

Curso Sobre Projetos de Adutoras

ANEXO N.º I

Curso Preparatório de Saneamento para Engenheiros.
Capítulo VII — Adução da Água de Abastecimento.
PROF. ENG. EDUARDO RIOMEY YASSUDA.
Universidade de São Paulo — Faculdade de Higiene e Saúde Pública.
Departamento de Saneamento.
Redigido em 1950
Revisado em 1953.

Coordenação do
Eng. WALTER ENGRÁCIA DE OLIVEIRA
Diretor do Serviço do DAE (SO-4)

ADUÇÃO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO

1 — Generalidades

a) Adução é a parte do abastecimento destinada a promover o escoamento da água entre os diversos órgãos do sistema.

b) Em conformidade com o sistema presente, pode-se ter:

1 — adução da captação ao reservatório ou à rede de distribuição;

2 — adução da captação à estação de tratamento;

3 — adução da estação de tratamento ao reservatório ou à rede de distribuição;

4 — adução do reservatório à rede de distribuição.

c) As adutoras se caracterizam pelo fato de não apresentarem distribuição de água em marcha. Excepcionalmente, podem apresentar sangrias simples, destinadas ao abastecimento de centros intermediários.

d) Quando, de uma adutora principal, derivam-se várias adutoras secundárias, estas são também chamadas de sub-adutoras.

2 — Classificação

a) De acordo com a energia de movimentação da água:

1 — adução por gravidade;

2 — adução por recalque;

3 — adução em parte por gravidade e em parte por recalque.

b) De acordo com o modo de escoamento:

1 — adução em conduto livre;

2 — adução em conduto forçado;

3 — adução mista, com parte em conduto forçado e parte em conduto livre.

3 — Vazão de dimensionamento

a) Caso de sistemas desprovidos de reservatório de distribuição — Neste caso, a adutora deve ser dimensionada para atender à vazão na hora de

maior consumo do dia de maior consumo, usando-se a fórmula:

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot q \cdot P \quad \dots \dots \dots \text{ em litros/dia}$$
$$= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot q \cdot P}{86\,400} \quad \dots \dots \dots \text{ em litros/seg}$$

k_1 e k_2 = coeficientes de variação do consumo;
 q = consumo médio "per capita" (litros/hab.dia);
 p = população a ser abastecida.

b) Caso de sistemas providos de reservatório de distribuição servindo de volante às variações horárias do consumo. Este é o caso que ocorre mais comumente na prática. A adutora deve, então, ser dimensionada para atender à vazão média do dia de maior consumo. Será usada uma das fórmulas seguintes:

1 — No caso de adução contínua, 24 horas por dia:

