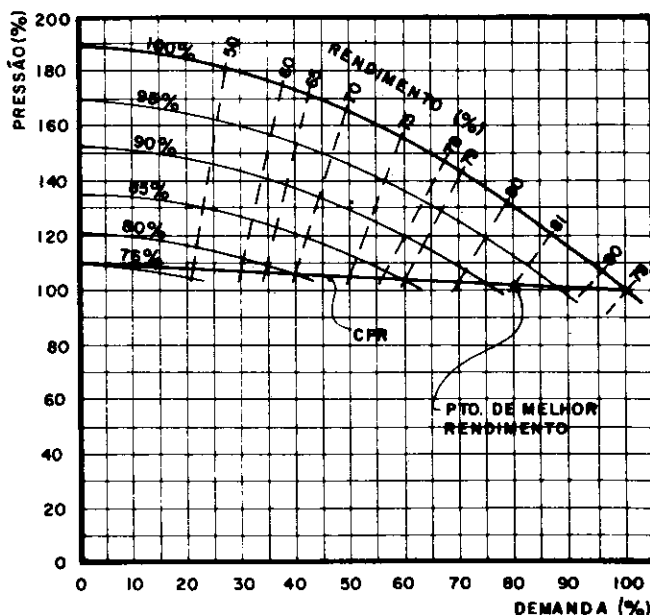


FIG. 8 – Q x H da bomba e CPR.

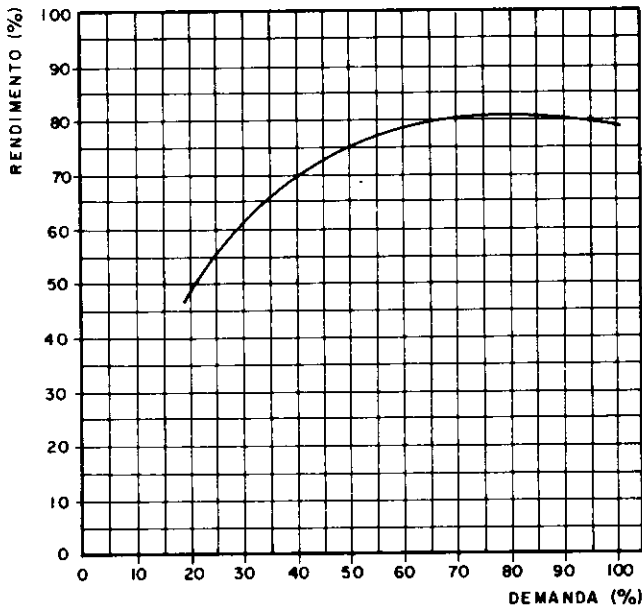


FIG. 9 - Rendimento x demanda.

