Sub-Adutora ligando dois Reservatórios e servindo em marcha diversas linhas de uma Rêde de Abastecimento Público de Água

ENG. MARCELO FRANCISCO DE LIMA

do Departamento de Águas e Esgotos

Na qualidade de engenheiro a serviço da antiga "Repartição de Águas e Esgôtos de São Paulo", atual "Departamento de Águas e Esgôtos", tivemos a oportunidade de estudar o funcionamento de uma sub-adutora a ser construída entre os reservatórios de Vila América e da Lapa, abastecida por gravidade, a partir de Vila América. Essa sub-adutora foi prevista no "Plano Geral de Abastecimento de Água da Capital" elaborada pelo antigo diretor da RAE, Eng. Plínio Penteado Whitaker — vêr separata da revista "Engenharia" n.º 50, vol. 5, publicada em S. Paulo —, o qual prevê nessa sub-adutora, diversas derivações servindo em marcha a rêde de abastecimento público e prevê ainda a redução do número dessas derivações.

O problema principal consistia na determinação das vazões na extremidade da Lapa, nos três períodos diários de consumo — consumo médio, inferior ao médio e superior ao médio e portanto da vazão total diária a prevêr na Lapa; partindo de um diâmetro dado, dadas as vazões nas diversas derivações, os locais das derivações, as cotas de nível dágua a considerar nos reservatórios de Vila América e da Lapa e os locais dêsses reservatórios.

As vazões nas derivações e os locais das derivações a partir de Vila América, para o caso particular de admitir-se cinco derivações e o período, digamos, de consumo superior ao médio, são dados no quadro que segue:

Número do trecho a partir de Vila América e terminando na Lapa	Comprimento do Trecho	Vazão no período de consumo superior ao médio na Derivação a jusante de cada trecho
1.º	497 m	708 l/s
2.º	778	122
3.º	898	226
4.º	688	147
5.º	226	389
6.º	3920	Q_6
Soma	7007	$1592 + Q_6$

OBSERVAÇÕES:

1) * Q_6 é a vazão na Lapa, a ser determinada.

2) Os coeficientes que dão as vasões em cada um dos três períodos em função do consumo anual médio, são:

1.10 — para os períodos de 6 h a 9 h e 14 h a 24 h
1.60 — para o período de 9 h a 14 h
0.69 — para o período de 0 h a 6 h

3) O nível dágua no reservatório de Vila América foi tomado na cota 806,30 m e no da Lapa, na cota 776.0 m, portanto uma diferença de 30.3 m.

4) *Diâmetro do tubo* = 1,0 m.

DETERMINAÇÃO DA VAZÃO NA LAPA

Chamando:

Q_1; Q_2; Q_3; Q_4; Q_5; Q_6; as vasões que percorrem cada um dos trechos, em m^3/s.

l_1; l_2; l_3; l_4; l_5; l_6; as extensões dos trechos a partir de Vila América, em metros.

K_1; K_2; K_3; K_4; K_5; K_6; as vasões nas derivações, em m^3/s.

H_1; H_2; H_3; H_4; H_5; H_6; as perdas de carga em cada um dos trechos l_1; l_2; l_3; l_4; l_5; l_6; em metros.

H = a perda de carga total = $H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6$.

J = a perda de carga em m/m de tubulação.

Q = símbolo geral de vazão em m^3/s.

α = coeficeinte de atrito — valor experimental variável com a rugosidade, diâmetro e velocidade.

Admitindo-se que:

1) α seja constante para a mesma velocidade e o mesmo diâmetro, para o caso das velocidades usuais.

2) $J = \alpha Q^2$ seja a expressão geral relacionando essas quantidades.

E ainda:

Chamando:

$$K'_1 = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + (K_6 = 0)$$
$$K'_2 = K'_1 - K_1$$
$$K'_3 = K'_2 - K_2$$
$$K'_4 = K'_3 - K_4$$
$$K'_5 = K'_4 - K_5$$
$$K'_6 = K'_5 - K_6$$

Teremos:

$$Q_1 = Q_6 + K'_1 ; \quad Q_2 = Q_6 + Q'_2 ; \quad K'_2 ; \quad Q_3 = Q_6 + K'_3 ; \text{ etc.}$$

Mas:

$H_1 = J\, l_1$; $H_2 = J\, l_2$; $H_3 = J\, l_3$; etc e substituindo J por seu valor αQ^2,

Teremos:

$$H_1 = \alpha (Q_6 + K'_1)^2\, l_1 ; \quad H_2 = \alpha (Q_6 + K'_2)^2\, l_2 ; \text{ etc}$$

Donde:

A Equação (1); $H = H_1 + H_2 + H_3 - \text{etc} = \alpha\,[(Q_6 + K'_1)^2\, l_1 + (Q_6 + K'_2)^2\, l_2 + (Q_6 + K'_3)^2\, l_3 + (Q_6 + K'_4)^2\, l_4 + (Q_6 + K'_5)^2\, l_5 + (Q_6 + K'_6)^2\, l_6]$

Notando na equação precedente:

1) Que: — os valores de K'_1 ; K'_2 ; K'_3 ; etc. são determinados pelas vazões dadas no quadro anterior para cada uma das derivações.

2) Que: — Os valores de l_1 ; l_2 ; l_3 ; etc. são dados no quadro.

3) O valor de $H = H_1 + H_2 + H_3$ etc. é a diferença de nível dágua nos dois reservatórios, dada na "Observação" n.º 3 e igual a 30.3 m.

Conclue-se que:

A única incógnita é o valor de Q_6, isto é a descarga da Lapa, dada pela solução da referida equação (1).