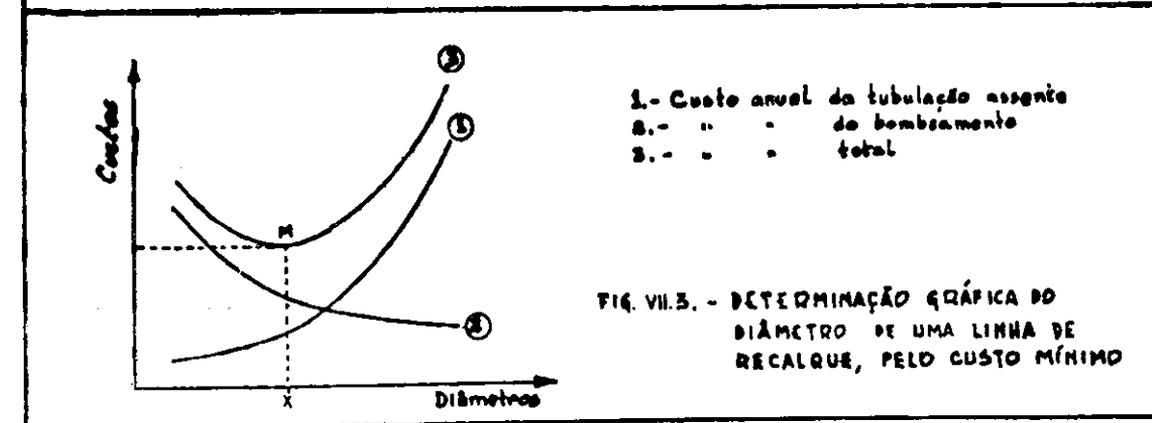
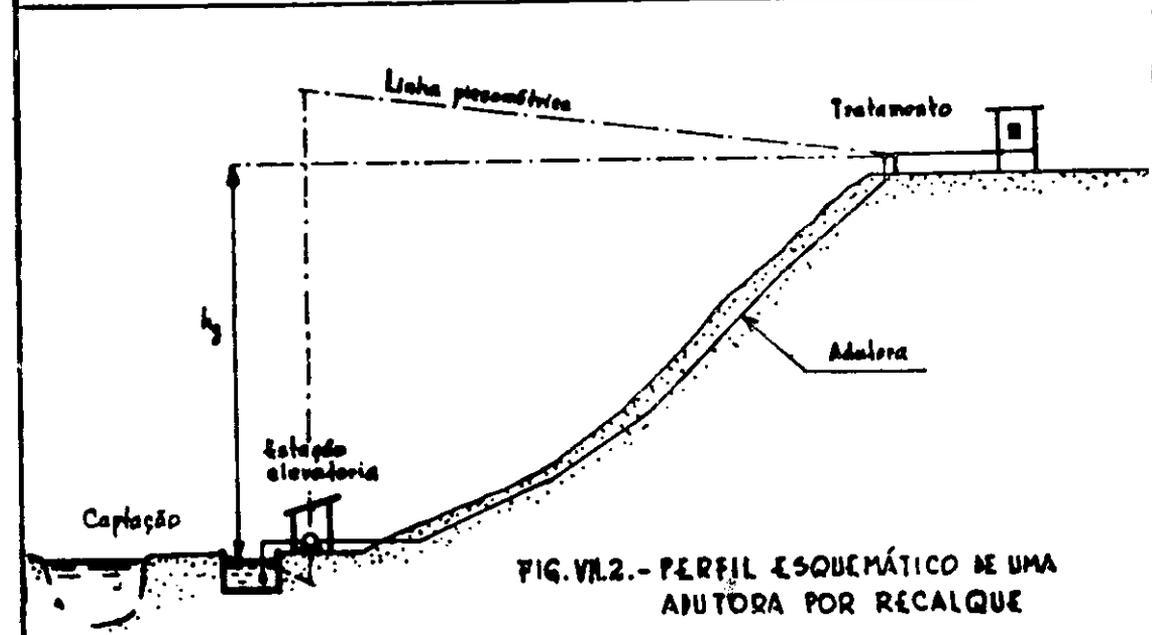
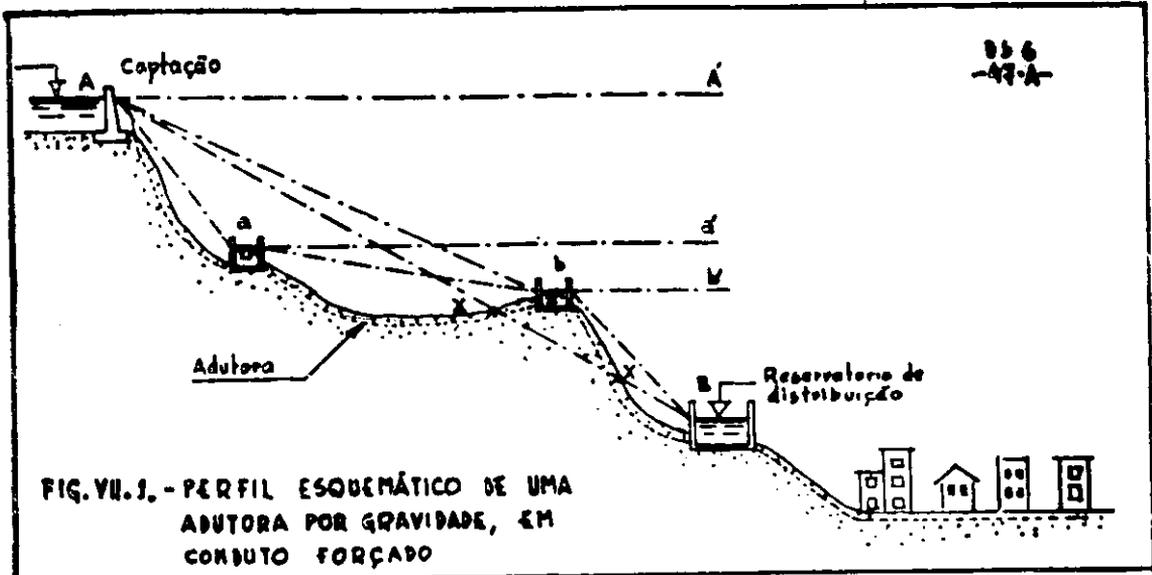
$$Q = k_1 \cdot q \cdot P \quad \dots \dots \dots \text{ em litros/dia}$$
$$= \frac{k_1 \cdot q \cdot P}{86\,400} \quad \dots \dots \dots \text{ em litros/seg}$$