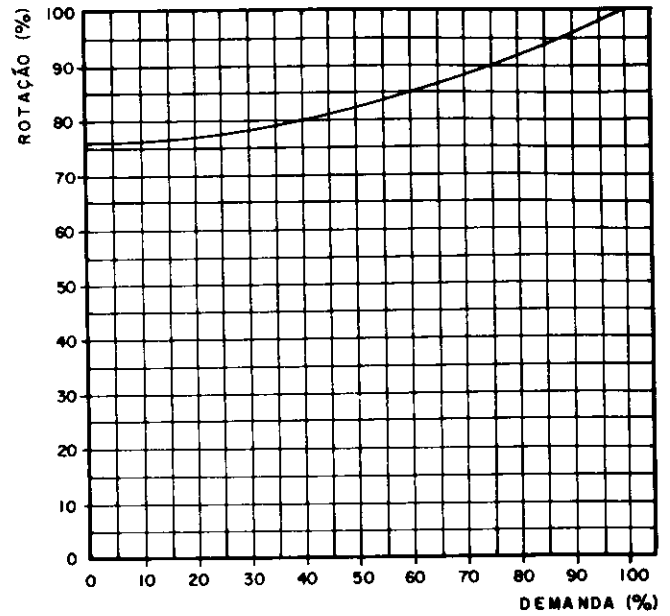


FIG. 10 - Rotação x demanda

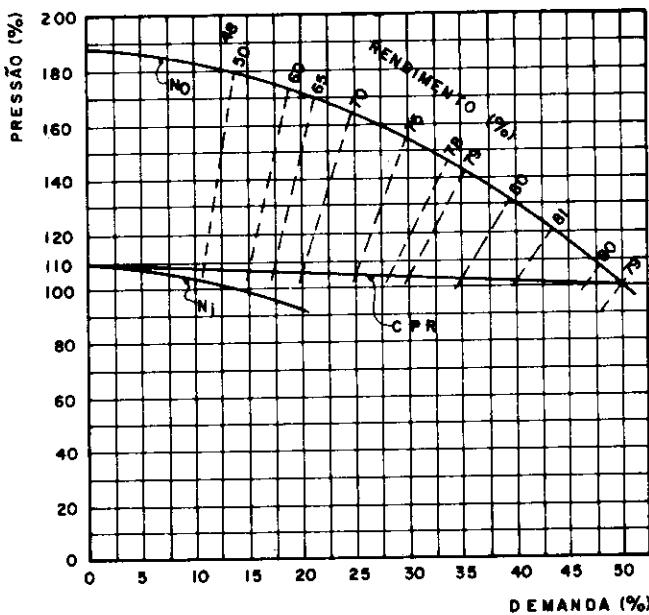


FIG. 11 - Q x H da bomba e CPR.

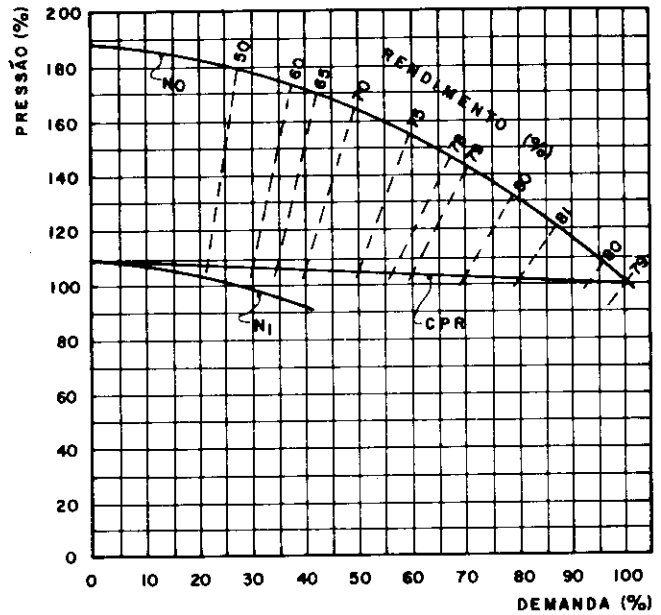


FIG. 12 - Q x H da bomba e CPR.

5.7.1. "Load Sharing"

A figura 12 representa as características de funcionamento das bombas e CPR.

A partir desta figura, elaboramos o Quadro 1.

Demanda (%)	Bomba Base (%)	Bomba de Retardamento (%)
20	10	10
30	15	15
40	20	20
50	25	25
60	30	30
70	35	35
80	40	40
90	45	45
100	50	50

QUADRO 1 - Vazão de ambas as bombas

Com os valores do Quadro 1, podemos construir a figura 13, a qual mostra a contribuição de cada bomba em função da demanda.

5.7.2. - "Staggered"

Este caso está representado na figura 14.

Demanda (%)	Bomba Base (%)	Bomba Retardamento (%)
45	45,0	0
50	48,0	3,0
60	48,5	12,0
70	49,0	21,5
80	49,5	31,5
90	49,8	40,5
100	50,0	50,0

QUADRO 2 - Vazão de ambas as bombas

Baseada na figura 14, elaboramos o Quadro 2, e a partir deste quadro a figura 15, que permite obter a vazão da bomba de retardamento em função da demanda.

