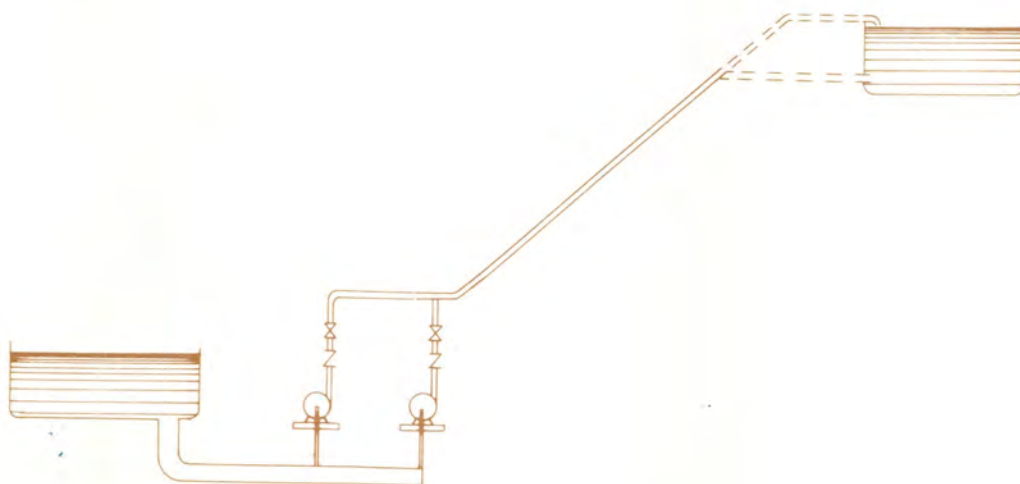


MACEIÓ, 18 A 23 DE AGOSTO DE 1985
ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**Análise pela potência de bombeamento,
das posições de entrada de tubulação de
recalque em reservatórios de água.**



ENGº CARLOS VALOIS MACIEL BRAGA
PUC RJ

ENGº ELOI FERNANDEZ Y FERNANDEZ
PUC RJ

ENGº MIGUEL FERNANDEZ Y FERNANDEZ
TECNOSOLO

MACEIÓ (AL), 18 A 23 DE AGOSTO DE 1985
ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**ANÁLISE PELA POTÊNCIA DE BOMBEAMENTO DAS POSIÇÕES DE
ENTRADA DE TUBULAÇÕES DE RECALQUE EM RESERVATÓRIOS D'ÁGUA**

ELOI FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ

Engenheiro Mecânico, formado em 1954 pela Pontificia Universidade Católica de Rio de Janeiro (PUCRJ) em 1954, e Doutorado em Engenharia Mecânica pela UOCRI em 1974. Possui várias especializações profissionais destacando-se nas seguintes atividades:

- PUCRJ – Professor do Departamento de Engenharia Mecânica (1974-1983). Professor de disciplinas: Física (1974-1975 – presencial), Teoria dos Fluidos nos Áreas de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, Mecânica dos Fluidos, Transferência de Calor, Condições de Transporte em Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, Mecânica e Termodinâmica.
- UFRJ – Universidade Federal de Uberlândia (1983 – 1984). Sub-chefe do Departamento de Engenharia Mecânica, Nacional, responsável de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor.
- Graduação e participação de serviços para:
- UEN – Instituto de Engenharia Nuclear – Projeto de redistribuição de energia LMFBR.
- Mac Laren Água e Efluentes – Consultoria de estudos e projetos. Análise de desempenho.
- Apresentação de trabalhos em congressos nacionais e internacionais.

É sócio da ABES, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de Curitiba.

MIGUEL FERNÁNDEZ

Engenheiro Mecânico, formado em 1959 pelo Exato de Rio de Janeiro (UERJ) em 1959, e Doutorado em Engenharia Mecânica pela UOCRI em 1974. Possui várias especializações profissionais destacando-se nas seguintes atividades:

- UFRJ – Universidade Federal de Uberlândia (1983 – 1984). Sub-chefe do Departamento de Engenharia Mecânica, Nacional, responsável de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor.
- Graduação e participação de serviços para:
- UEN – Instituto de Engenharia Nuclear – Projeto de redistribuição de energia LMFBR.
- Mac Laren Água e Efluentes – Consultoria de estudos e projetos. Análise de desempenho.
- Apresentação de trabalhos em congressos nacionais e internacionais.

É sócio da ABES, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de Curitiba.

TEMA: ABASTECIMENTO DE ÁGUA

CARLOS VALOIS MACIEL BRAGA
ELOI FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ
MIGUEL FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

RUA PEDRO ALVES Nº 15
20.220 – RIO DE JANEIRO – RJ
ATT. ENGº MIGUEL FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ
A/C TECNOSOLO S.A.
TEL.: (021) 223-4277 TELEX: (021) 21414

APRESENTAÇÃO DOS AUTORES

CARLOS VALOIS MACIEL BRAGA

Engenheiro Mecânico, formado em 1977 pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Mestrado em Engenharia Mecânica pela PUC/RJ em 1980 e Doutorado em Engenharia Mecânica pela PUC/RJ em 1985 (previsão). Nascido em 1954, no Rio de Janeiro, onde reside. Como experiência profissional destacam-se as seguintes atividades:

- PUC/RJ - Professor do Departamento de Engenharia Mecânica (1980 - presente). Leciona disciplinas nas áreas de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor. Responsável pelo Laboratório de Motores de Combustão Interna. Atividades de pesquisa nas áreas de: Motores de Combustão Interna, Terreno Hidráulico de Reatores, Coeficientes de Transporte em Mec. Fluidos e Transferência de Calor.
- Consultoria e prestação de serviços para:
 - Ishikawajima do Brasil - Dep. Motores Diesel (1978).
 - INMETRO - Implantação e Operação de Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento de Transformação de Veículos a Gasolina para Etanol (1980).
 - Cia. Industrial Santa Matilde - Motores à álcool.
 - CBV - Ind. Mecânicas S.A. - Desempenho de elementos de máquinas.
 - Mac Laren Aço e Fibra - Desempenho de Bombas, características de resinas reforçadas.

Apresentou 6 trabalhos em congressos e artigos técnicos em revistas especializadas.

Recebeu o "Prêmio Jovem Cientista 1982", 1º lugar, com trabalho na área de otimização do rendimento térmico em motores de combustão interna, utilizando misturas água-álcool altamente hidratadas.

É sócio da ABES, ABCM (Associação Brasileira de Ciências Mecânicas), do Clube de Engenharia do Rio de Janeiro e da ABEA (Associação Brasileira de Engenharia Automotiva).

ELOI FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ

Engenheiro Mecânico, formado em 1974 pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Mestrado em Engenharia Mecânica pela PUC/RJ em 1978, e Doutorado em Engenharia Mecânica pela PUC/RJ em 1984. Nascido em 1949, no Rio de Janeiro, onde reside. Como experiência profissional destacam-se as seguintes atividades:

- PUC/RJ - Professor do Departamento de Engenharia Mecânica (1978-1983). Professor do Departamento de Engenharia Mecânica (1985 - presente). Leciona disciplinas nas áreas de Mecânica dos Fluidos e Transferências de Calor. Atividades de pesquisa nas áreas de Termohidráulica de Reatores, Coeficientes de Transporte em Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, Hidráulica e Instrumentação.
- UFU - Universidade Federal de Uberlândia (1983 - 1985). Sub-chefe do Departamento de Engenharia Mecânica. Responsável pelo Laboratório de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor.
- Consultoria e prestação de serviços para:
 - IEN - Instituto de Engenharia Nuclear - Projeto termohidráulico de reatores LMFBR.
 - Mac Laren Aço e Fibra - Características de resinas reforçadas. Análise de desempenho de bombas.

Apresentou 11 trabalhos em congressos nacionais e internacionais.

É sócio da ABES, ABCM (Associação Brasileira de Ciências Mecânicas) e do Clube de Engenharia do Rio de Janeiro.

MIGUEL FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ

Engenheiro Civil, opção Hidráulica e Saneamento, formado em 1970 pela Escola de Engenharia da UFRJ, pós-graduação em Irrigação no Instituto de Hidrologia de Madrid (1976). Nascido em 1947, no Rio de Janeiro - RJ, onde reside. Possui vários cursos de especialização na área de hidráulica e saneamento, no Brasil e no Exterior. Trabalhou em diversos órgãos como engenheiro, consultor e professor, destacando-se:

- TECNOSOLO S.A. - Coordenador de Empreendimentos 1985 - atual.
- Internacional de Engenharia S.A. - IESA - Responsável Técnico em Engenharia Civil, Coordenador de Projetos, Gerente Comercial, Chefe de Seção, engenheiro (1977 - 1985).
- Montreal Engenharia S.A. - Estagiário, Engenheiro, Chefe de Seção (1969-1971 e 1975-1977).
- PUC/RJ - Professor do Curso de Engenharia na disciplina de Hidráulica (1981-1982).
- SOTEP - Sociedade Técnica de Engenharia e Planejamento - Consultor.
- FEEMA - Professor de Cursos (1977 e 1981).
- IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração - Professor de Cursos (1983).
- COMASP - SABESP - Engenheiro Especialista (1972-1974).
- OESA - Organização e Engenharia S.A. - Consultor.
- ECP/Encibra S.A. - Engenheiro e Diretor Técnico (1971-1972).

Participou em sua vida profissional de mais de 60 projetos, planejamentos e gerenciamentos, para diversos estados brasileiros e no exterior, nas áreas de engenharia sanitária, energia elétrica, industrial, mineração, petróleo, petro-química, transportes, off-shore e construção civil. Na área de engenharia hidráulico-sanitária, apresentou 4 (quatro) trabalhos em congressos e publicou 3 (três) apostilas.

É sócio da ABES, da AWWA, da WPCF e do Clube de Engenharia do Rio de Janeiro.

Foi membro do Conselho Diretor da ABES Nacional, é Vice-Presidente da ABES-RJ, e foi Chefe da Divisão Técnica de Engenharia do Ambiente do Clube de Engenharia.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	2
2. MODELO DE ANÁLISE	5
3. RESULTADOS	8
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	15
REFERÊNCIAS	18
APÊNDICE	19

SUMÁRIO

O trabalho discute a posição de descarga de tubulações de recalque em reservatórios de água. É desenvolvido um programa computacional que analisa a evolução do nível do reservatório com as variações das vazões de alimentação e de demanda e do valor do kilowatt-hora acumulado no período.

