

# Perdas de Carga Localizadas, em Canalizações

**JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO**

Professor da Universidade Mackenzie – Engenheiro da Repartiçã  
de Águas e Esgotos de São Paulo.

## INTRODUÇÃO

Nas canalizações qualquer causa perturbadora, qualquer elemento ou dispositivo que venha estabelecer ou elevar a turbulência é responsável por uma “perda” de energia.

Em consequência de turbilhonamentos parte da energia mecânica disponível se converte em calor e se dissipa sob essa forma, resultando uma **perda de carga**.

Na prática as canalizações não são constituídas exclusivamente de tubos retilíneos e de mesmo diâmetro. Elas usualmente incluem ainda peças especiais e conexões que pela forma e disposição elevam a turbulência, provocam atritos e causam o choque de partículas, dando origem a perdas de carga. Além disso apresentam-se nas canalizações outras singularidades, como válvulas, registros, medidores, etc., também responsáveis por perdas desta natureza.

São estas perdas denominadas “locais”, “localizadas” “acidentais” ou “singulares”, pelo fato de decorrerem especificamente de pontos ou partes bem determinadas, da tubulação, ao contrário do que acontece com as perdas em consequência do escoamento ao longo dos encanamentos.

## PERDA DE CARGA DEVIDA AO ALARGAMENTO BRUSCO DE SECÇÃO

É clássica a dedução da expressão relativa à perda de carga devida ao alargamento brusco, partindo-se do teorema de Bernoulli e considerando-se o impulso das forças que atuam nas secções e a variação da quantidade de movimento:

A figura 1 mostra esquematicamente um alargamento brusco de secção:

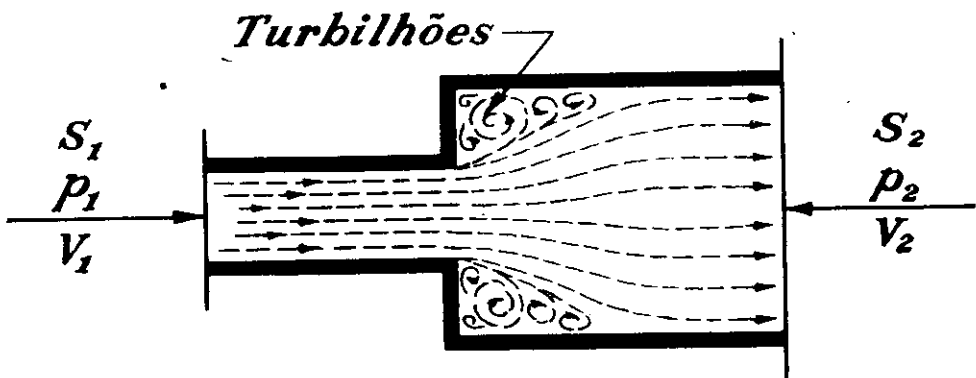


Fig. 1

A velocidade  $V_1$  na secção menor será bem maior que a velocidade  $V_2$ , havendo portanto partículas fluidas mais velozes (animadas da velocidade  $V_1$ )

que se chocam com partículas mais lentas de velocidade  $V_2$ . Na parte inicial da secção alargada forma-se um "anel" de turbilhões.

Considerando-se essas secções e aplicando-se o Teorema de Bernoulli:

$$\frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} + z = \frac{p_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + z + h_f$$

expressão de onde se obtém a perda de carga  $h_f$

$$h_f = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - \left( \frac{p_2}{w} - \frac{p_1}{w} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Considerada a unidade de tempo a quantidade de fluido que escôa e  $Q$  (vazão). A resultante que atua da direita para a esquerda será:

$$(p_2 - p_1) S_2$$

e a variação da quantidade de movimento:

$$\frac{Qw}{g} (V_1 - V_2)$$

Igualando-se essas duas expressões (a variação da quantidade de movimento deve igualar o impulso das forças)

$$(p_2 - p_1) S_2 = \frac{Qw}{g} (V_1 - V_2)$$

$$(p_2 - p_1) S_2 = \frac{S_2 V_2 w}{g} (V_1 - V_2)$$

$$\frac{p_2}{w} - \frac{p_1}{w} = \frac{V_2}{g} (V_1 - V_2) \dots \dots \dots (2)$$