5.8. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS

5.8.1. Potência

a) "Load Sharing"

Da figura 12 podemos construir o Quadro 3 que nos fornece a potência total requerida por ambas as bombas.

b) "Staggered"

Da figura 11 construímos o Quadro 4, correspondente à bomba base, e da figura 14 o Quadro 5 referente à bomba de retardamento.

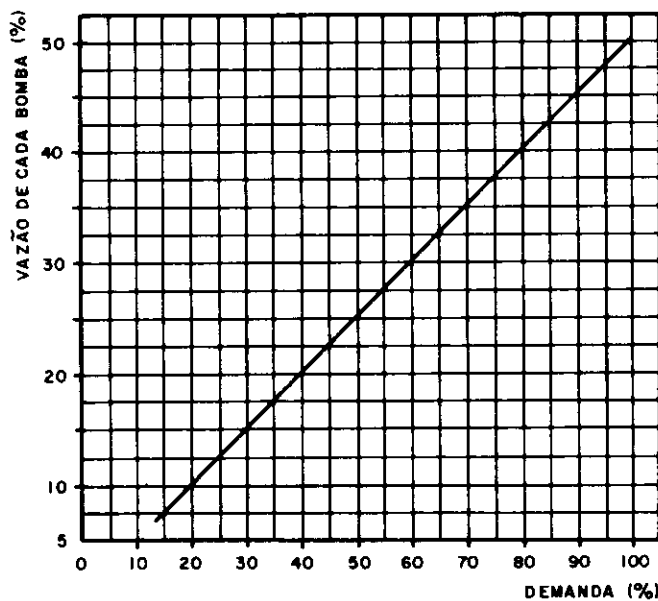


FIG. 13 - Vazão de cada bomba x demanda

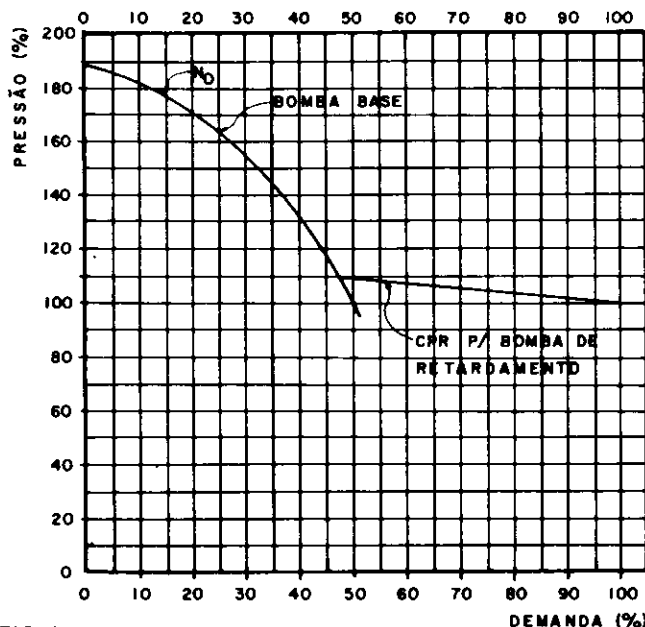


FIG. 14 - Duas bombas no sistema "Staggered".

