Cálculo de Condutos Equivalentes

ENG. HAROLDO JEZLER
Assistente da Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo

1. INTRODUÇÃO

No cálculo de redes hidráulicas, muitas vêzes confronta-se, o projetista, com o problema de determinar a perda de carga através de um conjunto de tubulações, ligadas em série ou em paralelo, com diâmetros, comprimentos e coeficientes de rugosidade vários. Nessas condições, uma solução frequentemente bastante cômoda é a de se substituir o sistema complexo de tubulações por outro mais simples ou mesmo por um único conduto dito equivalente, sob o ponto de vista do cálculo das perdas de carga.

O problema já tem sido abordado e resolvido, não apresententando nenhuma dificuldade teórica especial. A aplicação das fórmulas obtidas, no entanto, é de certo modo laboriosa, principalmente na rotina de cálculo em um escritório de projetos. A análise seguinte não apresenta, assim, nenhuma contribuição de caráter fundamental, porém, apenas de caráter prático, estabelecendo fórmulas e tabelas que permitem a rápida transformação de um sistema complexo de tubulações em um conduto equivalente de diâmetro pré-determinado.

2. GENERALIDADES

a) **Definição:** Duas tubulações, ou dois sistemas de tubulações são ditos equivalentes quando podem transportar a mesma vasão de um mesmo líquido, com a mesma perda de carga total, entre suas extremidades.

b) Na definição acima e em tôdas as considerações subsequentes, as únicas perdas de carga consideradas são as devidas ao atrito ao longo das tubulações, não sendo consideradas perdas menores devidas a contrações, alargamentos, entradas, saídas, etc.

c) **Notação:**

C — coeficiente de rugosidade (Hazen-Williams)

D — diâmetro

H — perda de carga total

J — perda de carga unitária

K, k — constantes

L — comprimento

Q — vazão

V — velocidade

d) As perdas de carga por atrito serão sempre calculadas pela fórmula de Hazen-Wililams segundo as expressões seguintes:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$J = K_1 \frac{V^{1.85}}{D^{1.17}}$$

ou

$$J = K_2 \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} \times D^{4.87}}$$

$$H = JL$$

e) O problema do cálculo de um conduto equivalente a um sistema será aqui, sempre resolvido impondo-se um diâmetro ao conduto equivalente e calculando-se o seu comprimento fictício.

3. TUBULAÇÕES SIMPLES

a) As variáveis que intervêm no cálculo de uma tubulação simples, são: L, D, C, Q e H, conforme a notação já exposta.

b) A comparação entre duas tubulações simples equivalentes, leva sempre a um dos dois casos seguintes:

(1) tubulações de mesmo diâmetro e de coeficientes de rugosidade diferentes: nesse caso

$$\frac{L_1}{L_2} = \left[\frac{C_1}{C_2}\right]^{1.85} \qquad 3.b.(1)$$

(2) tubulações com mesmo coeficiente de rugosidade, porém com diâmetros diferentes: nesse caso

$$\frac{L_1}{L_2} = \left[\frac{D_1}{D_2}\right]^{4.78} \qquad 3.b.(2)$$

em qualquer dos casos a solução do problema sendo bastante facilitada pelo uso de uma régua de cálculo tipo log-log; ou pelas Tabelas I e II.

4. SISTEMAS EM SÉRIE

a) Caracterizam-se por uma linha única constituída por vários trechos de tubulações com diâmetros ou coeficientes de rugosidade diferentes.

b) O problema de calcular o comprimento L de um conduto de diâmetro D equivalente ao sistema pode ser resolvido segundo os passos seguintes:

(1) converte-se cada trecho de tubulação ao mesmo coeficiente de rugosidade, pela equação 3.b.(1) ou pela Tabela I;

(2) converte-se cada trecho de tubulação ao mesmo diâmetro D, pela equação 3.b.(2) ou pela Tabela II;

(3) adiciona-se todos os comprimentos equivalentes.

c) desejando-se calcular o diâmetro D de um conduto de comprimento L conhecido pode-se proceder exatamente como acima, inicialmente fixando-se um valor qualquer D_i para o diâmetro e calculando-se o comprimento correspondente, L_i, em seguida conhecidos D_i e L_i pode-se converter a um comprimento préfixado L calculando-se D pela equação 3.b.(2).