2 — no caso de adução intermitente, B horas por dia (funcionamento intermitente de bombas ou estação de tratamento, por exemplo):

$$Q = \frac{k_1 \cdot q \cdot P}{B} \quad \dots \dots \dots \text{ em litros/hora}$$
$$= \frac{k_1 \cdot q \cdot P}{3\,600 \cdot B} \quad \dots \dots \dots \text{ em litros/seg}$$

c) Observações

1 — Se se introduzisse um reservatório de distribuição que servisse de volante também para as variações diárias do consumo, a adutora seria calculada para atender à vazão média anual, e usar-se-iam as mesmas fórmulas mencionadas na alínea b, acima, sem o coeficiente k_1 . Embora conduza a um mínimo de custo para a adutora, esta solução geralmente não é adotada na prática, porque acarreta, em conjunto, sistemas de construção muito dispendiosa.



2 — Entre os casos mencionados nas alíneas a e b, podem ser ideados sistemas intermediários. Isto é, existência de reservatório de distribuição cuja capacidade seja suficiente para atender, parcialmente apenas, às variações horárias do consumo. A vazão de adução terá, então, um valor intermediário, a ser calculado através da análise comparativa entre as variações horárias do consumo e a regularização possível no reservatório de distribuição.

4 — Adução por gravidade

a) Adutora em conduto livre.

1 — Características gerais — Nos condutos livres, o líquido em escoamento apresenta uma superfície livre constantemente sob a pressão atmosférica. A linha piezométrica efetiva do escoamento está contida, em todo o percurso, nessa superfície livre.

Na antiguidade, os condutos livres foram muito usados, devido à inexistência de canalizações resistentes à pressão hidráulica interna.

Em terrenos acidentados, exigem um desenvolvimento muito grande ou a construção de obras de arte para a transposição de depressões.

2 — Tipos de condutos livres.

a) Canais a céu-aberto.

I) Canais abertos em terra, com ou sem revestimento — Constroem-se, geralmente, com secção trapezoidal. São muito usados em abastecimento d'água para irrigação. Em abastecimento de cidades, são indicados somente na adução da captação a uma instalação do tratamento.

II) Calhas de madeira ou de concreto armado ou metálicas. Adotam-se, geralmente, secções retangulares, trapezoidais ou semi-circulares. Tem aplicação análoga à dos canais abertos em terra.

b) Condutos livres providos de cobertura (galerias e tneis) — São construídos em alvenaria, concreto armado, material cerâmico, cimento-amianto, chapas e perfis metálicos ou madeira. No caso de secções pequenas, preferem-se secções circulares (melhores características hidráulicas). Secções especiais (secção retangular, secção em ferradura, secção semi-elíptica) são adotadas no caso de grandes instalações (melhores características construtivas e estruturais).

3 — Dimensionamento das adutoras em conduto livre.

a) São conhecidos:

I) a vazão, Q, que ela deverá conduzir obtida através das estimativas de consumo e do critério funcional — período de funcionamento e reservação — adotado para o sistema;

II) o desnível, H, e a distância mínima, L, entre os pontos de partida e de chegada da adutora e a conformação do terreno em diversos caminhamentos possíveis (dados topográficos);

III) as características de resistência ao escoamento oferecida pelas paredes de diferentes tipos de condutos disponíveis;

IV) o custo unitário de construção, usando-se os diferentes tipos de condutos.