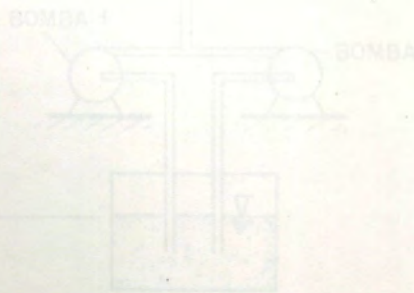


FIG. 1 - ESBOÇO PARA ENTRADA

1. INTRODUÇÃO

Nos projetos de distribuição de água são normalmente utilizados dois tipos de entrada da tubulação de recalque nos reservatórios: entrada livre, por cima; ou entrada afogada, por baixo.

Os critérios para estabelecer a escolha entre os dois esquemas, é comumente, motivo de controvérsia. O presente trabalho se propõe a discutir alguns critérios para estabelecer a escolha do arranjo mais adequado.

Figuras 1 e 2 mostram os esquemas dos dois tipos de linhas de recalque.

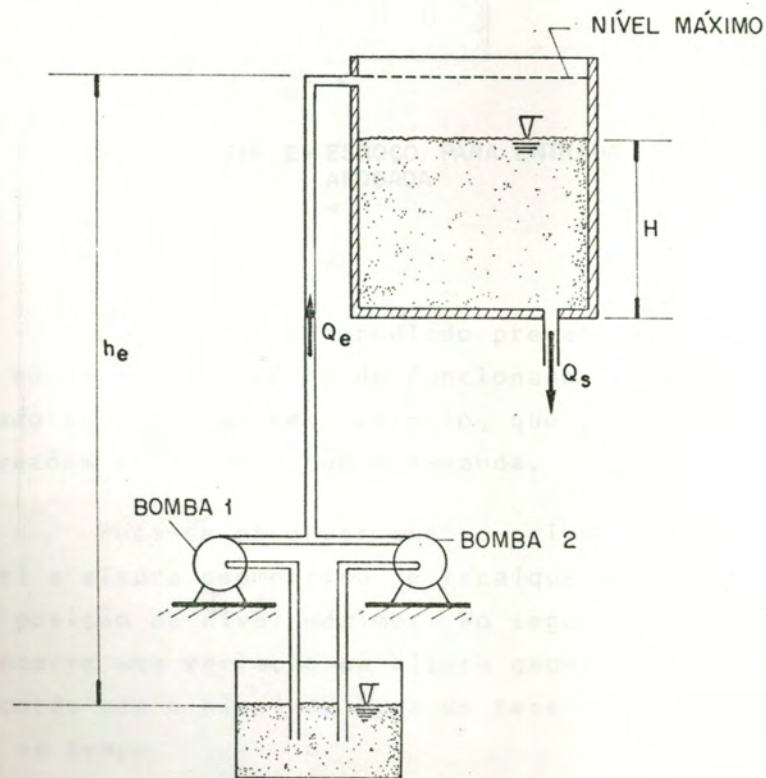


FIG.1 - ESBOÇO PARA ENTRADA LIVRE

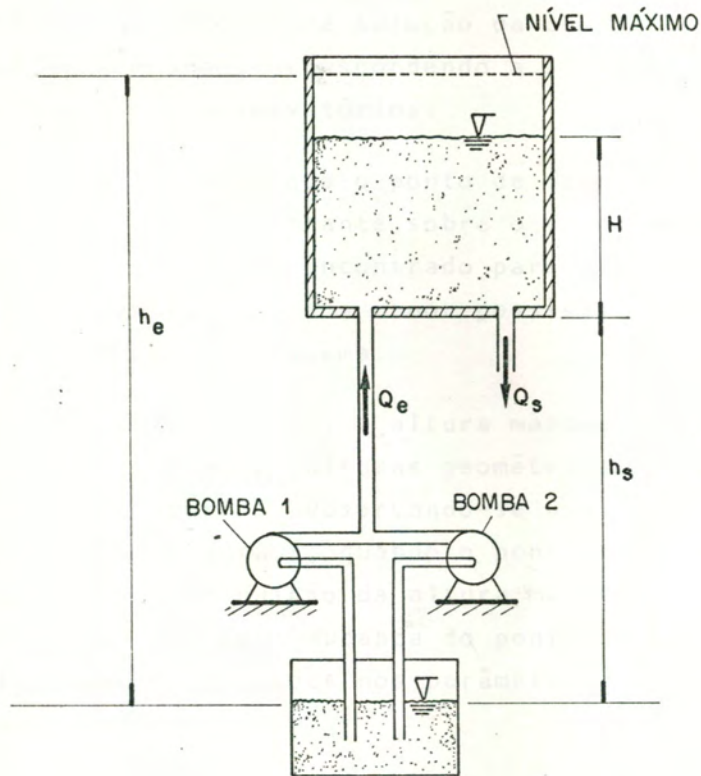


FIG. 2- ESBOÇO PARA ENTRADA AFOGADA

O problema é formulado prevendo a instalação de duas bombas. O critério de funcionamento de ambas está associado ao nível do reservatório, que por sua vez depende das vazões de alimentação e demanda.

Pode-se observar que no primeiro caso (entrada livre) a altura geométrica de recalque é fixa e corresponde a posição de nível máximo. No segundo caso, entretanto, ocorre uma variação na altura geométrica de recalque de acordo com o nível de água do reservatório, que é variável no tempo.

Admitindo, inicialmente, que as perdas de carga devido aos dois casos são iguais, a altura manométrica a

ser adotada para efeito de seleção da bomba, em ambos os esquemas, é a mesma, correspondendo à situação do nível d'água máximo nos reservatórios.

Admitindo-se que o ponto de operação da bomba se lecionada mantém-se constante sobre o valor correspondente ao melhor rendimento encontrado para uma bomba real, a potência do bombeamento é a menor possível para o arranjo proposto no primeiro esquema.

No segundo caso, a altura manométrica é alterada em função de menores alturas geométricas existentes no nível do reservatório. Observando-se uma curva característica típica, Figura 3, quando o ponto de funcionamento é alterado pela diminuição da altura manométrica ocorre um aumento de vazão. Esta mudança do ponto de operação provoca diferentes alterações nos parâmetros que compõem a potência da bomba.

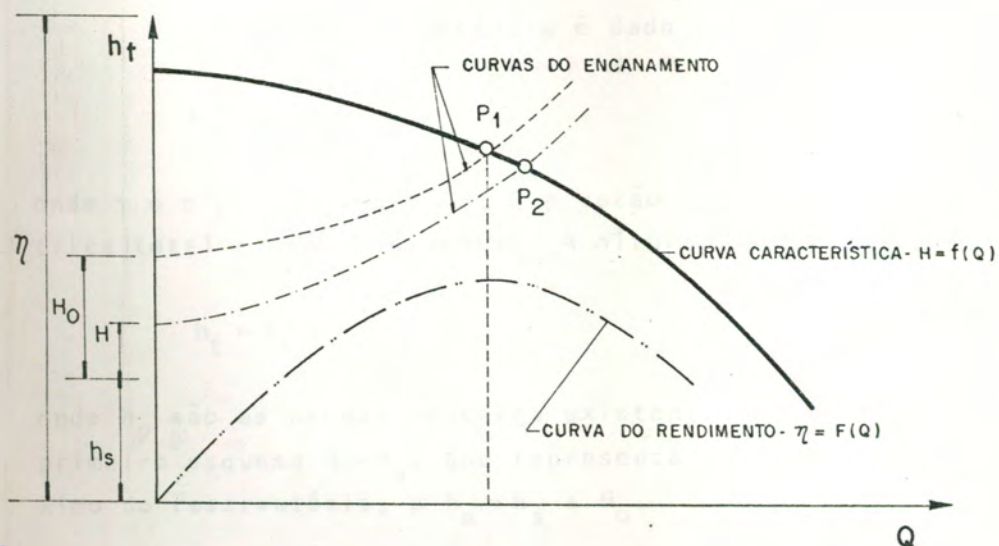


FIG. 3 - CURVAS DO SISTEMA HIDRÁULICO

Como fatores conflitantes, pode-se observar que quando o ponto de funcionamento é alterado de P_1 para P_2 , pela diminuição da altura geométrica de recalque, o rendimento varia. Simultaneamente a vazão aumenta, e com ela aumentam as perdas na tubulação.

A análise do comportamento de tais fatores e suas contribuições para a potência total consumida, não é óbvia. Por exemplo, o aumento da vazão cresce a potência instantânea, mas eleva mais rapidamente o nível no reservatório, podendo-se desligar uma ou as duas bombas consideradas nesta análise, fazendo com que a potência acumulada seja menor.

2. MODELO DE ANÁLISE

Para analisar os dois casos foi estabelecido o critério de mínimo consumo de potência de bombeamento acumulado durante um determinado período. Isto é, o trabalho realizado por cada conjunto de bombas.

Por bomba, a potência é dada por [1]

$$N = \frac{\gamma Q h_t}{\eta} \quad (1)$$

onde γ é o peso específico, Q a vazão, h_t altura manométrica total e η o rendimento. A altura manométrica total é

$$h_t = h_s + H + h_p \quad (2)$$

onde h_p são as perdas de carga existentes na tubulação. No primeiro esquema $H = H_0$, que representa o nível interno máximo do reservatório, e $h_e = h_s + H_0$.

As perdas de carga são determinadas utilizando-se a equação abaixo [2]

$$h_p = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

ou

$$h_p = \frac{8 f L Q^2}{g \pi^2 D^5} \quad (4)$$

onde L é o comprimento do tubo, mais os comprimentos equivalentes referentes às perdas de carga localizadas, D o diâmetro da tubulação e f é o coeficiente de atrito dado por [2]

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[0,27 \left(\frac{\epsilon}{D} \right) + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right] \quad (5)$$

onde Re é o número de Reynolds e ϵ a rugosidade do tubo.

Estabelecido o procedimento para determinar a altura manométrica, as vazões de adução dependem, ainda, dos níveis atuais no reservatório.

Estes níveis são determinados pela aplicação da equação da continuidade

$$\frac{dH}{dt} = \frac{Q_e - Q_s}{A} \quad (6)$$

ou discretizando

$$H(t + \Delta t) = H(t) + \frac{\Delta t}{A} (Q_e - Q_s) \quad (7)$$

onde A é área do reservatório e t é a variável tempo.