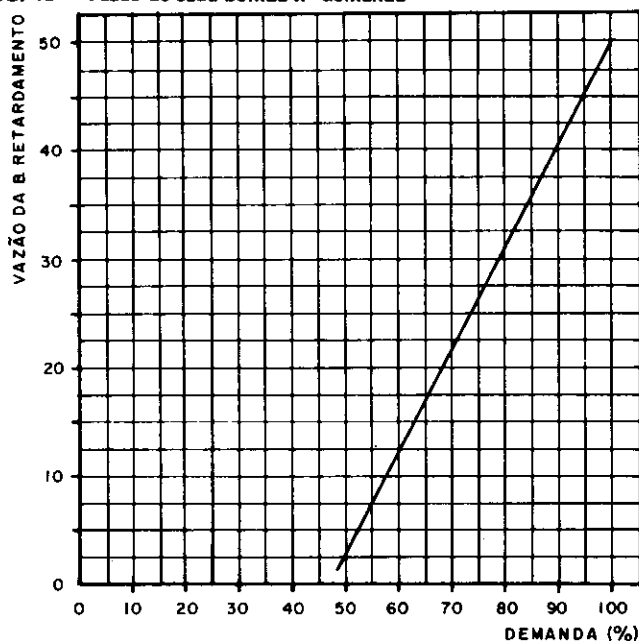


FIG. 15 - Demanda x vazão da bomba de retardamento.

Demanda (%)	B. Retard. (%)	Carga (%)	Rendimento (%)	Potência (HP)
45	0	-	-	-
50	3,0	109,5	21,0	20,9
60	12,0	107,7	54,0	31,9
70	21,5	106,0	72,0	42,2
80	31,5	104,0	79,0	54,4
90	40,5	102,0	81,0	68,0
100	50,0	100,0	79,0	84,4

QUADRO 5 - Bomba retardamento

Portanto, a potência total será conforme Quadro 6.

Com os valores dos quadros 3 e 6, podemos construir a figura 16, que permite comparar a potência consumida pelos métodos estudados.

Note-se que foi acrescentado o gráfico correspondente à bomba base.

Demanda (%)	Carga (%)	Rendimento (%)	Potência (%)
40	106	70,0	47,9
50	105	75,0	55,3
60	104	79,0	62,4
70	103	80,0	71,2
80	102	81,0	79,6
90	101	80,5	89,2
100	100	79,0	100,0

QUADRO 3 - Potência total requerida por ambas as bombas.

Demanda (%)	Carga (%)	Rendimento (%)	Potência (%)
10	108	48,0	17,8
15	107	60,0	21,1
20	106	70,0	23,9
25	105	75,0	27,6
30	104	79,0	31,2
35	103	80,0	35,5
40	102	81,0	39,8
45	101	80,5	44,6
50	100	79,0	50,0

QUADRO 4 - Bomba base.

Demanda (%)	Potência B. Base (HP)	Potência B. Retard. (HP)	Pot. Total (HP)	Pot. Total (%)
50	84,4	20,9	105,3	62,3
60	84,4	31,9	116,3	68,9
70	84,4	42,2	126,6	75,0
80	84,4	54,4	138,8	82,2
90	84,4	68,0	152,4	90,3
100	84,4	84,4	168,8	100

QUADRO 6 - Potência total.

Pela figura 16 concluímos que o método preferido é o "Load Sharing".

5.8.2. Rendimento

Designamos de η_{esc} o rendimento de escorregamento, ou seja:

$$\eta_{esc} = \frac{N_i}{N_0}$$

a) "Load Sharing"

Pela figura 12, elaboramos o Quadro 7.

A partir do Quadro 7, construímos a figura 17.

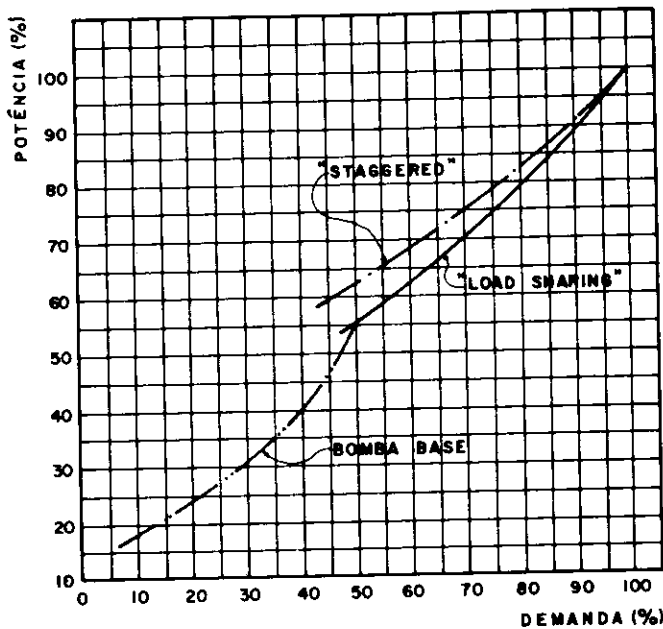


FIG. 16 – Comparação de potência em função da demanda.