EXEMPLO

Damos a seguir a solução para o caso do período de consumo superior ao médio, com os dados já declarados no quadro e na observação (3).

Vazões médias de estiagem nas derivações nas horas de consumo superior ao médio — 9 h a 14 h

$$\frac{H_1}{\alpha} = (Q_6 + K'_1)^2\, l_1 = l_1\,(Q_6 + 1.592)^2 = 497\, Q^2_6 + 1580\, Q_6 + 1260$$

$$\frac{H_2}{\alpha} = (Q_6 + K'_2)^2\, l_2 = l_2\,(Q_6 + 0.884)^2 = 778\, Q^2_6 + 1380\, Q_6 + 602$$

$$\frac{H_3}{\alpha} = (Q_6 + K'_3)^2\, l_3 = l_3\,(Q_6 + 0.762)^2 = 898\, Q^2_6 + 1370\, Q_6 + 522$$

$$\frac{H_4}{\alpha} = (Q_6 + K'_4)^2\, l_4 = l_4\,(Q_6 + 0.536)^2 = 688\, Q^2_6 + 739\, Q_6 + 199$$

$$\frac{H_5}{\alpha} = (Q_6 + K'_5)^2\, l_5 = l_5\,(Q_6 + 0.389)^2 = 226\, Q^2_6 + 176\, Q_6 + 34$$

$$\frac{H_6}{\alpha} = (Q_6 + 0)^2\quad l_6 = l_6 = \ldots\ldots\ldots\ldots = 3920\, Q^2_6 + 0 + 0$$

$$\frac{H}{\alpha} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 7007\, Q^2_6 + 5245\, Q_6 + 2617$$

$$\frac{30.3}{0.0025 \times 7007} = 1.73 = Q^2_6 + 0.74\, Q_6 + 0.37$$

$$Q^2_6 + 0.74\, Q_6 + (0.37)^2 = 1.73 - 0.37 + (0.37)^2 = 1.73 - 0.37 + 0.137$$

$$Q_6 + 0.37 = (1.50)^{1/2} = 1.22$$

$$Q_6 = 0.85\ \mathrm{m^3/s} = \text{Descarga na Lapa}$$

$H = Q^2 l$	H — Calculados	H — Valores Ajustados
$H6 = 3920 \times 0.0025 \times (0.85)^2 =$	7.1 m	7.0 m
$H5 = 226 \times 0.0025 \times (0.85)^2 =$	0.9	0.9
$H4 = 688 \times 0.0025 \times (1.39)^2 =$	3.3	3.3
$H3 = 898 \times 0.0025 \times (1.62)^2 =$	5.9	5.9
$H2 = 778 \times 0.0025 \times (1.74)^2 =$	5.9	5.9
$H1 = 497 \times 0.0025 \times (2.44)^2 =$	7.4	7.3
H = ...	30.5 m ≅	30.3

Cotas Piezométricas

1 — Reservatório de Vila América	—	= 806.3 m
2 — Rua J. M. Lisbôa	806.3 — 7.3 —	= 799.0 m
3 — Rua Bela Cintra	799.0 — 5.9	= 793.1 m
4 — Rua G. Monteiro	793.1 — 5.9	= 787.2 m
5 — Rua T. Sampaio	787.2 — 3.3	= 783.9 m
6 — Rua Arco Verde	738.8 — 0.9	= 783.0 m
7 — Reservatório Lapa	783.0 — 7.0	= 776.0 m

Pelo mesmo processo são determinadas as vasões aos outros dois períodos e portanto a vazão total diária a prevêr na Lapa.

O VALOR DO COEFICIENTE DE ATRITO

Na solução do caso concreto que acabamos de indicar, foi empregado um coeficiente de atrito "α" na expressão $J = \alpha Q^2$, que corresponde à vazão dada pela fórmula de Levy para tubos em uso:

$$v = 20.5 \sqrt{r\left(1 + 3\sqrt{r}\right)} \times J^{1/2};$$

coeficiente êsse representado por $\alpha = 0.0025$, para tubos de 1,0 m de diâmetro.

Entretanto, sendo êsse coeficiente um valor médio; em estudo subsequente admitimos que êsse valor de $\alpha = 0.0025$ pudesse ser acrescido de forma a admitir uma folga de 28% sôbre as vasões exigidas, prevendo assim o valor mais desfavorável a esperar. Em consequência, a fórmula de Levy passa a ter um coeficiente de 16.0 em vez de 20.5 e o valor de α passa de 0.0025 a 1.64×0.0025; pois:

$$V = 20.5 \sqrt{r\left(1 + 3\sqrt{3}\right)} \times J^{1/2}$$

$$V_1 = \frac{V}{1.28} = \chi \sqrt{r\left(1 + 3\sqrt{3}\right)} \times J^{1/2}$$

$$\frac{V}{V_1} = 1.28 = \frac{20.5}{\chi}; \quad \chi = 16.0$$

$$\text{Mas } \frac{J = \alpha Q^2}{J = \alpha_1 Q_1^2} \text{ e } \frac{\alpha}{\alpha_1} = \frac{Q^2}{Q_1^2} = \frac{V^2}{V_1^2} = \frac{(20.5)^2}{16.4}$$

$$\alpha = 1.64\, \alpha_1$$

Com êsses dois valores de α; investigamos a seguir as condições de funcionamento da sub-adutora com suas cinco derivações e também considerando a eliminação parcial e total dessas derivações, determinando a população que poderia ser atendida pelo reservatório da Lapa em cada caso.