Para estabelecer esses níveis deve-se projetar as funções de demanda, diária e anual. Foi previsto um consumo senoidal nas duas funções, conforme é sugerido na literatura [4]. As Figuras 4 e 5 mostram as taxas consideradas. O dia de maior consumo no ano foi admitido como 1,20 da vazão anual média, e a hora de maior consumo como 1,5 da vazão média do dia. Isto é, hora de maior consumo possui uma vazão igual a 1,8 vezes a vazão média do ano.

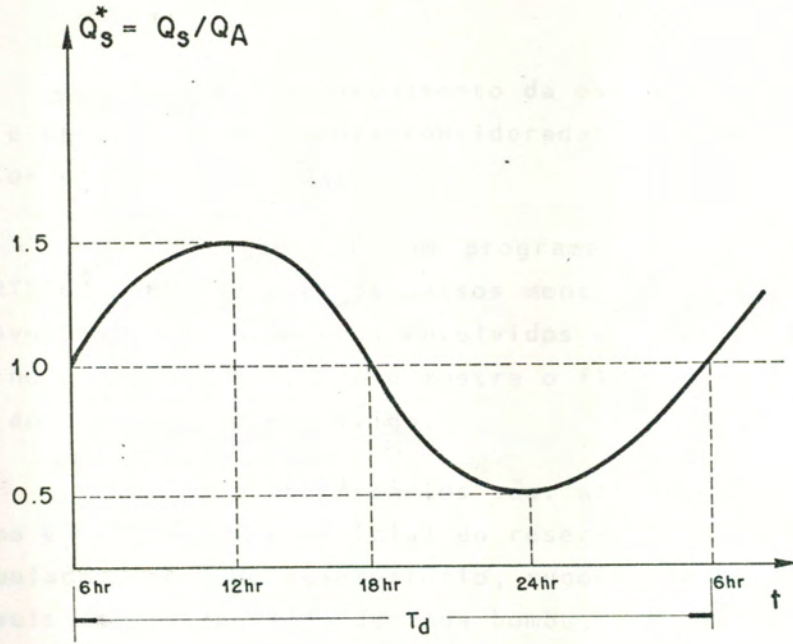


FIG. 4 - OSCILAÇÃO DA DEMANDA DIÁRIA

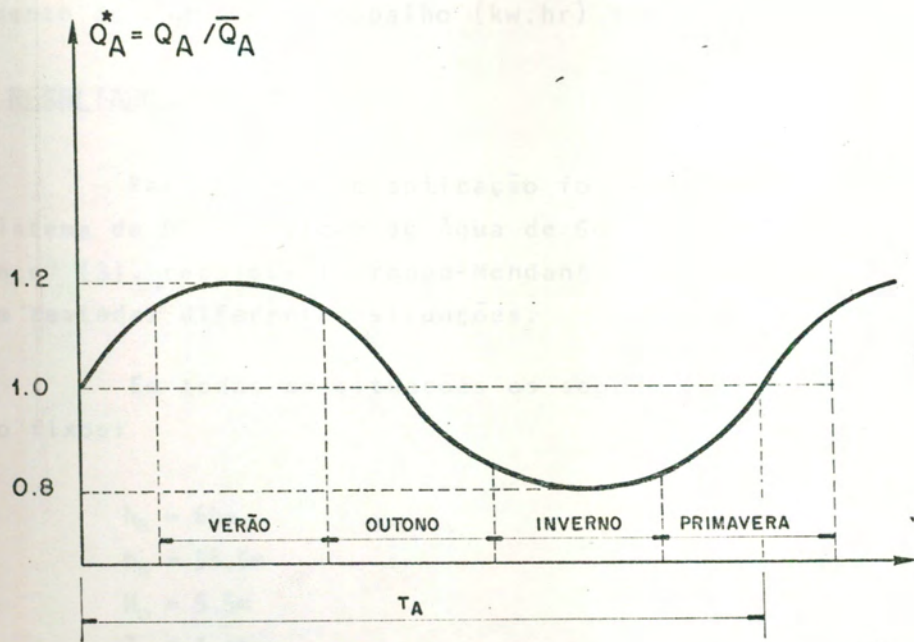


FIG. 5 - OSCILAÇÃO DE DEMANDA ANUAL

Para o dimensionamento da estação de bombeamento e da adutora as vazões consideradas foram as do dia de maior consumo ($1,2 \times \bar{Q}_A$).

Foi organizado um programa computacional, em FORTRAN, para executar os passos mencionados, determinar a evolução dos parâmetros envolvidos e o trabalho realizado no período. A Figura 6 mostra o fluxograma simplificado do programa desenvolvido.

Os dados necessários são: alturas geométricas máxima e mínima, nível inicial do reservatório, diâmetro da tubulação, área do reservatório, rugosidade da tubulação, níveis de liga/desliga de cada bomba, período e incremento de tempo a ser analisado, vazão média anual e tabela de oito pontos (mínimo) das curvas da bomba selecionada.

O relatório de saída fornece informações detalhadas da evolução das vazões de alimentação e demanda, do nível do reservatório, volume total de água bombeada, rendimento da bomba e o trabalho (kw.hr) acumulado.

3. RESULTADOS

Para efeito de aplicação foi tomado o caso do "Sistema de Distribuição de Água de Goiânia/Projeto Meia Ponte" [3], recalque Ipiranga-Mendanha, sobre o qual foram testadas diferentes situações.

Em todas as situações os seguintes parâmetros são fixos:

$$\begin{aligned} h_e &= 64\text{m} \\ h_s &= 58,5\text{m} \\ H_o &= 5,5\text{m} \\ T &= 1 \text{ ano} \\ D &= 500\text{m} \\ V &= 5000\text{m}^3 \\ \bar{Q}_A &= 1242\text{m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

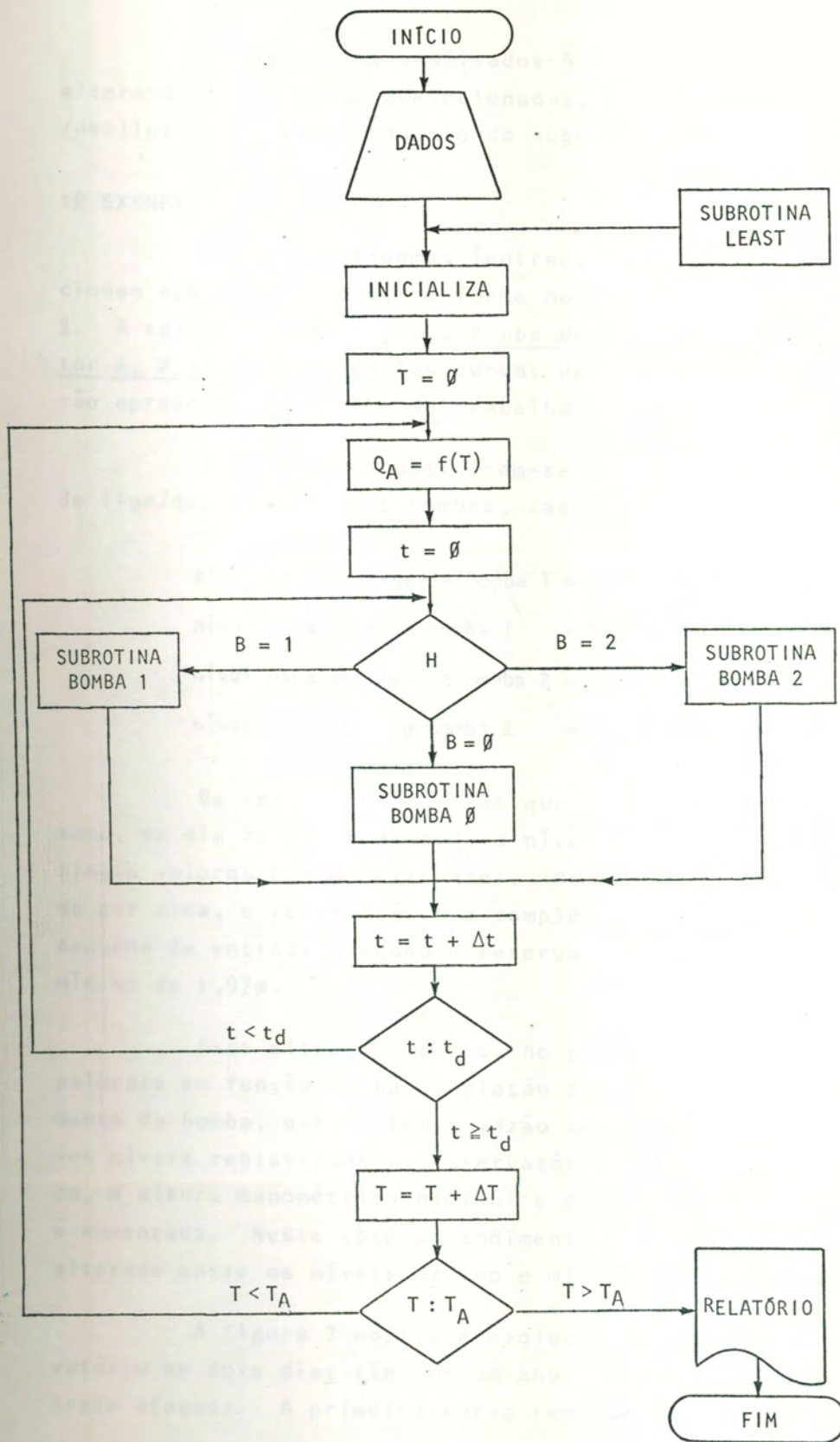


FIGURA 6. FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROGRAMA

A seguir são analisados 5 arranjos diferentes, alterando-se as bombas selecionadas, os níveis de liga/desliga e a presença ou não da segunda bomba.

1º EXEMPLO

Ambos os esquemas (entrada livre ou afogada) funcionam com duas bombas, conforme mostrado nas Figuras 1 e 2. A seleção identificou a Bomba Worthington: 8LN-18, Rotor A, Ø 16", 1775 rpm (as curvas das bombas consideradas são apresentadas ao fim do trabalho, a título ilustrativo).