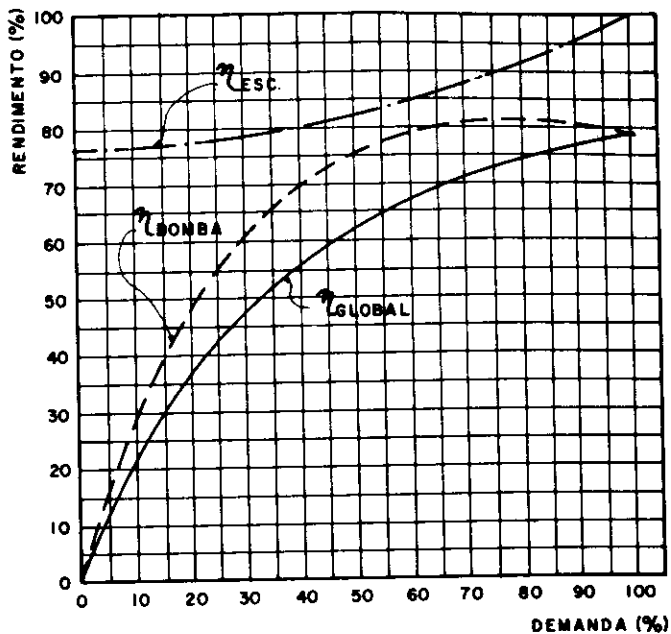


FIG. 17 – Rendimento de duas bombas operando em "load sharing" em função da demanda.

DEMANDA (%)	esc (%)	bomba (%)	global (%)
0	76,3	0	0
20	77,3	48,0	37,1
40	80,0	70,0	56,0
60	85,0	79,0	67,2
80	91,7	81,0	74,3
100	100,0	79,0	79,0

QUADRO 7 – Rendimento de ambas as bombas.

DEMANDA (%)	esc (%)	bomba (%)	global (%)
0	76,3	0	0
10	77,3	48,0	37,1
20	80,0	70,0	56,0
30	85,0	79,0	67,2
40	91,7	81,0	74,3
50	100,0	79,0	79,0

QUADRO 8 – Bomba base.

DEMANDA (%)	esc (%)	bomba (%)	global (%)
50	76,3	0	0
60	77,3	48,0	37,1
70	80,0	70,0	56,0
80	85,0	79,0	67,2
90	91,7	81,0	74,3
100	100,0	79,0	79,0

QUADRO 9 – Bomba retardamento.

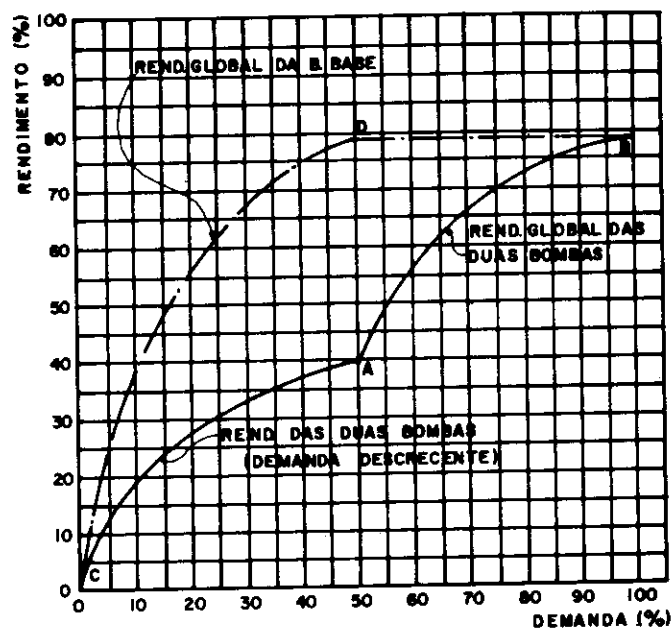


FIG. 18 – Rendimento de duas bombas operando em "staggered" em função da demanda.