b) É fixado, pela prática, um intervalo de escolha da velocidade média, V, no qual, o limite inferior (cêrca de 0,30 m/seg) visa impedir a sedimentação de matéria em suspensão e o desenvolvimento de vegetação aquática na canalização. E o limite superior (V. Tab. VII. 1) visa a proteção do canal contra desgaste excessivo.

c) Tem-se, assim, elementos hidráulicos e econômicos suficientes para, por tentativas, determinarem-se o tipo e as dimensões da secção de escoamento, a declividade e o material a ser usado na adutora mais econômica. Nesses cálculos, geralmente é empregada, como equação de resistência ao escoamento, a Fórmula de Chezy:

$$V = C \sqrt{R \cdot I}$$

onde V = velocidade média de escoamento, em m/seg;

R = raio hidráulico da secção, em m;

I = declividade do conduto, em m/m;

C = coeficiente.

Para determinação do coeficiente C, tem-se obtido resultados satisfatórios aplicando-se a 2.^a Fórmula de Bazin ou a Fórmula de Ganguillet e Kutter.

2.^a Fórmula de Bazin:

$$V = \frac{87}{1 + \frac{1}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

Fórmula de Ganguillet e Kutter:

$$V = \frac{23 + \frac{0,00155}{I} + \frac{1}{\sqrt{R}}}{1 + (23 + \frac{0,00155}{I}) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

Abacos ou tabelas são indispensáveis à solução prática dessas equações.

Nas duas fórmulas acima, $\frac{1}{\sqrt{R}}$ e n são coeficientes dependentes da natureza das paredes do conduto (dados experimentais fornecidos pela Hidráulica).

4 — Precauções gerais a serem consideradas.

a) Uso de condutos livres providos de cobertura e afastados de focos locais de poluição, sempre que a água aduzida for considerada potável.

b) Dimensionamento da adutora de modo que a velocidade de escoamento se mantenha dentro do intervalo de funcionamento adequado.

b) Adutora por gravidade, em conduto forçado.

1 — Características gerais — Nos condutos forçados, a canalização não coincide com a linha piezométrica efetiva. A pressão interna do líquido é diferente da pressão atmosférica. Isto é, há uma pressão efetiva não nula, a qual, em cada ponto, é medida pela ordenada da linha piezométrica em relação ao eixo da tubulação. Quando a água está estacionária, a linha piezométrica é horizontal. Para a água em escoamento, a linha piezométrica apresenta-se em declive, com inclinação dependente das perdas de energia por atrito.

2 — Considerações sobre o traçado das adutoras por gravidade, em conduto forçado — A canalização acompanha, em linhas gerais, as ondulações da superfície do solo. A sua localização, porém, deve ser feita de modo que resultem pressões internas não muito altas, isto é, deve ela manter o seu eixo próximo à linha piezométrica.

Por outro lado, é conveniente que a canalização se localize sempre abaixo da linha piezométrica, de modo a se ter pressão efetiva constantemente positiva (para

que se facilite a expulsão de ar nos pontos altos, pela simples colocação de ventosas, e se diminua a possibilidade de intromissão de água exterior, de qualidade suspeita).

Se a adutora tiver secção constante, a linha piezométrica será, praticamente, uma linha reta, de uma extremidade à outra da adutora (Fig. VII. 1, linha AB). Por um traçado assim direto, às vezes pode não ser praticável manter a canalização abaixo da linha piezométrica em todos os seus pontos (caso do trecho XX da Fig. VII. 1). Em tais casos, introduzindo-se caixas intermediárias nos pontos altos (caixa de passagem **b**, Fig. VII. 1) as secções dos diferentes segmentos delimitados pelas caixas de passagem são dimensionadas independentemente, de modo que, com trechos de linha piezométrica sob diferentes declividades, conduzam a "vazão de dimensionamento da adutora". A linha piezométrica passa a ser, assim, uma linha quebrada (linha AbB, Fig. VII. 1).

Se os pontos altos forem demasiadamente elevados para permitirem tal artifício, provavelmente será conveniente contorná-los. Ou, então atravessá-los mediante a abertura de um corte profundo ou um túnel.

Pequenas elevações acima da linha piezométrica podem ser atravessadas por sifonamento (tubulação acima da linha piezométrica no trecho culminante da elevação). Mas, isto exige a colocação de um dispositivo especial para extração de ar, o que constitui uma situação a ser evitada.