Inicialmente admitiram-se as seguintes posições de liga/desliga para as bombas, caso A:

$$\text{nível para desligar a bomba 1} = H_{DB1} = 5,5\text{m}$$

$$\text{nível para ligar a bomba 1} = H_{LB1} = 5,0\text{m}$$

$$\text{nível para desligar a bomba 2} = H_{DB2} = 4,9\text{m}$$

$$\text{nível para ligar a bomba 2} = H_{LB2} = 4,4\text{m}$$

Os resultados mostram que na hora de maior consumo, do dia de maior demanda o nível do reservatório atingiu valores bem conflitantes. No primeiro caso, entrada por cima, o reservatório é completamente esvaziado. No esquema da entrada afogada o reservatório atinge o nível mínimo de 1,97m.

Essa situação ocorre, no primeiro caso, principalmente em função da não variação do ponto de funcionamento da bomba, que mantém a vazão uniforme mesmo com baixos níveis registrados no reservatório. Na entrada afogada, a altura manométrica diminui e em consequência a vazão é aumentada. Neste caso o rendimento praticamente não foi alterado entre os níveis máximo e mínimo do reservatório.

A Figura 7 mostra a evolução do nível do reservatório em dois dias típicos do ano, para o esquema de entrada afogada. A primeira curva representa o dia de maior

consumo que apresenta uma vazão de demanda média de $\bar{Q}_s = 1490 \text{ m}^3/\text{hr}$ e a segunda o dia de menor consumo, cujo valor dessa vazão é $\bar{Q}_s = 994 \text{ m}^3/\text{hr}$.

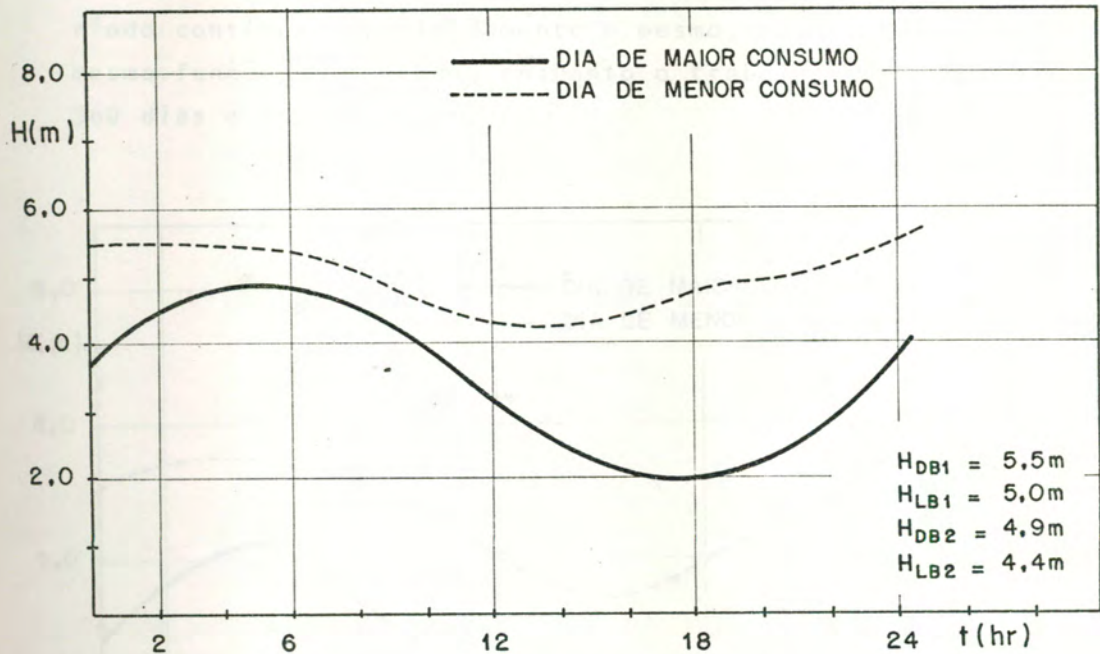


FIG.7 - EVOLUÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO EM DOIS DIAS TÍPICOS, ENTRADA AFOGADA - BOMBA 8LN-18, ROTOR A, $\phi 16"$, 1775rpm

O volume de água bombeado no período de 360 dias, usando o esquema de entrada afogada é $V = 10,79 \times 10^6 \text{ m}^3$ para um trabalho de bombeamento de $W = 2,55 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{hr}$.

No esquema de entrada livre, como ficou demonstrado o esvaziamento do reservatório para algumas situações, a alternativa foi abandonada pois o resultado volume \times trabalho não seria homogêneo com os demais.

Admitindo novas posições de liga/desliga das bombas, caso B:

$$H_{DB1} = 5,5\text{m}$$

$$H_{LB1} = 4,5\text{m}$$

$$H_{DB2} = 4,4\text{m}$$

$$H_{LB2} = 3,4\text{m}$$

observa-se que o esquema de entrada afogada permite a obtenção de valores mais convenientes. A Figura 8 mostra a nova evolução do nível do reservatório, trabalhando em condições mais otimizadas. O volume de água bombeado no período continua aproximadamente o mesmo, para satisfazer a mesma função de demanda, enquanto o trabalho acumulado em 360 dias é $W = 2,51 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{hr}$.

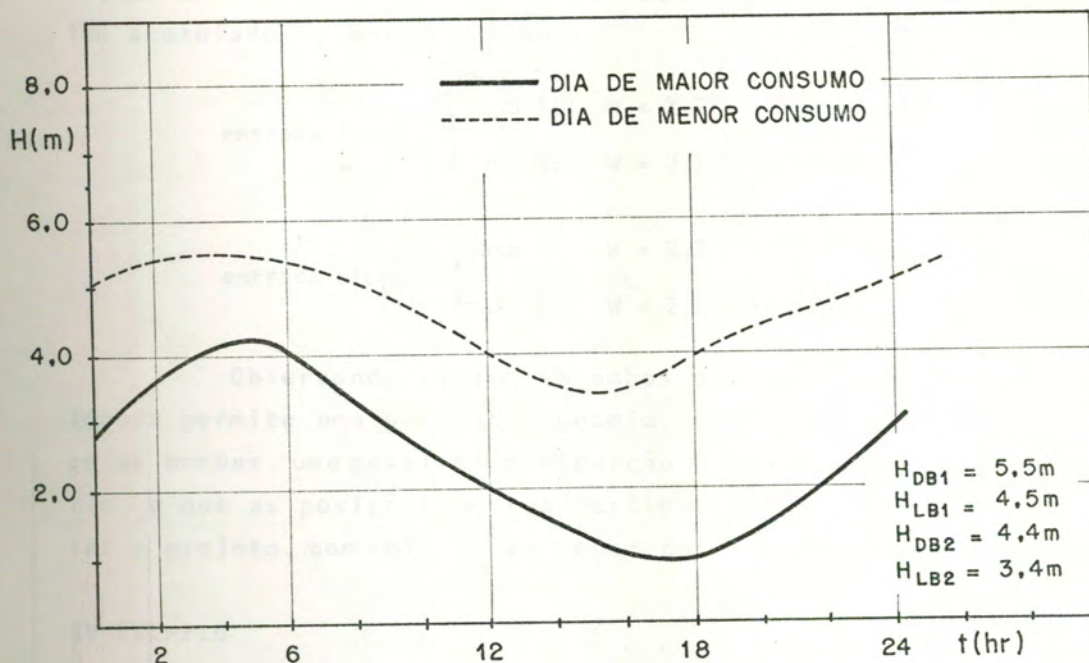


FIG. 8 - EVOLUÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO EM DOIS DIAS TÍPICOS, ENTRADA AFOGADA - BOMBA 8LN-18, ROTOR A, $\varnothing 16''$, 1775 rpm

2º EXEMPLO

Pretende-se, agora, a seleção de uma bomba, que satisfaça a mesma demanda, mantendo um mínimo de água no reservatório e utilizando a entrada livre. Para esta situação foi selecionada a Bomba Worthington: 8LN-18, Rotor C, $\varnothing 17''$, 1775 rpm.

Para efeito de comparações foram utilizados as mesmas posições de liga/desliga.

As Figuras 9 e 10 mostram as evoluções dos níveis do reservatório nos dias de máximo e mínimo consumo, para o caso B.

Considerando que o volume de água bombeada mantém-se aproximadamente constante, nos casos A e B das posições de liga/desliga, foram obtidos os valores do trabalho acumulado no mesmo período:

$$\text{entrada livre} \begin{cases} \text{caso A: } W = 2,73 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{hr} \\ \text{caso B: } W = 2,72 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{hr} \end{cases}$$

$$\text{entrada afogada} \begin{cases} \text{caso A: } W = 2,70 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{hr} \\ \text{caso B: } W = 2,67 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{hr} \end{cases}$$

Observando-se que em ambos os casos a entrada afogada permite uma pequena economia de energia dispendida pelas bombas, uma possível diminuição no volume do reservatório, e que as posições de liga/desliga também devem orientar o projeto, com relação ao menor custo de bombeamento.

3º EXEMPLO

Deseja-se agora verificar o consumo de energia quando é especificado uma única bomba para satisfazer a mesma demanda. Foi selecionada a Bomba Worthington: 10LNH-18, Rotor B, Ø 17 7/8", 1775 rpm.

Considerando apenas os níveis de liga/desliga de finidos no caso A, a Figura 11 mostra as variações dos níveis nos dias de máximo e mínimo consumo.

Mantendo o mesmo volume de água bombeada o trabalho acumulado no mesmo período é $W = 2,80 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{hr}$, para entrada livre e $W = 2,78 \times 10^5 \text{ kw}\cdot\text{hr}$, para entrada afogada.

A título ilustrativo, apresenta-se ao final do trabalho, alguns "print-outs" do programa utilizado.