5. SISTEMAS EM PARALELO

a) Caracterizam-se por um conjunto de linhas ligando dois pontos determinados.

b) A perda de carga através qualquer linha é sempre a mesma e igual a H.

c) Admitiremos tôdas as linhas constituidas por tubulações de mesmo C e mesmo D. caso não o sejam, a conversão do sistema existente a esta hipótese poderá ser feita fàcilmente com a utilização das equações 3.b. (1) e (2) ou Tabelas I e II.

d) As equações disponíveis para a solução do problema seriam então:

$$H = J_i L_i = K \cdot \frac{Q^{1.85}}{C_i^{1.85} D_i^{4.87}} - L_i = \frac{K}{C^{1.85} D^{4.87}} Q_i^{1.85} L_i$$

donde se conclui que $Q_i^{1.85} L_i$ é igual a uma constante que chamaremos k ou ainda $Q_i L_i^{1/1.85} = Q_i L_i^{0.54} = k^{0.54}$ a vasão total Q será igual a

$$Q = \Sigma Q_i = k^{0,54} \Sigma \left(\frac{1}{L_i}\right)^{0.54} \qquad |5.d|$$

e) O conduto equivalente ao sistema deverá transportar uma vasão igual a Q e ter um comprimento L tal que

$$L = \frac{k}{Q^{1.85}} \qquad |5.e|$$

f) Da comparação das equações |5.d| e |5.e| tem-se

$$L = \frac{1}{\left[\Sigma \left(\frac{1}{L_i}\right)^{0.54}\right]^{1.85}} \qquad |5.f|$$

a equação podendo ser fàcilmente resolvida com o auxílio de uma régua log-log.

6. SISTEMAS EM PARALELO COM 2 LINHAS APENAS

a) Trata-se de um caso particular importante dos sistemas em paralelo quando se tem apenas duas linhas de comprimento L_1 e L_2, transportando respectivamente as vasões Q_1 e Q_2. Os coeficientes de rugosidade e os diâmetros também aqui são supostos serem iguais para as duas linhas.

b) Nesse caso tem-se a expressão para o comprimento equivalente

$$L = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{L_1}\right)^{0.54} + \left(\frac{1}{L_2}\right)^{0.54}\right]^{1.85}}$$

que devidamente transformada fornece

$$L = \frac{L_1}{\left[1 + \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{0.54}\right]^{1.85}}$$

ou

$$L = a \cdot L_1$$

onde

$$a = \left[1 + \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{0.54}\right]^{-1.85} \qquad |6.b|$$

Convencionando-se ser $L_1 \leqslant L_2$ pode-se fàcilmente tabelar o valor de a quando $\frac{L_1}{L_2}$ varia de 0 a 1, o que é feito na Tabela III.

c) Deve-se notar que a solução do caso particular considerado, com o auxílio da Tabela III permite a solução geral do problema de linhas paralelas que seriam então resolvidas duas a duas até sua redução a uma única linha equivalente.

7. RESUMO

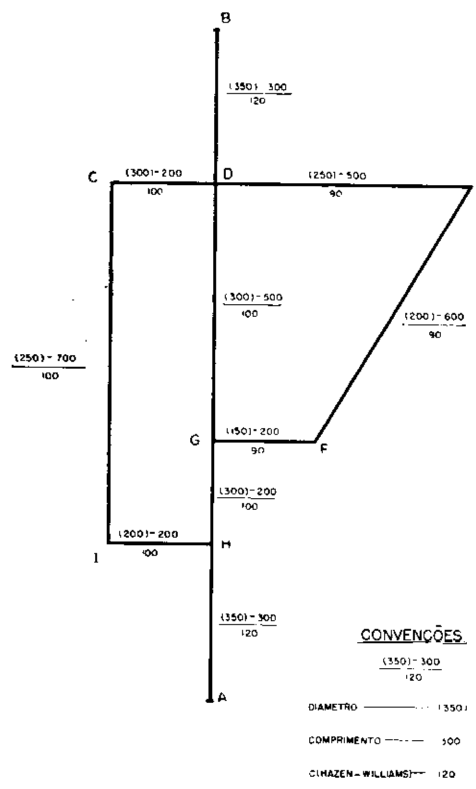
a) O caso mais geral de um sistema de tubulações constituído por linhas diversas contendo diâmetros e coeficientes de rugosidade vários, interligando dois pontos, pode ser resolvido calculando-se o comprimento L de um conduto de diâmetro D, equivalente ao sistema, mediante os passos seguintes:

a. converte-se cada linha constituída por trechos sucessivos diversos ao mesmo diâmetro D e ao mesmo coeficiente C, conforme as equações | 3.b.(1) e (2) | ou Tabelas I e II.

b. converte-se cada par de linhas a um mesmo diâmetro equivalente, seguindo a solução particular expressa pela equação | 6.b | ou Tabela III.

8. EXEMPLO

Dado o sistema complexo de tubulações indicado no esquema, determinar o comprimento de uma tubulação de diâmetro D = 300 mm (12″), coeficiente de rugosidade C = 100, equivalente ao sistema



O problema foi resolvido utilizando-se os valores das Tabelas I, II e III sendo os cálculos dispostos no Quadro I.