Em casos ainda mais desfavoráveis, há necessidade de se recorrer a um bombeamento para a transposição de uma elevação.

Quando a situação topográfica faz com que a canalização se afaste demasiadamente para baixo da linha piezométrica, resultam, em trechos da adutora, pressões internas tão altas que exigem precauções especiais no assentamento da linha e (ou) a adoção de tubos especiais. Melhores resultados econômicos podem ser obtidos, muitas vezes, quebrando-se a linha piezométrica por meio de caixas intermediárias (caixas de quebra-pressão). É o caso da inserção da caixa **a**, da Fig. VII. 1; reduzem-se bastante as pressões ao longo da adutora, pois, a linha piezométrica passa a ser a polygonal AabB.

Se a canalização for de tal modo projetada que, durante o seu funcionamento, se tenha o fechamento periódico do escoamento na sua extremidade inferior, deve-se considerar, como pressão hidráulica a ser suportada internamente pela tubulação, não a pressão dinâmica própria do funcionamento normal do sistema. Mas, sim a pressão estática na linha e a sobre-pressão dinâmica conseqüente aos golpes de ariete. A pressão estática, em cada ponto da tubulação, é representada pela distância vertical do eixo desta em relação ao plano horizontal que passa pela superfície livre da água na caixa de entrada desse líquido na linha. No caso da Fig. VII. 1, sob a hipótese de tubulação contínua de **A** e **B** (inexistência das caixas intermediárias **a** e **b**) seriam as alturas d'água medidas do eixo da adutora ao plano horizontal **AA'**. A sobrepressão devida ao golpe de ariete resulta de aberturas ou fechamentos bruscos de escoamento, por ocasião do funcionamento de válvulas ou registros. A teoria do golpe de ariete permite calcular o valor da sobrepressão assim resultante, a qual depende principalmente da duração da manobra de abertura ou fechamento do escoamento, do comprimento da tubulação, da velocidade média de escoamento da água, da aceleração da gravidade e do diâmetro, espessura e módulo de elasticidade dos tubos.

Na prática, muitas vezes é mais econômico dar-se à água uma descarga sempre livre (usando-se extravazores para sobras) na extremidade de juzante de cada trecho de adutora. Porque, então, as pressões a

serem previstas nos tubos passam a ser as pressões dinâmicas normais, que são menores.

Outras vezes, ao invés de descarga sempre livre, usam-se válvulas de segurança especiais, destinadas à proteção contra o golpe de Ariete, as quais dão uma descarga na tubulação quando a sobrepressão tende a ultrapassar prefixados limites.

Para a redução das pressões internas elevadas, são usadas também além das caixas de quebra-pressão e dos dispositivos de descarga, as válvulas redutoras de pressão. Estas, instaladas numa secção da canalização, apresentam funcionamento automático, reduzindo continuamente a pressão da água que lhes atravessa, de uma fração para a qual tenham sido reguladas.

3 — Materiais empregados nas adutoras por gravidade, em conduto forçado — Tubulações de ferro fundido são especialmente indicadas para condutos de secção pequena ou moderada e para os casos em que são necessárias muitas peças especiais.

Classes brasileiras de tubos de ferro fundido centrifugado (ref. VII. 2):

LA	pressão de ensaio: 20 Kg/cm ²
A	" " 25 "
B	" " 30 "

Para secções de grande dimensão, a escolha é feita entre o ferro fundido, o aço e o concreto armado. O custo do transparte favorece o aço e, em certos casos, o concreto armado, em relação ao ferro fundido.

Em águas moles e agressivas, as tubulações revestidas de argamassa de cimento e areia ou de outros revestimento protetores, ou os tubos de concreto, podem ser vantajosos.

Para pressões internas muito elevadas, são indicadas os tubos de aço.

Tubulações de madeira podem ser as mais adequadas em certos casos, em que fôr importante um baixo custo inicial, embora com durabilidade menor.

Tubos cerâmicos vidrados podem ser usados para pequenos diâmetros e pressões muito baixas.