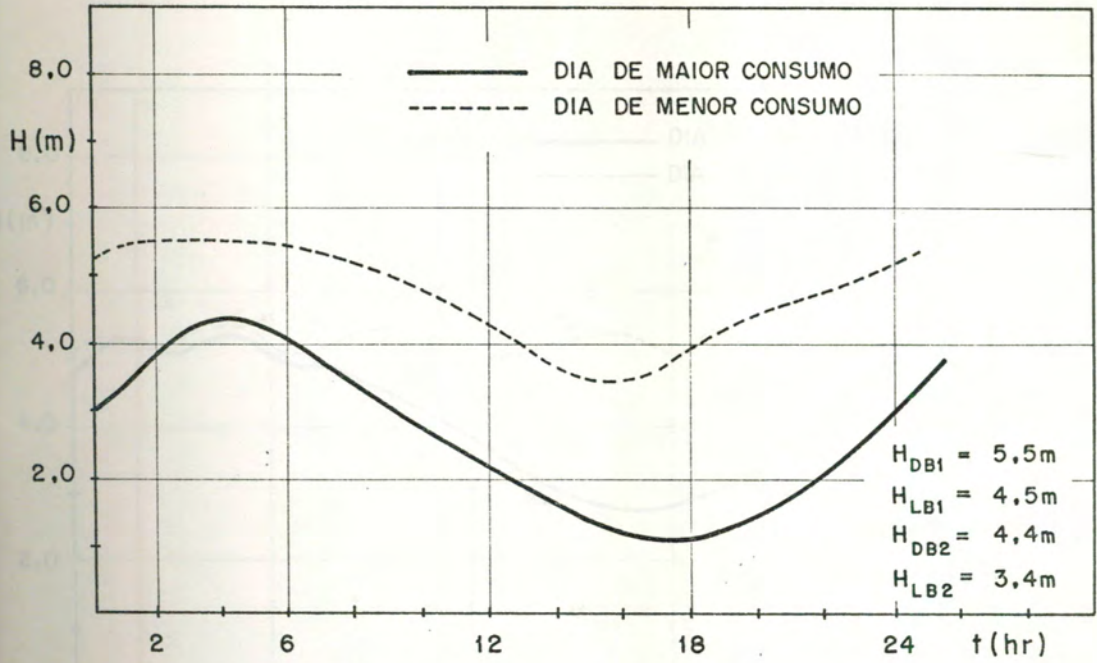


FIG. 9 - EVOLUÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO EM DOIS DIAS TÍPICOS, ENTRADA LIVRE - BOMBA 8LN-18, ROTOR C, Ø 17", 1775 rpm

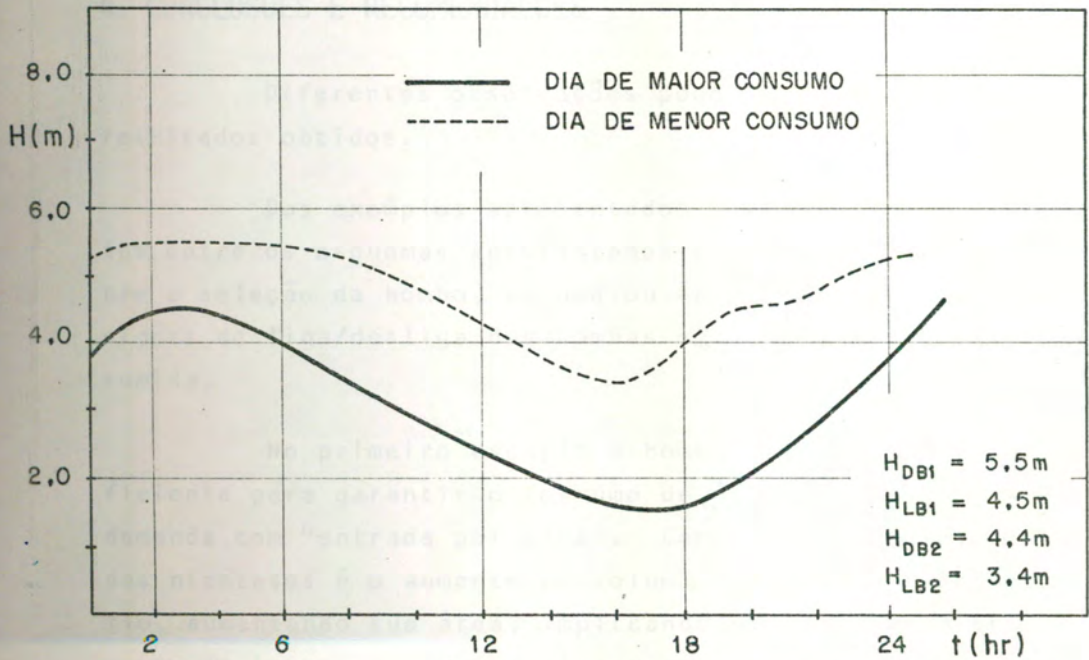


FIG. 10 - EVOLUÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO EM DOIS DIAS TÍPICOS, ENTRADA AFOGADA - BOMBA 8LN-18, ROTOR C, Ø 17", 1775 rpm

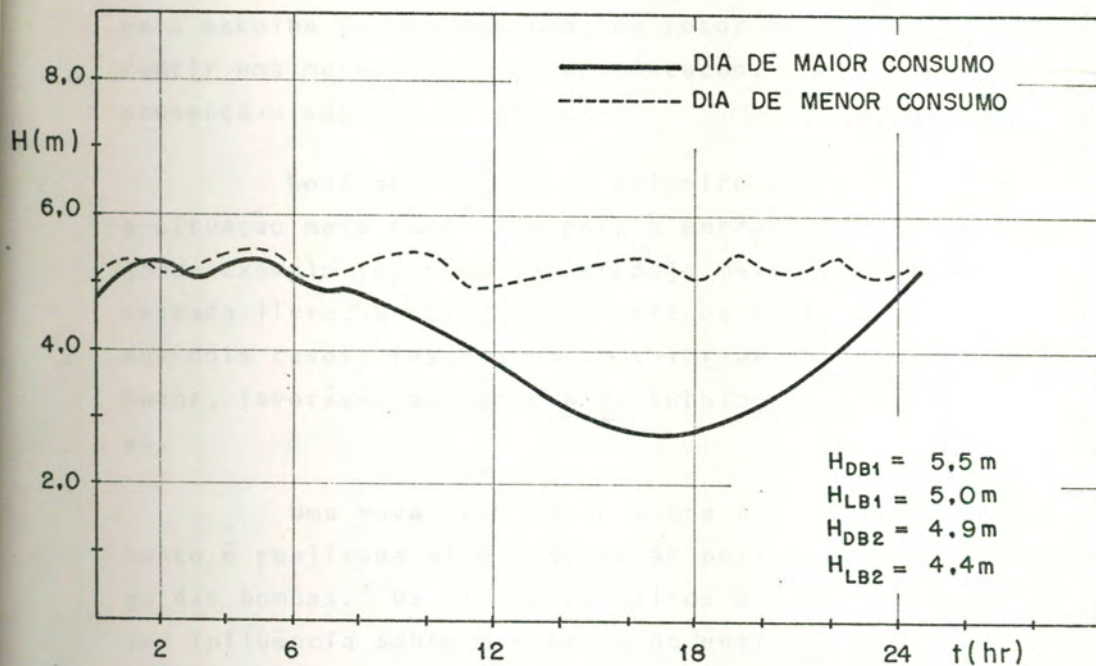


FIG. 11 - EVOLUÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO EM DOIS DIAS TÍPICOS, ENTRADA AFOGADA - BOMBA 10LNH-18, ROTOR B, $\phi 177/8"$, 1775rpm

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diferentes observações podem ser constatadas dos resultados obtidos.

Dos exemplos apresentados conclui-se que a escolha entre os esquemas apresentados provoca diferenças sobre a seleção da bomba, volume ou área do reservatório, posições de liga/desliga das bombas e na potência total consumida.

No primeiro exemplo a bomba selecionada não é suficiente para garantir o consumo de água nos dias de maior demanda com "entrada por cima". Como consequência, uma das hipóteses é o aumento do volume de água no reservatório, aumentando sua área, implicando em um elevado crescimento do investimento (verificou-se ser necessário mais do dobro do volume do reservatório). A segunda opção passa

pela escolha de outra bomba, de rotor maior, a fim de garantir uma maior vazão de alimentação. Esta situação representa o segundo exemplo.

Considerando que o primeiro exemplo corresponde a situação mais econômica para a entrada afogada e o segundo exemplo representa o arranjo mais econômico para a entrada livre, a comparação entre os trabalhos acumulados nos dois casos, resulta em um valor anual de $\Delta W = 1,80 \times 10^4$ kw·hr, favorável ao esquema da tubulação entrando por baixo.

Uma nova otimização sobre a potência de bombeamento é realizada alterando-se as posições de liga/desliga das bombas. Os níveis relativos a essas posições exercem influência sobre o consumo de energia final.

Para uma melhor economia de energia, seria conveniente a instalação de instrumentação que possibilitasse a variação dos níveis de liga/desliga conforme a época do ano. Observa-se que durante grande parte desse período o reservatório permanece cheio, sofrendo pequenas oscilações. No entanto, seu volume é fundamental para amortecer os picos de vazões dos dias de maior consumo.

A análise do consumo de energia no bombeamento devido à altura manométrica do recalque é um parâmetro que varia no tempo não só vegetativamente mas também sazonalmente. Recomenda-se no cálculo do valor atual dos consumos de energia a consideração das variações sazonais e de arranjo de entrada, uma vez que os resultados alcançados chegam a apresentar erros maiores que um grau de dez, sem levar em conta possíveis variações no preço dos grupos motor-bomba e do reservatório.

Foi analisado no terceiro exemplo, o comportamento do sistema hidráulico utilizando apenas uma bomba, com entrada livre e afogada. Os resultados mostram que

neste caso a potência consumida no mesmo período (360 dias) é aumentada de $W = 2,7 \times 10^4$ kw·hr.

Verifica-se que no caso concreto analisado, as diferenças de trabalho entre as alternativas de entrada livre e afogada resultaram em consumos de energia anuais de custo relativamente próximo (da ordem de 18000 kw·hr; 1kw·hr \cong Cr\$200. Jul/85 \cong U\$0,031) representando uma economia de ordem de 7%. Tal conclusão não pode ser generalizada, devendo ser analisada caso a caso, embora seja possível afirmar que as configurações com entrada afogada serão sempre mais econômicas, e menos de uma eventual e pouco provável dificuldade em encontrar bombas adequadas à entrada afogada associada à disponibilidade de bombas adequadas à entrada livre.

Recomenda-se a montagem dos cálculos de maneira cuidadosa, garantindo-se o nível de água mínimo nos reservatórios no dia de maior consumo, durante as horas de maior consumo.

Nos bombeamentos para mais de um reservatório por uma mesma linha, ou no caso de distribuição em marcha, não analisados neste trabalho, a entrada "por baixo" apresentará vantagens adicionais por colaborar para a montagem de um sistema hidraulicamente auto-equilibrável na situação de menor consumo de energia pelo ajuste de vazões e níveis que se compensam.