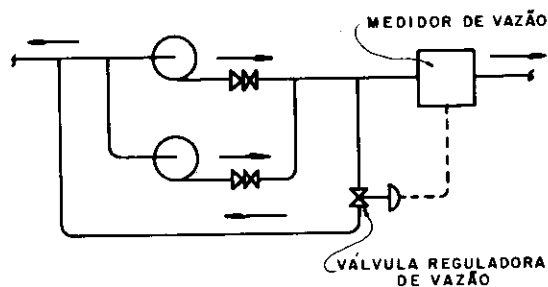


FIG. 19 – Sistema com medidor de vazão e by-pass.

□ b) "Staggered".

Pelas figuras 11 e 14, construímos os Quadros 8 e 9.

A partir destas tabelas, construímos a figura 18, a qual mostra o rendimento das duas bombas operando em "staggered".

Comparando as figuras 17 e 18 con-

clui-se que no sistema "Load Sharing" o rendimento é melhor.

5.9. SISTEMAS DE PROTEÇÃO E CONTROLE

Conforme já foi elaborado no ítem 5.4, a bomba não deverá operar abai-

xo da vazão mínima recomendada.

Para a operação satisfatória e segura de bombas de rotação variável, deverão ser considerados no projeto os aspectos referentes ao sistema de proteção e controle.

De acordo com as condições de sucção, os métodos recomendados são:

- Pressão de sucção variando com a demanda
 - medidor de vazão e by-pass.
 - by-pass com válvula reguladora de pressão.
 - bomba auxiliar de rotação constante.
 - tanque hidro pneumático.
 - detector de temperatura.

- Pressão de sucção constante
 - medidor de vazão e by-pass.
 - by-pass com válvula reguladora de pressão.
 - detector de temperatura.

- Pressão de sucção variando independentemente da demanda.
 - medidor de vazão e by-pass.
 - detector de temperatura.

5.9.1. Sistema com medidor de vazão e by-pass

O sistema representado na figura 19 com by-pass é aplicável no caso de 2 ou mais bombas em "Load Sharing".

No caso mais genérico (bombas de média e grande capacidades), o medidor de vazão comandará a válvula do by-pass, a fim de garantir a vazão mínima da bomba.

A válvula do by-pass poderá ser de acionamento elétrico ou hidráulico e do tipo ON-OFF.

Poderá ser utilizado um sistema mais sofisticado, onde o medidor de vazão (p. e. pneumático), irá posicionar o atuador da válvula do by-pass, conforme figura 20.

A válvula do by-pass será posicionada para manter sempre a vazão da bomba igual ou ligeiramente superior à vazão mínima recomendada.

Neste caso a conexão do by-pass deverá estar ligada à jusante do medidor de vazão.

A válvula do by-pass deverá ser fechada quando a demanda for superior a 25% a 30% da vazão mínima recomendada.

5.9.2. Sistema com by-pass e válvula reguladora de pressão

Este sistema só é aplicável para as bombas de rotação específica acima de 42.

Quando a demanda for menor do que a vazão mínima recomendada, a bomba operará na rotação mínima pré-estabelecida.

A rotação mínima é fixada de modo que quando a vazão atingida for igual ou pouco superior à mínima recomendada, a pressão deverá ser 10% superior à pré-estabelecida.