Tubos de cimento-amianto têm conseguido larga aplicação hoje em dia. Apresentam as vantagens de serem imunes às ações corrosivas ordinárias, não conduzem a eletricidade e oferecerem pequeno atrito ao escoamento. Além de proporcionarem grande facilidade de transporte e de assentamento, no que diz respeito ao peso dos tubos e às operações de confecção de juntas. Encontram alguma limitação quanto às ações físicas externas, capazes de danificar-lhes, exigindo, por isso, assentamento sob condições de boa proteção. Ademais, a estanqueidade de suas juntas dependendo de anéis de borracha e, datando o seu emprego de poucas dezenas de anos, não se pode ainda estender-lhes a segurança tradicional já auferida pelas tubulações de ferro fundido. Contudo, as vantagens mencionadas e o baixo preço com que tem sido postas à venda no mercado, constituem fatores ponderáveis para a sua utilização. Exigências para a boa qualidade do material, inclusive para a borracha dos anéis, e normas para o seu emprego correto, contribuirão muito para a aplicação racional do cimento-amianto.

Exemplos:

Tubos de cimento-amianto, para pressão, "Brazilit" (com juntas do tipo "ponta e bolsa") com as seguintes classes:

Classe 4:

Pressão de serviço : 4 Kg/cm²
 Pressão de ensaio : 12 "

Classe 7:

Pressão de serviço : 7 Kg/cm²
 Pressão de ensaio : 17 "

Tubos de cimento-amianto, para pressão, "Civi-

lit" (com juntas do tipo "Simplex") com as seguintes classes: Classe 10, Classe 15, Classe 20 e Classe 30, com pressões de ensaio, respectivamente, de 10, 15, 20 e 30 Kg/cm². As pressões de ruptura, nos tubos "Civilit", são no mínimo iguais ao dobro da pressão de ensaio que determina a classe.

4 — Dimensionamento das adutoras por gravidade, em conduto forçado — Formalmente, o cálculo é idêntico ao das adutoras em conduto livre. Neste caso, porém, a forma de secção geralmente adotada é a circular, e a equação de resistência ao escoamento geralmente empregada é a de Hazen-Williams.

E a grandeza I, declividade do conduto livre, é substituída pela grandeza J, perda de carga unitária no conduto forçado.

Fórmula de Hazen-Williams:

$$V = 0,355 \cdot C \cdot D^{0,63} \cdot J^{0,54}$$

sendo: V = velocidade média, em m/seg;

D = diâmetro, em m;

J = perda de carga unitária, em m/m;

C = coeficiente sem dimensão, dependente da natureza das paredes da canalização (dados experimentais fornecidos pela Hidráulica).

Na prática, são usados ábacos ou tabelas para a aplicação dessa fórmula.

5 — Precauções especiais a serem consideradas.

a) Instalação de registros de parada, de distância em distância, e, especialmente, em depressões e elevações importantes, possibilitando reparos e inspeções rápidas na linha.

b) Instalação de ventosas para a expulsão do ar, em todos os pontos altos da canalização em que haja possibilidade do ar se acumular. Desde que esses pontos altos estejam situados abaixo da linha piezométrica. Do contrário, serão necessários dispositivos especiais.

c) Colocação de registros para descarga e limpeza da linha, nos pontos baixos dos trechos em depressão.

d) Instalação de válvulas de retenção nos pontos em que um acidente na adutora permitiria uma grande perda de água, devido ao refluxo desta. Por exemplo, na entrada de reservatórios de montante que sejam alimentados pelo fundo ou no sopé de extensas elevações.

5 — Adução por recalque

a) Características gerais — As linhas de recalque funcionam sempre como condutos forçados. Apresentam comportamento hidráulico muito semelhante ao das adutoras por gravidade em conduto forçado. Diferem pelo fato da energia para o escoamento lhes ser dada por um conjunto elevatório, e não diretamente pela atuação da força de gravidade sobre as partículas do líquido. O conjunto elevatório é acionado por uma fonte de energia externa.

b) Dimensionamento da adutora e do conjunto elevatório.

1 — São conhecidos:

a) a vazão Q;

b) a altura geométrica de recalque, h_g (V. Fig. VII. 2);

c) o comprimento da adutora.

2 — Devem ser determinados:

a) o diâmetro, D, da canalização;

b) a potência, N, do conjunto elevatório.