Substituindo-se este valor em (1):

$$h_f = \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_2 (V_1 - V_2)}{g}$$

$$h_f = \frac{V_1^2 - V_1 V_2 + V_2^2}{2g} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \dots \dots \dots (3)$$

expressão que entre nós é conhecida como o "Teorema de Borda-Bélanger", em homenagem a Borda que deduziu essa expressão (1766) e a Bélanger que retomou esses estudos e expôz a sua teoria (1840): "Em qualquer alargamento brusco de secção há uma perda de carga local medida pela altura cinética correspondente à perda de velocidade" (\*)

(\*) Essa expressão leva a resultados ligeiramente inferiores aos experimentais, razão pela qual Saint-Venant propoz um termo corretivo complementar, com base nos dados experimentais de Borda. Posteriormente Hanok, Archer e outros investigadores propuzêram correções mais lógicas e exatas, que não obstante nem sempre são consideradas na prática.

**EXPRESSÃO GERAL DAS PERDAS LOCALIZADAS**

Tomando-se o valor de  $V_2$  em função de  $V_1$  na expressão (3) encontra-se ainda:

$$V_2 = \frac{S_1}{S_2} V_1$$

$$h_f = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right) \frac{V_1^2}{2g}$$

Ou seja:

$$h_f = K \frac{V_1^2}{2g}$$

De um modo geral tôdas as perdas localizadas podem ser expressas sob a forma:

$$h_f = K \frac{V_2^2}{2g}$$

equação geral para a qual o coeficiente  $K$  pode ser obtido experimentalmente para cada caso.

Esse trabalho experimental vem sendo realizado há vários anos, por engenheiros interessados na questão, por fabricantes de conexões e válvulas e por laboratórios de hidráulica, merecendo especial menção as investigações de Giesecke, da Crane Company e do Laboratório de Hidráulica de Munich assim como as observações mais recentes da Marinha dos Estados Unidos.

Verificou-se que o valor de  $K$  é praticamente constante para valores do Número de Reynolds superiores a 50 000. Conclue-se, portanto, que para os fins de aplicação prática pode-se considerar constante o valor de  $K$  para determinada peça, desde que o escoamento seja turbulento, independentemente do diâmetro da tubulação e da velocidade e natureza do fluido.

O quadro I apresenta os valores aproximados de  $K$  para as peças e perdas mais comuns na prática. É um quadro elaborado com base nos dados disponíveis que reputamos mais seguros e fidedignos.

O quadro II inclui os valores já calculados de  $\frac{V^2}{2g}$ , podendo-se também obter êsses valores no diagrama I.

QUADRO I — Valores de K (Perdas Localizadas)

Peça e Perda	K
Ampliação gradual	0,30 *
Bocais	2,75
Comporta, aberta	2,50
Controlador de vazão	2,50
Cotovelo de 90°	0,90
Cotovelo de 45°	0,40
Crivo	0,75
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Curva de 22 1/2°	0,10
Entrada Normal em Canalização	0,50
Entrada de Borda	1,00
Existência de pequena derivação	0,03
Junção	1,00
Medidor Venturi	2,50 **
Redução gradual	0,15 *
Registro de ângulo, aberto	5,00
Registro de gaveta, aberto	0,20
Registro de globo, aberto	10,00
Saída de canalização	1,00
Tê, passagem direta	0,60
Tê, saída de lado	1,80
Tê, saída bilateral	1,80
Válvula de pé	1,75
Válvula de retenção	2,50
Velocidade	1,00