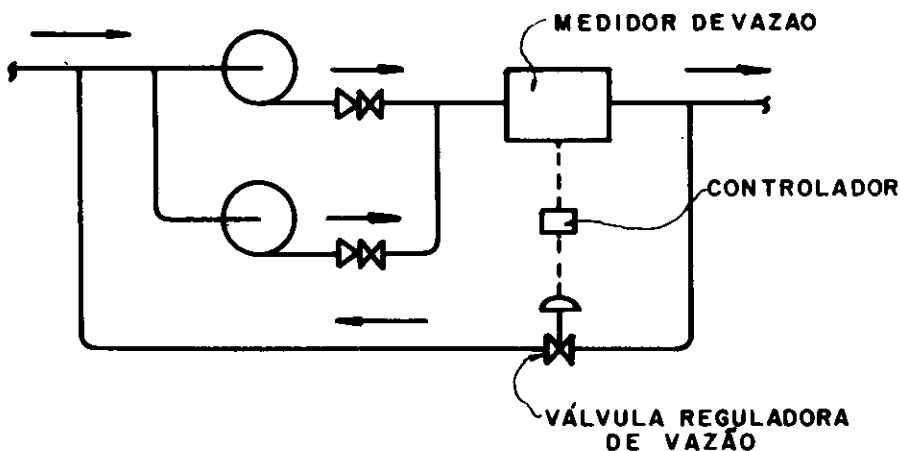


FIG. 20 – Sistema com by-pass, controlador e medidor de vazão.

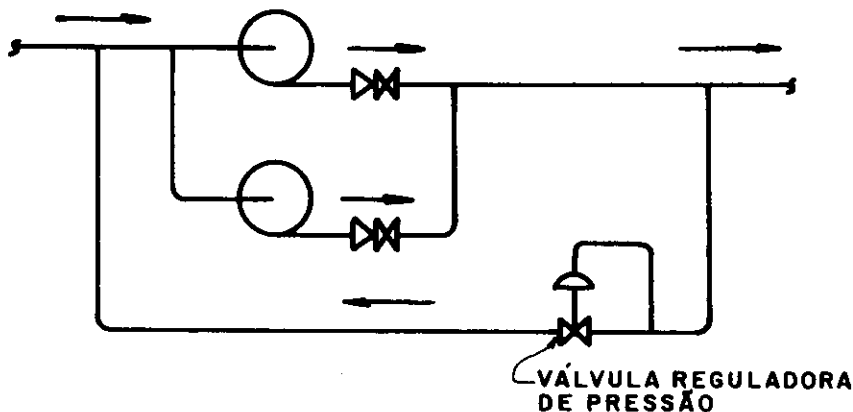


FIG. 21 – Sistema com by-pass e válvula reguladora de pressão.

É importante observar que o variador de rotação deverá possuir um dispositivo que evite a operação da bomba abaixo da rotação mínima pré-estabelecida.

5.9.3. Sistema com bomba auxiliar de rotação constante

A bomba auxiliar de rotação constante deverá ser do tipo com curva característica plana e de pequena capacidade, pois operará apenas durante o período de baixa demanda.

A altura manométrica também deverá ser relativamente baixa, visto que a pressão de sucção é alta.

Normalmente a partida e a parada da bomba auxiliar é comandada por pressostatos com dispositivo de retardamento para se evitar o liga e desliga, devido às oscilações momentâneas de pressão.

Se a variação de pressão de sucção não for suficiente para atuação do pressostato, será necessário utilizar o medidor de vazão para comandar a partida e a parada da bomba auxiliar.

5.9.4. Sistema com tanque hidro pneumático

Emprega ar comprimido e por meio de dispositivos de controle, mantemos

a relação ar/água no tanque na pressão pré estabelecida. Este sistema é pouco usado por ser sofisticado.

5.9.5. Sistema com detector de temperatura

O detector de temperatura instalado entre a descarga e a sucção, protegerá a bomba contra o aquecimento excessivo da água, devido a vazão insuficiente, desligando a mesma.

É importante assegurar-se que haja sempre um fluxo através do detector, pois caso contrário não haverá rápida transmissão de calor, o que poderá provocar um atraso no desligamento da bomba.