3 — O problema é hidráulicamente indeterminado — para cada material que se escolha para a tubulação, há uma infinidade de pares de valores (D, N) que satisfazem-no. De fato, fixado um D qualquer, é sempre possível calcular um N que promova o escoamento da vazão Q à altura h_g , na distância considerada.

4 — Levanta-se a indeterminação introduzindo-se a condição de que o par (D, N) a ser adotado conduza ao custo mínimo do sistema.

a) Sob a condição acima e mais uma série de hipóteses simplificadoras, deduz-se matematicamente a seguinte expressão, conhecida como Fórmula de Bresse (Ref. VV. 9):

$$D = k \sqrt{Q}$$

onde D é expresso em metros, Q em metros cúbicos por segundo e k é um coeficiente que tem a dimensão de uma velocidade elevada à potência $-1/2$.

O valor de k depende do peso específico da água, do regime de trabalho e do rendimento do conjunto elevatório, da natureza do material da tubulação e dos preços unitários vigentes — preços da unidade de potência do conjunto elevatório e preço da unidade de comprimento do tubo de diâmetro unitário.

Da fórmula de Bresse pode-se deduzir uma expressão para a velocidade econômica na tubulação de recalque:

$$V = \frac{4}{k^2 \cdot \pi}$$

Para as condições atuais, a velocidade econômica varia entre 0,5 m/seg e 2,5 m/seg., dependendo do valor relativo entre o custo da energia motora para o recalque e o custo de construção e instalação do sistema, e o seu valor médio (0,76 m/seg) corresponde a $k = 1,3$ (m/seg)^{-1/2}.

A fórmula de Bresse pode ser usada somente em pré-dimensionamento, para dar a ordem de grandeza do diâmetro a ser adotado. Com este valor de partida, pesquisa-se, por tentativa, uma dimensão que mais se aproxima da solução de máxima economia desejada.

b) A solução de mínimo custo também pode ser obtida por um processo gráfico. Para isso, adotam-se em âbcissas, os diâmetros da tubulação e, em ordenadas, os custos anuais (V. Fig. VII. 3). Traçam-se as seguintes duas curvas:

Curva 1 — curva do custo anual (juros e amortização) do metro de tubulação assente, para os sucessivos diâmetros;

Curva 2 — curva do custo anual de bombeamento (inclusive juros e amortização da instalação), dispen-

dido com o equipamento e pessoal correspondentes aos sucessivos diâmetros.

Em seguida, traça-se uma terceira curva cujas ordenadas são a soma das ordenadas das duas primeiras curvas:

Curva 3 — curva do custo total anual, para os sucessivos diâmetros. Ao ponto **M** — ponto de mínimo da curva 3 — corresponde o diâmetro **X**, no eixo das abcissas. E este é o valor procurado.

5 — Cálculo da potência **N** do conjunto elevatório. Sendo conhecida a vazão **Q** e tendo sido determinado o diâmetro **D**, calcula-se a perda de carga total, h_p , no sistema de recalque:

$$h_p = h_s + h_l + h_r$$

sendo h_s , h_l , e h_r , respectivamente, as perdas de carga na canalização de sucção, na bomba e na canalização de recalque

A altura manométrica de recalque, **H**, será, portanto:

$$H = h_g + h_p$$

onde h_g representa a altura geométrica de recalque.

Resulta, para a potência do conjunto elevatório.

$$N = \frac{w \cdot Q \cdot H}{75 \cdot n}$$

onde: **N** = potência do conjunto elevatório, em cavalos-vapor;

w = peso específico da água, em Kg/m³;

Q = vazão de recalque, em m³/seg;

H = altura manométrica de recalque, em metro d'água;

n = rendimento do conjunto elevatório;

$$n = n_m \cdot n_b$$

n_m = rendimento do motor;

n_b = rendimento da bomba.

c) Precauções especiais a serem consideradas.

1 — Provisão de um conjunto elevatório de reserva.

2 — Instalação de uma válvula de retenção na saída da bomba, seguida de um registros do comporta.

3 — Incluem-se, ainda, tôdas aquelas precauções especiais já consideradas nas adutoras por gravidade, em conduto forçado.