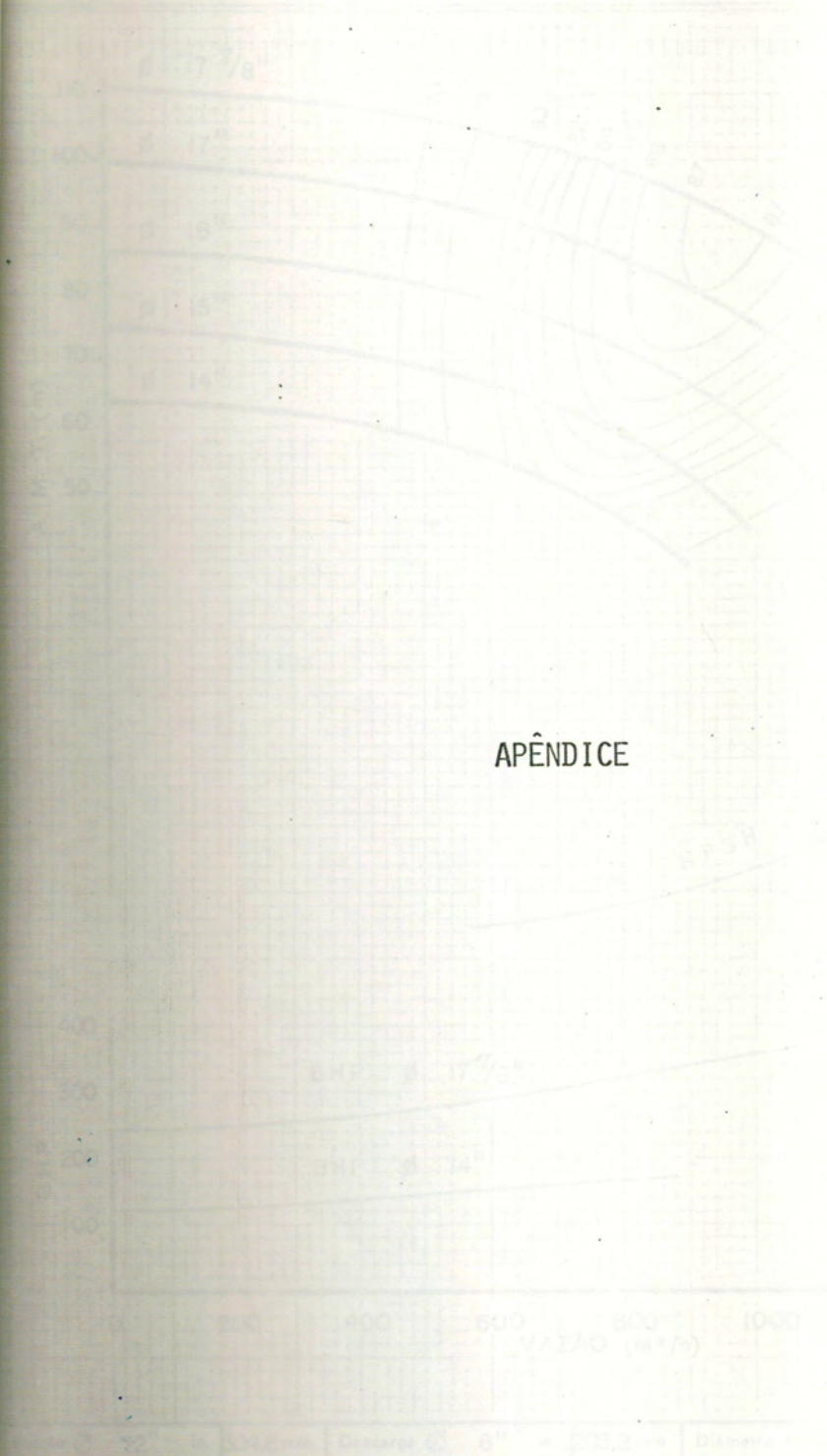
No Brasil, o mais frequente é encontrar-se sistemas construídos e operando com entrada livre (por cima), sem explicação razoável, atribuindo-se essa situação a alguns fatores:

- a- tradição e receio de alterar o estado da arte;
- b- desconhecimento das alternativas;
- c- menor complexidade no projeto e escolha do grupo motor -bomba para a alternativa de entrada livre;
- d- custo de energia barato.

Isto posto, recomenda-se adotar sempre nos projetos, por mais econômica e operacionalmente equivalente, a entrada afogada (por baixo), uma vez que não se consegue vislumbrar situação na qual essa configuração seja mais desfavorável que a entrada "por cima", além de ter-se aqui demonstrado sua economicidade.

REFERÊNCIAS

- [1] Macintyre, A.J. — Bombas e instalações de bombeamento. Editora Guanabara Dois, (1980).
- [2] Benedict, R.P. — Fundamentals of pipe flow. Ed. John Wiley (1980).
- [3] Fernández, M.F.y; Lasmar, I.; Accioli, A.; Grael, M. R. — "Projeto do sistema de distribuição de água de Goiânia", SANEAGO (1984).
- [4] Aun, S.A.T. e Nobre, J.E.A. — "Reservatórios elevados e conjuntos elevatórios", VI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária - ABES, São Paulo, SP, (1971).