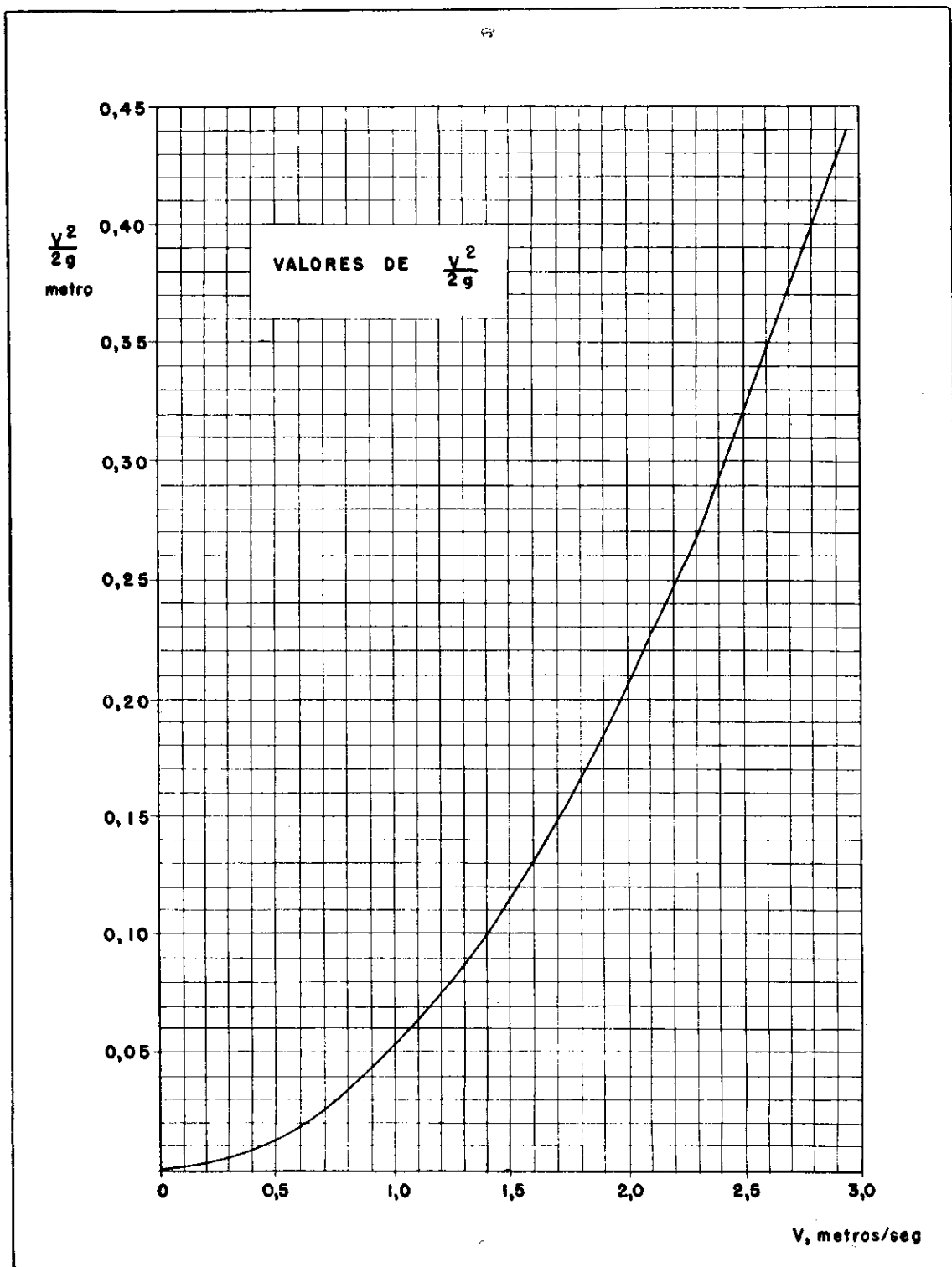
\* Com base na velocidade maior (secção menor).

\*\* Relativa à velocidade na canalização.

$V^2$   
QUADRO II — Valores de  $\frac{V^2}{2g}$  (metros)

$V$ $\frac{m}{s}$	$\frac{V^2}{2g}$	V	$\frac{V^2}{2g}$	V	$\frac{V^2}{2g}$
0,10	0,00051	1,10	0,0617	2,10	0,225
0,15	0,00115	1,15	0,0674	2,15	0,236
0,20	0,00204	1,20	0,0734	2,20	0,247
0,25	0,00319	1,25	0,0797	2,25	0,258
0,30	0,00459	1,30	0,0862	2,30	0,270
0,35	0,00624	1,35	0,0929	2,35	0,282
0,40	0,00816	1,40	0,0999	2,40	0,294
0,45	0,01032	1,45	0,1072	2,45	0,306
0,50	0,01274	1,50	0,1147	2,50	0,319
0,55	0,01542	1,55	0,1225	2,55	0,332
0,60	0,01835	1,60	0,1305	2,60	0,345
0,65	0,02154	1,65	0,1388	2,65	0,358
0,70	0,02498	1,70	0,1473	2,70	0,372
0,75	0,02867	1,75	0,1561	2,75	0,386
0,80	0,03262	1,80	0,1652	2,80	0,400
0,85	0,03683	1,85	0,1745	2,85	0,414
0,90	0,04129	1,90	0,1840	2,90	0,429
0,95	0,04600	1,95	0,1938	2,95	0,444
1,00	0,05097	2,00	0,2039	3,00	0,459
1,05	0,05620	2,05	0,2142	3,05	0,474