TABELA VII.1 — Limites máximos aconselhados para a velocidade de escoamento nas adutoras (Ref. VII.4. Tab. 37)

Tipo de canalização	Máxima velocidade média (m/seg)
Tubulações:	
Aço e ferro fundido	3,60 — 6,00
Concreto	3,00 — 4,50
Madeira	4,50
Túneis:	
Não revestidos	3,60
Revestidos com concreto	3,00 — 4,50
Revestidos com aço	3,60 — 6,00
Secções especiais, com cobertura (secção ovóide, secção em ferradura etc):	
Revestidas com concreto	4,50
Revestidas com alvenaria de tijólos	5,40
Canais:	
Canais em terra, sem revestimento:	
Terra comum	0,75 — 0,90
Areia	0,30 — 0,60
Pedregulho ou argila compacta	1,50 — 1,80
Canais em rocha	2,40 — 4,50
Canais revestidos com concreto	3,00 — 4,50

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1 — Armco International Corporation — Manual de Hidrotécnica. Rio de Janeiro, Armco Industrial e Comercial S.A., 1943.
- 2 — Associação Brasileira de Normas Técnicas — Normas Brasileiras, São Paulo, A.B.N.T., 1953.
- 3 — AZEVEDO NETTO, J. M. — Hidráulica. São Paulo, Departamento de Publicações do Centro Acadêmico Horácio Lane, 1953.
- 4 — BABBITT, H. E. & DOLAND, J. J. — Water Supply Engineering. 3.º ed. New York, McGraw-Hill Book Co., 1939.
- 5 — DAVIS, C. V. — Handbook of Applied Hydraulics. 2.º ed. New York, Mc-Graw-Hill Book Co., 1953.
- 6 — KING, H. W. — Handbook of Hydraulics; for the Solution of Hydraulic Problems. 3.º ed. New York, McGraw-Hill Book Co., 1939.
- 7 — TURNEAURE, F. E. & RUSSELL, H. L. — Public Water Supplies. 4.º ed. New York, John Wiley & Sons, 1940.
- 8 — United States. Department of the Interior. Bureau of Reclamation — Hydraulic and Excavation Tables. 9.º ed. Washington. D.C., U.S. Government Printing Office, 1946.
- 9 — Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Hidráulica — Apostila do Curso de Hidráulica. São Paulo, 1947-1953.

EXERCÍCIO

Parte A — O abastecimento de água da cidade A (Vide Exercício IV.1) terá como manancial um rio, no qual se fará a captação a cerca de 2 Km da cidade. Da captação a água se escoará por gravidade, através de um canal de alvenaria de tijolos com revestimento,

até a um poço de tomada das bombas de uma estação elevatória. O canal terá secção retangular, com uma largura de 0,50 m, e a sua extensão será de 80 m.

Quer-se determinar a declividade do mesmo, a fim de que, no fim do plano previsto para o projeto, se tenha o escoamento com uma velocidade média de 0,60 m/seg. Sabe-se que, no fim do plano, o período diário de funcionamento da adutora, em consonância com o da estação de tratamento, será de 16 h/dia.

Parte B — Do poço de tomada, a água será recalcada por uma adutora de 1.500 m de comprimento, a uma estação de tratamento (Vide Fig II.I). Esta ficará situada a uma cota 50 m acima do nível d'água do poço de tomada. A linha de recalque será construída em ferro fundido. O conjunto elevatório será constituído de dois grupos motor elétrico-bomba centrífuga (um de reserva) e deverá ser dimensionado para funcionar 16 h/dia, no fim do plano.

Calcular:

1 — o diâmetro que deverá ter a adutora, para que o custo seja mínimo, segundo a Fórmula de Bresse (adotando-se o valor médio do coeficiente k);

2 — a correspondente potência que deverá ter o motor elétrico.

Parte C — Junto à estação de tratamento será construído um reservatório de distribuição enterrado, com a finalidade de servir de volante às variações horárias do consumo. A água, após o tratamento, entrará para o reservatório e daí será conduzida por gravidade à rede de distribuição, por meio de uma adutora em conduto forçado (Vide Fig. II.I). Esta será em ferro fundido e terá um comprimento de 500 m.

Calcular o diâmetro que deverá ter a tubulação, de modo que o desnível da linha piezométrica entre as extremidades da adutora, isto é, entre o reservatório e o início da rede de distribuição não seja maior que 6,00 m.

Verificar qual será a velocidade máxima que terá a água na tubulação.