APÊNDICE

Figura A1. Curva de performance
Bomba Worthington BLN-12

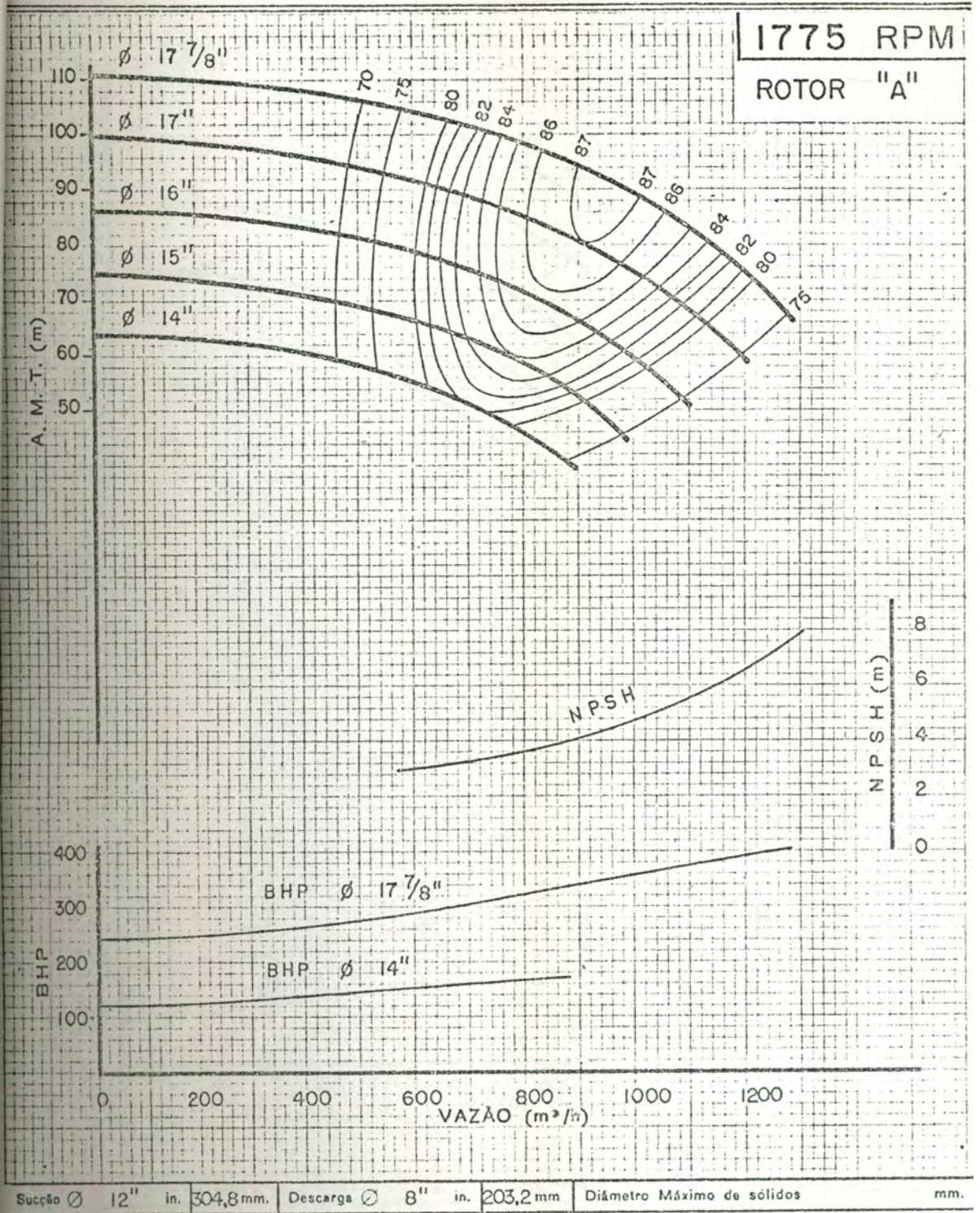


Figura A1. Curva de performance
Bomba Worthington 8LN-18, rotor A

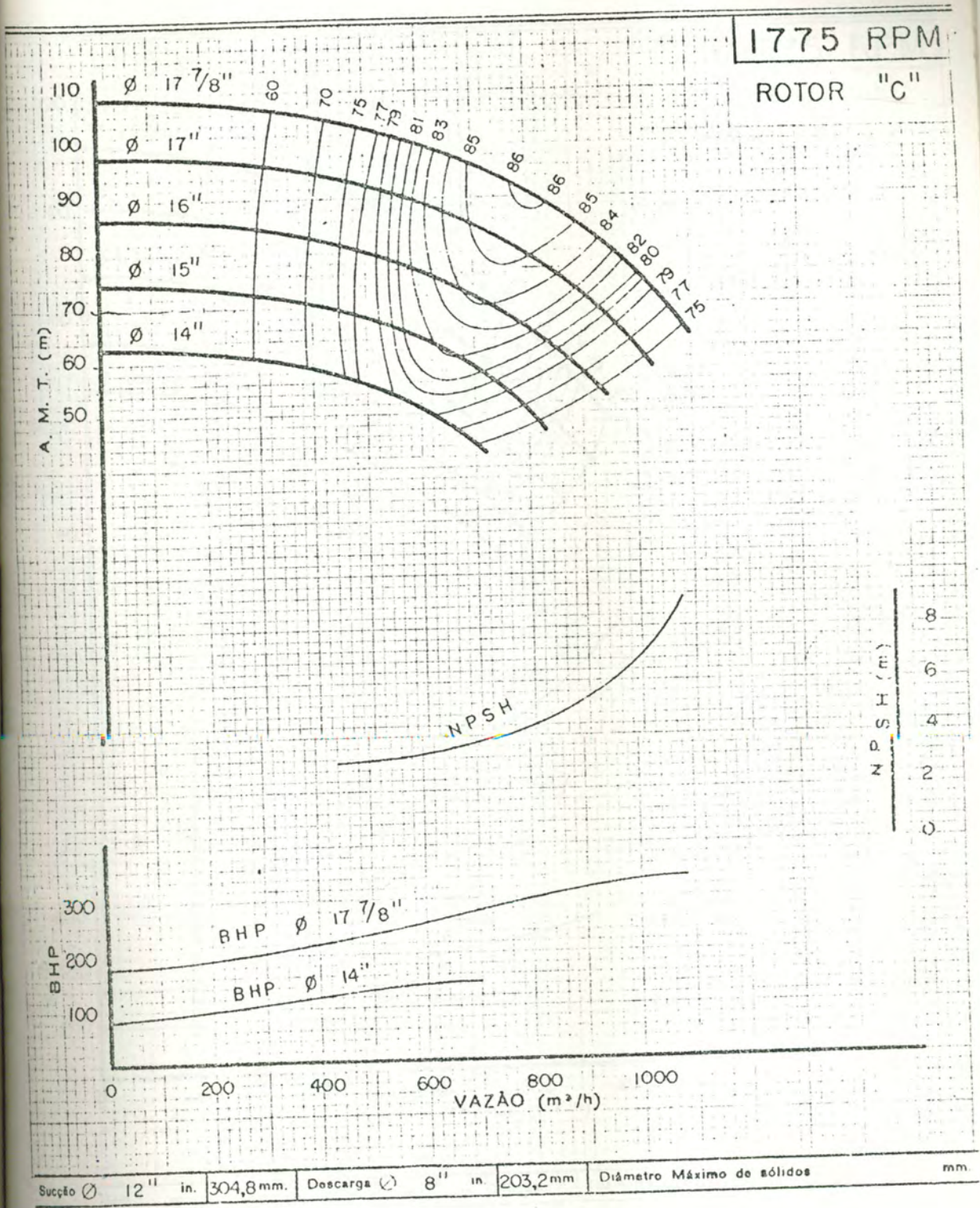


Figura A2. Curva de performance
Bomba Worthington 8LN-18, rotor C

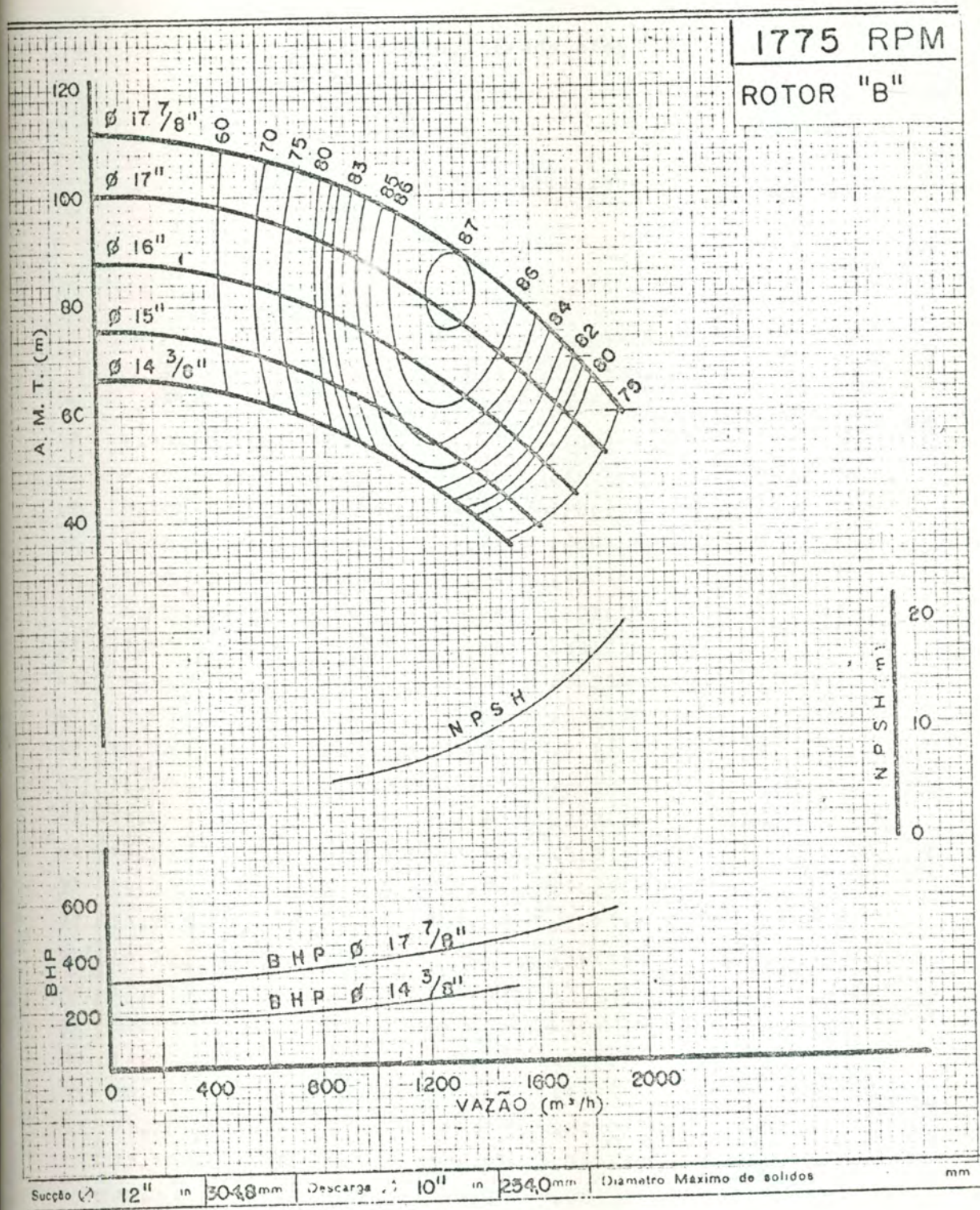


Figura A3. Curva de performance
Bomba Worthington, 10LNH-18, rotor C

Tabela A1. Entrada afogada

BOMBA: 8LN-18, ROTOR C, DIA: 17 PGL, 1775 RPM

DIA = 90 QA = 1490.4

	MP	QE	QS	H	VP	CUSTO	REND
		M3/H	M3/H	M	M3	KW.HP	
2	.20	941.4	1509.9	4.53	.300067E+07	.755473E+05	.800
7	1.20	1635.2	1701.9	4.32	.300189E+07	.755776E+05	.846
12	2.20	1637.5	1879.6	4.23	.300213E+07	.756197E+05	.846
17	3.20	1642.4	2030.7	4.06	.300317E+07	.756619E+05	.846
22	4.20	1644.4	2145.0	3.82	.300681E+07	.757041E+05	.845
27	5.20	1657.8	2214.7	3.54	.300847E+07	.757465E+05	.844
32	6.20	1666.6	2235.0	3.24	.301013E+07	.757890E+05	.843
37	7.20	1675.2	2204.6	2.96	.301180E+07	.758316E+05	.842
42	8.20	1682.8	2125.5	2.71	.301348E+07	.758743E+05	.841
47	9.20	1698.7	2003.2	2.51	.301517E+07	.759171E+05	.840
52	10.20	1692.4	1845.9	2.40	.301686E+07	.759599E+05	.839
57	11.20	1693.6	1664.3	2.38	.301855E+07	.760028E+05	.839
62	12.20	1692.1	1470.9	2.45	.302025E+07	.760457E+05	.840
67	13.20	1687.7	1278.9	2.63	.302194E+07	.760886E+05	.840
72	14.20	1680.4	1101.2	2.89	.302362E+07	.761315E+05	.841
77	15.20	1670.7	950.1	3.24	.302530E+07	.761739E+05	.842
82	16.20	1658.8	835.8	3.65	.302698E+07	.762164E+05	.844
87	17.20	1645.2	766.0	4.10	.302866E+07	.762589E+05	.845
92	18.20	1630.8	745.7	4.56	.303035E+07	.763019E+05	.847
97	19.20	936.1	776.1	4.94	.303173E+07	.763399E+05	.802
102	20.20	937.4	555.1	5.00	.303267E+07	.763612E+05	.812
107	21.20	937.2	577.6	5.01	.303361E+07	.763826E+05	.802
112	22.20	937.7	1124.8	4.44	.303455E+07	.764039E+05	.802
117	23.20	939.1	1316.3	4.75	.303549E+07	.764252E+05	.801

Tabela A2. Entrada afogada

BOMBAS ELN-15, ROTOR C, DIA 117 POL, 3775 RPM

DIA = 270 CA = 993.6

	HR	QE	QS	H	VP	CUSTO	RAND	
		M ³ /H	M ³ /H	M	M ³	KW.HR		
	2	.20	932.8	1006.6	5.44	.841988E+07	.210921E+06	.804
	7	1.20	933.5	1134.7	5.36	.842022E+07	.210944E+06	.804
	12	2.20	934.8	1253.1	5.22	.842125E+07	.210966E+06	.803
	17	3.20	936.7	1353.9	5.02	.842219E+07	.210988E+06	.802
	22	4.20	939.0	1430.1	4.78	.842312E+07	.211011E+06	.801
	27	5.20	941.6	1476.6	4.51	.842406E+07	.211033E+06	.800
	32	6.20	1632.2	1490.1	4.44	.842542E+07	.211067E+06	.847
	37	7.20	1629.7	1469.8	4.52	.842705E+07	.211109E+06	.847
	42	8.20	1626.8	1417.1	4.61	.842868E+07	.211151E+06	.847
	47	9.20	1622.8	1335.5	4.75	.843030E+07	.211193E+06	.848
	52	10.20	1617.2	1230.7	4.93	.843192E+07	.211235E+06	.848
	57	11.20	939.0	1109.6	4.81	.843286E+07	.211257E+06	.802
	62	12.20	939.6	980.7	4.76	.843360E+07	.211280E+06	.802
	67	13.20	939.6	852.6	4.78	.843474E+07	.211302E+06	.803
	72	14.20	938.9	724.2	4.87	.843568E+07	.211324E+06	.803
	77	15.20	937.6	633.4	5.00	.843662E+07	.211347E+06	.802
	82	16.20	935.8	557.2	5.19	.843756E+07	.211369E+06	.803
	87	17.20	933.7	510.7	5.40	.843849E+07	.211391E+06	.804
	92	18.20	932.5	497.2	5.53	.843924E+07	.211409E+06	.805
	97	19.20	.0	517.4	5.46	.843961E+07	.211418E+06	.000
	102	20.20	.0	570.1	5.47	.844017E+07	.211432E+06	.000
	107	21.20	.0	651.7	5.44	.844073E+07	.211445E+06	.000
	112	22.20	933.0	756.6	5.45	.844147E+07	.211463E+06	.804
	117	23.20	.0	877.6	5.41	.844222E+07	.211481E+06	.000