DIAGRAMA I



### PERDA DE CARGA NA ENTRADA DE UMA CANALIZAÇÃO

A perda de carga que se verifica na entrada de uma canalização (saída de reservatórios, tanques, caixas, etc.) dependerá bastante das condições que caracterizam o tipo da entrada.

A disposição mais comum e por isso mesmo denominada "normal" é aquela em que a canalização faz um ângulo de  $90^\circ$  com as paredes ou com o fundo dos reservatórios, constituindo uma aresta viva. Para essas condições o valor de  $K$  é bem determinado, podendo ser tomado igual a 0,5.

No caso de tubulação reentrante constituindo a entrada clássica de Borda (designação dada em homenagem ao grande hidráulico do século XVIII) as condições são desfavoráveis e  $K$  assume um valor igual a 1,0.

Se as entradas forem arredondadas o valor de  $K$  cairá sensivelmente igualando 0,05 sempre que fôr obedecida a forma de "sino".

A entrada arredondada ideal teria a forma de uma "tractrix" ( $K = 0,04$ ).

Na prática, sempre que as proporções da obra justificarem, poderão ser melhoradas as condições da entrada, instalando-se uma redução no início da tubulação.

### PERDA DE CARGA NA SAÍDA DAS CANALIZAÇÕES

Duas situações podem ocorrer no ponto de descarga das canalizações:

Se a descarga fôr feita ao ar livre haverá um jato na saída da canalização perdendo-se precisamente a energia de velocidade:  $K = 1$ .

Se a canalização entrar em um reservatório, caixa ou tanque haverá um alargamento de secção, caso em que a perda corresponderá a um valor de  $K$  compreendido entre 0,9 e 1,0.

### PERDA DE CARGA EM CURVAS

Um erro comum é a falsa concepção que muitos fazem, imaginando que **todos** os cotovelos ou curvas de raios mais curtos **sempre** causam perdas mais elevadas do que os de raio mais longo.

Na realidade existe um raio de curvatura e um desenvolvimento ótimos para cada curva:

#### QUADRO III

Curvas de  $90^\circ$

Relação R/D →	1	1½	2	4	6	8
Valores de K	0,48	0,36	0,27	0,21	0,27	0,36

Essa constatação é de grande importância não somente para projetos de canalizações como também para a indústria.

### PERDA DE CARGA EM REGISTROS

Os registros podem oferecer uma grande resistência ao escoamento. Mesmo quando totalmente abertos, haverá uma perda de carga sensível devido à sua própria construção.

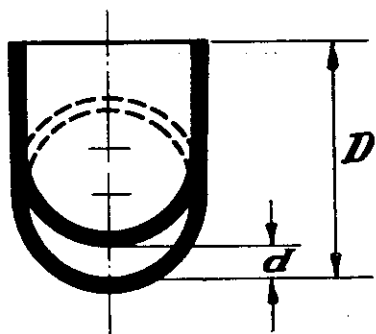


Fig. 2

Para os registros de gaveta totalmente abertos o valor de K pode variar desde 0,1 até 0,4 conforme as características de fabricação, 0,2 sendo um dado médio representativo.

As experiências de Weisbach levaram aos seguintes resultados relativos a registros de gaveta parcialmente abertos:

QUADRO IV

$d/D$	$\frac{s}{S}$ (*)	K
7/8	0,948	0,07
6/8	0,856	0,26
5/8	0,740	0,81
4/8	0,609	2,06
3/8	0,466	5,52
2/8	0,315	17,00
1/8	0,159	97,80

**PERDA DE CARGA EM VÁLVULA BORBOLETA**

As válvulas borboletas são de aplicação cada vez mais generalizada em obras hidráulicas.