5.10. CONTROLE DE PARTIDA E PARADA DAS BOMBAS

Quando a elevatória é projetada para atender a demanda através de 2 (duas) ou mais bombas de rotação variável, operando em paralelo, deverão ser observados e analisados os métodos e critérios para o controle de partida e parada das bombas de retardamento.

5.10.1. Sistema com pressostato e temporizador

Este sistema é recomendado para E.E. com 2 (duas) bombas.

Quando a demanda exceder a capacidade máxima da bomba base, a partida da bomba de retardamento será efetivada através do pressostato instalado no recalque.

Este pressostato é usualmente calibrado para uma pressão de 90 a 95% da pressão mínima de recalque pré estabelecida.

Recomenda-se a instalação de um dispositivo de retardo, que evitará o acionamento desnecessário da bomba durante flutuações de pressão, ou então, antes de se aumentar a rotação da bomba base no caso de uma súbita elevação de demanda.

O método mais simples para a parada da bomba de retardamento é utilizar um temporizador regulado para um período de funcionamento de 30 a 60 minutos. Esse temporizador é acionado quando a bomba de retardamento entra em operação. Após o período estabelecido, a bomba vai desligar e, se a demanda ainda for maior do que a capacidade máxima da bomba base, a bomba de retardamento entrará em operação durante o tempo estabelecido pelo temporizador.

5.10.2. Sistema com pressostato e medidor de vazão

A partida da bomba de retarda-

mento poderá ser feita através de pressostato ou medidor de vazão, que indicará quando a vazão se aproxima da capacidade máxima das bombas em funcionamento.

A parada da bomba é efetuada quando a vazão se enquadrar novamente dentro da capacidade máxima das bombas (via de regra esta vazão é da ordem de 90% da capacidade máxima), que permanecerão em funcionamento e a pressão de recalque for maior ou igual ao valor desejado.

O medidor de vazão permite um excelente método de partida de bombas de retardamento, mas o uso principal é para controlar a parada da bomba de retardamento.

6. ROTAÇÃO VARIÁVEL EM SISTEMAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS

Para a utilização de bombas de rotação variável no esgotamento sanitário, valem as mesmas observações feitas para a sua utilização no abastecimento de água.

No entanto, o objetivo neste caso, é o de manter o nível do poço de sucção constante e, portanto, deve-se considerar que a CPR coincide com a própria curva característica do sistema.

O controle das bombas é feito em

função do nível do poço úmido, que em última análise resume-se em controle de pressão.

REFERÊNCIAS

1. Sekiguchi, K.: Pump Motor Control for Water and Sewage Works, Fuji Electric Review, vol. 21 n.º 2 - Tokyo, 1975.
2. Stepanoff, A.J.: Centrifugal and Axial Flow Pumps, 2d ed., Wiley, New York, 1957.
3. Yamamoto, Y.: Automatic Water Supply System by General Purpose Pumps, Hitachi Review, vol. 22 n.º 10, Tokyo, 1973.
4. Noda, J.; Hiro, Y.; Hori, T.: Brushless Scherbins Control for Induction Motors, Hitachi Review, vol. 23 n.º 8, Tokyo, 1974.
5. Flomatcher Handbook: Variable Speed Pumping, Section A, May, 1972.
6. Gottliebson, M.P.E.: Explore the Use of Variable Speed Water & Wastes Engineering, May, 1978.
7. Gottliebson, M.P.E.: Explore the Use of Variable Speed Water Booster Pumps/2, Water & Wastes Engineering, June, 1978.
8. Gottliebson, M.P.E.: Explore the Use of Variable Speed Water Booster Pumps/3, Water & Wastes Engineering, July, 1978.
9. Macintyre, A.J.: Bombas e Instalações de Bombeamento, Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.
10. Williams, S.W.; Kubick, A.W.: Variable Speed Drives for Sewage Pumps, Journal WPCF, December, 1963.