QUADRO I — EXEMPLO

Trecho	D	C	L	Conversão		Le	L_1/L_2	a	L
	(mm)	—	(m)	p/D	p/C	(m)	—	—	(m)
DE	250	90	500	2,43	1,22	1480			
EF	200	90	600	7,21	1,22	5300			
FG	150	90	200	29,3	1,22	7100			
G-F-E-D	300	100				13880			
GD	300	100	500	1,0	1,0	500	0,035	0,756	380
(GD) eq	300	100	380			380			
GH	300	100	200	1,0	1,0	200			
(HGD) eq	300	100	580			580			
CD	300	100	200	1,0	1,0	200			
IC	250	100	700	2,43	1,0	1700			
HI	200	100	200	7,21	1,0	1440			
H-I-C-D	300	100				3340			
H-G-D	300	100				580	0,174	0,543	317
(HD) eq	300	100	317	1,0	1,0	317			
HA	350	120	300	1/2,12	0,71	101			
DB	350	120	300	1/2,12	0,71	101			
(AB) eq	300	100				519			

Solução: conduto equúivalente ao sistema, com diâmetro D = 300 mm, C = 100 e comprimento L = **519 m**

Tabela I

Comprimentos equivalentes de tubulações com mesmo diâmetro e ceoficientes de rugosidade diferentes.

$$\text{Equação } \frac{L_1}{L_2} = \left[\frac{C_1}{C_2}\right]^{1,85};$$

para $C_1 = 100$ tem-se

$$L_{100} = L_C \left[\frac{100}{C}\right]^{1,85}$$

ou

$$L_C = L_{100} \left[\frac{C}{100}\right]^{1,85}$$

C	$(C/100)^{1,85}$	$(100/C)^{1,85}$
140	1,86	0,54
130	1,62	0,62
125	1,51	0,66
120	1,40	0,71
110	1,27	0,79
100	1,00	1,00
90	0,82	1,22
80	0,66	1,52
70	0,52	1,93
60	0,39	2,56
50	0,28	3,60

Exemplo: Calcular o comprimento de uma tubulação de diâmetro qualquer e coeficiente de rugosidade C = 100 equivalente a uma tubulação de mesmo diâmetro, comprimento 1000 metros e coeficiente C = 90.

Solução: Multiplica-se o comprimento 1000 pelo fator 1,22, resultando 1220 metros.

Tabela II

Comprimento equivalente de tubulações com mesmo coeficiente C e diâmetros diferentes.

$$\text{Equação:}\ \frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{4,87}$$

Equivalente D_2 (mm)	D_1 — Diâmetro existente (mm)												
	50	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500
50	1	7,21	29,3	87,5	210	450	850						
75		1	4.05	12.0	29.3	62.0	120	350	850				
100			1	2,96	7,21	15.3	29,3	87,5	210	450	850		
125				1	2.43	5,15	9,90	29,3	71,0	151	290	520	850
150					1	2,12	4,06	12,1	29,3	62,0	120	210	350
175						1	1,91	5,70	13,8	29,3	56,0	116	166
200							1	2,96	7,21	15,3	29,3	50,2	87,5
250								1	2,43	5,16	9,89	17,5	29,3
300									1	2,12	4,06	7,21	12,1
350										1	1,91	3,41	5,70
400											1	1,78	2,96
450												1	1,67
500													1

Nota: Para conversão de diâmetros maiores em equivalentes de diâmetro menor, use o inverso dos fatôres acima.

Exemplo: Converter uma extensão de 1000 metros de tubulação de 250 mm em extensão equivalente de tubulação de 150 mm com igual coeficiente de rugosidade.

Solução: Comprimento equivalente de 150 mm igual a 1000 × (1/12,1) = 82,5 m.

Tabela III

Sistema de 2 linhas Paralelas com mesmo diâmetro e mesmo coeficiente de rugosidade.

Equação: L comprimento equivalente com diâmetro D da menor linha.

L_1 e L_2 comprimentos das linhas paralelas.

$L_1 \leq L_2$

$$L = \frac{L_1}{\left[1 + \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{0,54}\right]^{1,85}} = a\ L_1$$

L_1/L_2	a	Δ	L_1/L_2	a	Δ
0,00	1,000	—	0,24	0,495	0,007
0,01	0,863	0,137	0,25	0,488	0,007
0,02	0,810	0,053	0,26	0,482	0,006
0,03	0,771	0,039	0,27	0,476	0,006
0,04	0,741	0,030	0,28	0,470	0,006
0,05	0,715	0,026	0,29	0,465	0,005
0,06	0,694	0,021	0,30	0,460	0,005
0,07	0,674	0,020	0,35	0,435	0,025
0,08	0,656	0,018	0,40	0,415	0,020
0,09	0,641	0,015	0,45	0,396	0,019
0,10	0,626	0,015	0,50	0,380	0,016
0,11	0,612	0,014	0,55	0,365	0,015
0,12	0,599	0,013	0,60	0,352	0,013
0,13	0,587	0,012	0,65	0,340	0,012
0,14	0,576	0,011	0,70	0,328	0,012
0,15	0,566	0,010	0,75	0,318	0,010
0,16	0,557	0,009	0,80	0,309	0,009
0,17	0,548	0,009	0,85	0,300	0,009
0,18	0,540	0,008	0,90	0,292	0,008
0,19	0,532	0,008	0,95	0,284	0,008
0,20	0,524	0,008	1,00	0,277	0,007
0,21	0,516	0,008	—	—	—
0,22	0,509	0,007	—	—	—
0,23	0,502	0,007	—	—	—