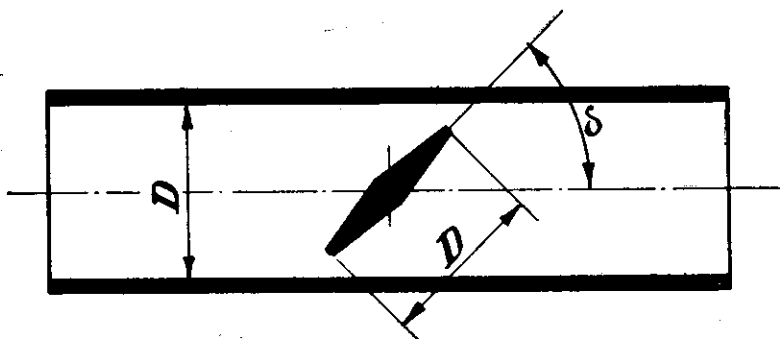


Fig. 3

O valor de K dependerá do ângulo  $\delta$ , de abertura, sendo aplicáveis os valores seguintes:

QUADRO V

$\delta$	$\frac{s}{S}$ (*)	K	$\delta$	$\frac{s}{S}$ (*)	K
5.º	0,913	0,24	40.º	0,357	10,8
10.º	0,826	0,52	45.º	0,293	18,7
15.º	0,741	0,90	50.º	0,234	32,6
20.º	0,658	1,54	55.º	0,181	58,8
25.º	0,577	2,51	60.º	0,134	118,0
30.º	0,500	3,91	65.º	0,094	256,0
35.º	0,426	6,22	70.º	0,060	750,0

(\*) s/S: é relação de áreas efetivas da abertura de passagem e da tubulação de secção circular.

### MÉTODO DOS COMPRIMENTOS VIRTUAIS

Um método relativamente recente para se levar em conta as perdas localizadas é o dos comprimentos virtuais de canalização.

Uma canalização que compreende diversas peças especiais e outras singularidades, sob o ponto de vista de perdas de carga equivale a um encanamento retilíneo de comprimento maior. É nesta simples idéia que se baseia um novo método para a consideração das perdas locais, método este de grande utilidade na prática.

Consiste êle em se adicionar à extensão da canalização para simples efeito de cálculo, comprimentos tais que correspondam à mesma perda de carga que causariam as peças especiais existentes na canalização. A cada peça especial corresponde um certo comprimento fictício e adicional. Levando-se em consideração tôdas as peças especiais e demais causas de perda chega-se a um **comprimento virtual de canalização**.

As perdas de carga ao longo das canalizações podem ser determinadas pela fórmula de Darcy Weisbach:

$$h_f' = \frac{f \cdot L \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

Para determinado encanamento L e D são constantes e como o coeficiente de atrito f não tem dimensões, a perda de carga será igual ao produto de um

número puro pela carga de velocidade  $\frac{V^2}{2g}$ :




















$$h_f' = m \cdot \frac{V^2}{2g}$$

De outro lado as perdas acidentais têm a seguinte expressão geral:

$$h_f = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

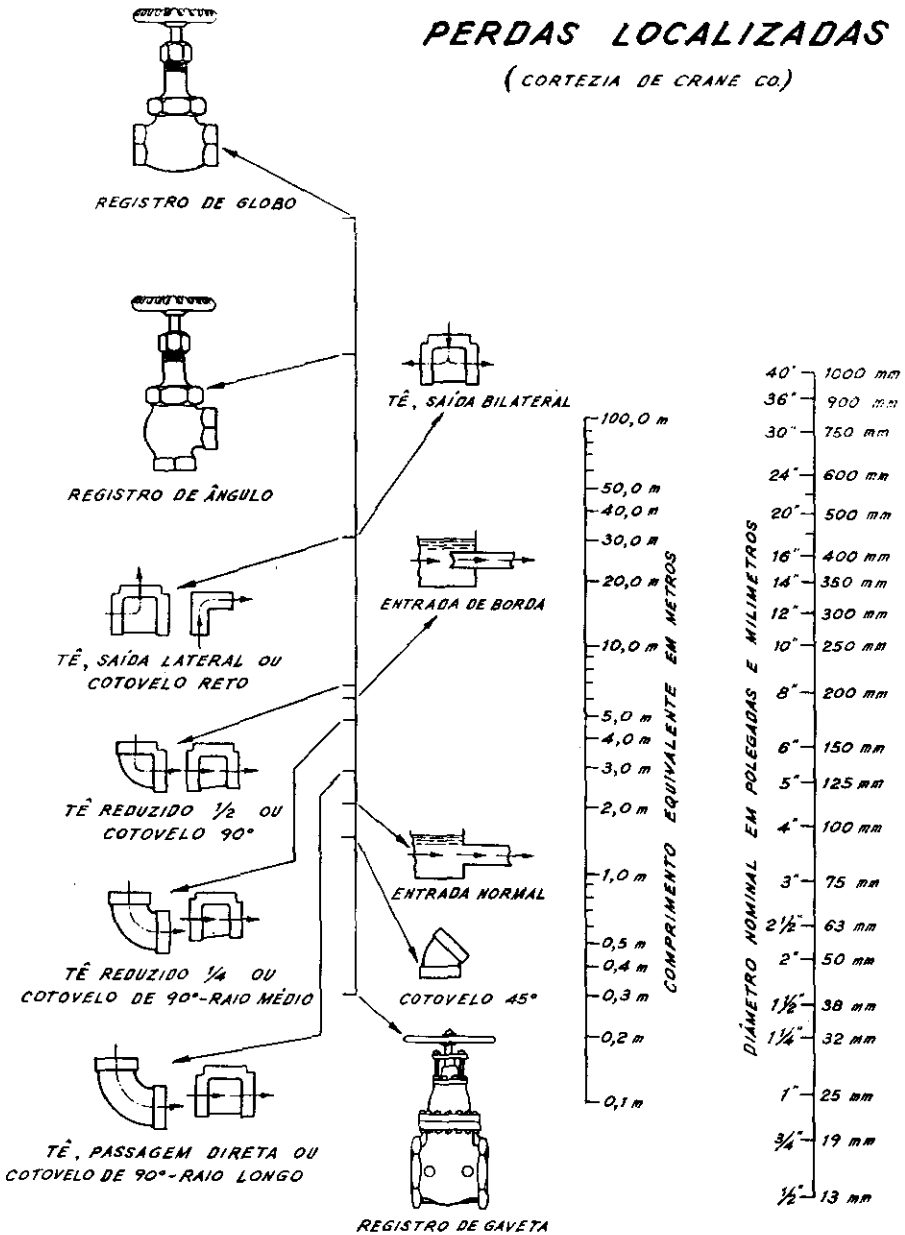


QUADRO VI — COMPRIMENTOS EQUIVALENTES A PERDAS LOCALIZADAS  
(EM METROS DE CANALIZAÇÃO RETILÍNEA)

DIÂMETRO		P E R D A S L O C A L I Z A D A S																		
D		COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MÉDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D = 1/2	CURVA 90° R/D = 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAVETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ANELO ABERTO	TÊ PASSAGEM DIRETA	TÊ SAÍDA DE LADO	TÊ SAÍDA BILATERAL	VÁLVULA DE PÉ E CRIVO	SAÍDA DA CANALIZ.	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
mm	pol																			
13	1/2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6
19	3/4	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2
32	1 1/4	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0
38	1 1/2	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8	0.6	0.9	0.4	0.7	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4
63	2 1/2	1.3	1.7	2.0	0.9	0.8	1.0	0.5	0.9	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1.0	1.3	0.6	1.1	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7
100	4	2.1	2.8	3.4	1.5	1.3	1.6	0.7	1.6	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	8.4	12.9
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9	1.6	2.1	0.9	2.0	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3	1.9	2.5	1.1	2.5	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0	2.4	3.3	1.5	3.5	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8	3.0	4.1	1.8	4.5	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6	3.6	4.8	2.2	5.5	9.0	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3	4.4	5.4	2.5	6.2	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0

# PERDAS LOCALIZADAS

(CORTEZIA DE CRANE CO.)



Observa-se portanto que a perda de carga na passagem por conexões, registros, etc., varia com a mesma função da velocidade que se têm para o caso de resistência ao escoamento em trechos retilíneos de encanamentos. É devido a essa feliz identidade que se pode exprimir as perdas localizadas em função de comprimentos retilíneos de canalização.