Tabela A3. Entrada afogada

BOMBA: PIN-18, ROTOR C, DIA: 17 PGL, 1775 RPM

DIA = 360 CA = 1237.5

	HD	QE	QS	H	VP	CUSTO	REND
		M3/H	M3/H	M	M3	KW.HR	
2	.20	933.9	1253.8	5.30	.107692E+08	.268938E+06	.804
7	1.20	936.0	1413.3	5.09	.107692E+08	.268960E+06	.803
12	2.20	938.7	1560.8	4.79	.107701E+08	.268982E+06	.801
17	3.20	942.2	1686.3	4.63	.107710E+08	.269005E+06	.799
22	4.20	1635.7	1781.2	4.30	.107725E+08	.269043E+06	.846
27	5.20	1638.5	1829.1	4.20	.107742E+08	.269085E+06	.846
32	6.20	1641.9	1856.0	4.09	.107758E+08	.269127E+06	.846
37	7.20	1645.2	1830.8	3.99	.107775E+08	.269169E+06	.845
42	8.20	1647.8	1765.1	3.91	.107791E+08	.269212E+06	.845
47	9.20	1649.1	1663.5	3.85	.107808E+08	.269254E+06	.845
52	10.20	1648.5	1532.8	3.91	.107824E+08	.269296E+06	.845
57	11.20	1645.7	1382.1	4.02	.107841E+08	.269339E+06	.845
62	12.20	1640.4	1221.5	4.21	.107857E+08	.269381E+06	.846
67	13.20	1632.6	1062.0	4.47	.107873E+08	.269423E+06	.847
72	14.20	1622.1	914.5	4.81	.107890E+08	.269465E+06	.848
77	15.20	937.4	789.0	5.01	.107902E+08	.269495E+06	.802
82	16.20	936.4	694.0	5.12	.107911E+08	.269517E+06	.803
87	17.20	935.0	636.1	5.26	.107920E+08	.269540E+06	.803
92	18.20	933.4	619.2	5.42	.107930E+08	.269562E+06	.804
97	19.20	932.8	644.5	5.48	.107937E+08	.269580E+06	.804
102	20.20	932.3	710.1	5.52	.107945E+08	.269598E+06	.805
107	21.20	932.4	811.7	5.51	.107952E+08	.269616E+06	.805
112	22.20	933.0	942.4	5.43	.107960E+08	.269633E+06	.804
117	23.20	933.3	1093.1	5.38	.107969E+08	.269656E+06	.804

Tabela A4. Entrada livre

BOMBA:HLN-18, ROTOR C, DIA:17 POL, 1775 RPM

DIA = 90 CA =1490.4

	QD	QE	QS	H	VP	CUSTO	REND
		M3/H	M3/H	M	M3	KW.HR	
2	.20	932.3	1509.9	4.45	.300041E+07	.768383E+05	.805
7	1.20	1597.1	1701.9	4.37	.300188E+07	.768760E+05	.850
12	2.20	1597.1	1879.6	4.26	.300348E+07	.769176E+05	.850
17	3.20	1597.1	2030.7	4.06	.300507E+07	.769592E+05	.850
22	4.20	1597.1	2145.0	3.80	.300667E+07	.770007E+05	.850
27	5.20	1597.1	2214.7	3.49	.300827E+07	.770423E+05	.850
32	6.20	1597.1	2235.0	3.16	.300986E+07	.770839E+05	.850
37	7.20	1597.1	2204.6	2.83	.301146E+07	.771255E+05	.850
42	8.20	1597.1	2125.5	2.54	.301306E+07	.771670E+05	.850
47	9.20	1597.1	2003.2	2.30	.301466E+07	.772086E+05	.850
52	10.20	1597.1	1845.9	2.13	.301625E+07	.772502E+05	.850
57	11.20	1597.1	1664.3	2.05	.301785E+07	.772917E+05	.850
62	12.20	1597.1	1470.9	2.09	.301945E+07	.773333E+05	.850
67	13.20	1597.1	1278.9	2.21	.302104E+07	.773749E+05	.850
72	14.20	1597.1	1101.2	2.43	.302264E+07	.774165E+05	.850
77	15.20	1597.1	950.1	2.74	.302424E+07	.774580E+05	.850
82	16.20	1597.1	835.8	3.12	.302584E+07	.774996E+05	.850
87	17.20	1597.1	766.0	3.54	.302743E+07	.775412E+05	.850
92	18.20	1597.1	745.7	3.98	.302903E+07	.775828E+05	.850
97	19.20	1597.1	776.1	4.42	.303063E+07	.776243E+05	.850
102	20.20	1597.1	855.1	4.62	.303222E+07	.776659E+05	.850
107	21.20	932.3	977.5	4.96	.303382E+07	.777075E+05	.805
112	22.20	932.3	1134.8	4.89	.303542E+07	.777491E+05	.805
117	23.20	932.3	1316.3	4.73	.303702E+07	.777906E+05	.805

Tabela A5. Entrada livre

POMPA: BLN-18, ROTOR C, DIA: 17, PDL, 1775 RPM

DIA = 270 QA = 993.6

	HD	QF	QS	H	VP	CUSTO	REND
		M3/H	M3/H	M	M3	KW.HR	
2	.20	932.3	1005.6	5.45	.841517E+07	.214026E+06	.805
7	1.20	932.3	1134.7	5.37	.842010E+07	.214049E+06	.805
12	2.20	932.3	1253.1	5.22	.842104E+07	.214071E+06	.805
17	3.20	932.3	1353.9	5.02	.842157E+07	.214093E+06	.805
22	4.20	932.3	1430.1	4.78	.842290E+07	.214115E+06	.805
27	5.20	932.3	1476.6	4.56	.842383E+07	.214136E+06	.805
32	6.20	1597.1	1490.1	4.42	.842517E+07	.214172E+06	.850
37	7.20	1597.1	1469.8	4.48	.842676E+07	.214213E+06	.850
42	8.20	1597.1	1417.1	4.57	.842836E+07	.214255E+06	.850
47	9.20	1597.1	1335.5	4.68	.842996E+07	.214296E+06	.850
52	10.20	1597.1	1230.7	4.85	.843155E+07	.214337E+06	.850
57	11.20	932.3	1109.6	4.87	.843275E+07	.214368E+06	.805
62	12.20	932.3	980.7	4.82	.843368E+07	.214390E+06	.805
67	13.20	932.3	852.5	4.83	.843452E+07	.214413E+06	.805
72	14.20	932.3	734.2	4.91	.843558E+07	.214435E+06	.805
77	15.20	932.3	633.4	5.05	.843648E+07	.214457E+06	.805
82	16.20	932.3	557.2	5.23	.843741E+07	.214479E+06	.805
87	17.20	932.3	510.7	5.44	.843835E+07	.214502E+06	.805
92	18.20	.0	497.2	5.47	.843890E+07	.214515E+06	.805
97	19.20	932.3	517.4	5.50	.843946E+07	.214529E+06	.805
102	20.20	932.3	570.1	5.51	.844002E+07	.214542E+06	.805
107	21.20	932.3	611.7	5.48	.844056E+07	.214555E+06	.805
112	22.20	932.3	751.4	5.49	.844133E+07	.214573E+06	.805
117	23.20	932.3	877.6	5.45	.844207E+07	.214591E+06	.805

Tabela A6. Entrada livre.

BOMBA: BLN-18, ROTOR C, DIA: 17 POL, 1775 RPM

DIA = 360 QA = 1237.6

	WR	DE	QS	H	VP	CUSTO	REND
		M3/H	M3/H	M	M3	KV.HR	
2	0.20	932.3	1253.8	5.27	.107679E+08	.272496E+06	.805
7	1.20	932.3	1413.3	5.05	.107689E+08	.272516E+06	.805
12	2.20	932.3	1560.8	4.76	.107698E+08	.272541E+06	.805
17	3.20	932.3	1686.3	4.39	.107707E+08	.272563E+06	.805
22	4.20	1597.1	1761.2	4.31	.107723E+08	.272604E+06	.850
27	5.20	1597.1	1839.1	4.20	.107739E+08	.272646E+06	.850
32	6.20	1597.1	1856.0	4.06	.107755E+08	.272688E+06	.850
37	7.20	1597.1	1830.8	3.93	.107771E+08	.272729E+06	.850
42	8.20	1597.1	1765.1	3.83	.107787E+08	.272771E+06	.850
47	9.20	1597.1	1669.5	3.77	.107803E+08	.272812E+06	.850
52	10.20	1597.1	1532.8	3.78	.107819E+08	.272854E+06	.850
57	11.20	1597.1	1382.1	3.86	.107835E+08	.272896E+06	.850
62	12.20	1597.1	1221.5	4.02	.107851E+08	.272937E+06	.850
67	13.20	1597.1	1062.0	4.27	.107867E+08	.272979E+06	.850
72	14.20	1597.1	914.5	4.59	.107883E+08	.273020E+06	.850
77	15.20	932.3	789.0	4.92	.107898E+08	.273062E+06	.805
82	16.20	932.3	694.0	5.03	.107907E+08	.273096E+06	.805
87	17.20	932.3	626.1	5.17	.107916E+08	.273138E+06	.805
92	18.20	932.3	519.2	5.33	.107926E+08	.273179E+06	.805
97	19.20	932.3	444.0	5.49	.107935E+08	.273147E+06	.805
102	20.20	932.3	710.1	5.52	.107942E+08	.273159E+06	.805
107	21.20	932.3	511.7	5.51	.107950E+08	.273183E+06	.805
112	22.20	932.3	342.4	5.44	.107957E+08	.273201E+06	.805
117	23.20	932.3	1193.1	5.38	.107967E+08	.273223E+06	.805