Pode-se obter o comprimento virtual de canalização que corresponde a uma perda de carga equivalente à perda local fazendo-se:

$$h'_f = h_f$$

$$\frac{f \cdot L \cdot V^2}{D \cdot 2g} = K \frac{V^2}{2g}$$

$$\therefore \boxed{L = \frac{K \cdot D}{f}}$$

### VALORES PRÁTICOS

O Quadro VI inclui valores para os comprimentos fictícios correspondentes às peças e perdas mais frequentes nas canalizações.

Os dados apresentados em grande parte foram calculados pelo autor, com base na fórmula de Darcy Weisbach em sua apresentação Americana, tendo sido adotados valores precisos de K. Em parte eles se baseiam também nos resultados das investigações feitas por autoridades no assunto, tais como os departamentos especializados do governo Federal Norte Americano, da Crane Co., etc.

Os comprimentos equivalentes embora tenham sido calculados para tubulações de ferro e aço poderão ser aplicados com aproximação razoável ao caso dos encanamentos de cobre ou latão.

As imprecisões e discrepâncias resultantes do emprêgo generalizado desse método e dos dados apresentados são provavelmente menos consideráveis do que as indeterminações relativas à rugosidade interna dos tubos e resistência ao escoamento, assim como à sua variação na prática.

O ábaco incluso, original da Crane Co., foi convertido ao sistema métrico e publicado por cortezia daquela Companhia.

### SIMPLIFICAÇÃO FEITA

Considerando-se os comprimentos L apresentados no Quadro VI para determinada perda e dividindo-se êsses comprimentos pelos diâmetros das canalizações verifica-se que os resultados encontrados apresentam uma variação relativamente pequena.

Assim é que os dados relativos a perdas em cotovelos de 90°, de raio médio levam a valores de L/D variando desde 26 (para 12") até 31 (para 3/4").

Nessas condições as informações contidas no Quadro VI poderão ser condensadas tomando-se os comprimentos equivalentes expressos em diâmetros das canalizações. O Quadro VII inclui os dados, recomendados pelo autor:

QUADRO VII — PERDAS LOCALIZADAS EXPRESSAS EM DIÂMETROS DE  
CANALIZAÇÃO RETILÍNEA (COMPRIMENTOS EQUIVALENTES)

Peça e Perda	Comprimentos expressos em diâmetros (Número de diâmetros)
Cotovelo de 90°	45
Cotovelo de 45°	20
Curva de 90°	30
Curva de 45°	14
Entrada normal	17
Entrada de Borda	35
Registro de gaveta, ab.	8
Registro de globo, ab.	350
Registro de ângulo, ab.	170
Saída de canaliz.	35
Tê, passagem direta	20
Tê, saída de lado	65
Tê, saída bilateral	65
Válvula de pé e crivo	250
Válvula de retenção	100

B I B L I O G R A F I A

- A. Fabricantes de Bombas dos Estados Unidos da América: Diversas Publicações e Catálogos.
- Azevedo Netto, J. M. "Hidraulica", 2 vols. C. A. Horácio Lane, Mackenzie, 1953.
- Economy Pump Inc., "Pump Engineering Data", Hamilton, Ohio, 1949.
- "Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe", Technical Paper n.º 409, Chicago, 1942.
- H. E. Babbitt, "Plumbing", 2nd. ed Mc Graw — Hill Book Co., New York, 1950.
- J. N. Le Conte, "Hydraulics", 1st ed., Mc Graw — Hill Book Co., New York, 1926
- Ingersoll — Rand Co., "Cameron Hydraulic Data", 11 ed., New York, 1942.
- Russel E. Barnard, "Design Standards for Steel Water Pipe, Journal A. W. W. A., January 1948.
- S. Crocker, "Piping Handbook", Mc Graw - Hill Book Co., 4th ed., New York, 1945.
- Sulzer Brothers, "The Planning of Centrifugal Pumping Plants, Winterthur.
- The Institution of Water Engineers, "Manual of British Water Supply Practice, Cambridge, 1950.
- T. Oniga, "Calcul des Tuyaux", Matemine — France, Paris, 1949.