

Medidores de regimen crítico — Medidores Parshall

JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO

Engenheiro da R. A. E., Professor da Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo,

INTRODUÇÃO

A medição de vazão ou descarga em condutos livres e particularmente nos canais abertos, constitui sem dúvida uma das mais importantes questões da Hidráulica Aplicada.

Inúmeros são os dispositivos e métodos que vêm sendo empregados para esse fim, cada processo aplicando-se especificamente a certos casos, limitando-se, portanto, a determinadas condições que tornam vantajosa a sua aplicação.

E' objeto deste trabalho o estudo dos denominados "medidores de regimen crítico". Tais medidores podem consistir num simples estrangulamento adequado de secção no rebaixo ou no alteamento de fundo ou ainda numa combinação conveniente dessas singularidades capaz de ocasionar o regimen livre de escoamento.

Em particular serão tratados os medidores Parshall, cuja aplicação vem se generalizando cada vez mais.

A terminologia portuguesa nos leva a sérias dificuldades neste setor da Hi-

dráulica: Encontramos o termo genérico "vertedores", de aceitação geral e emprego corrente no Brasil, e o seu correspondente em Portugal: "descarregadores".

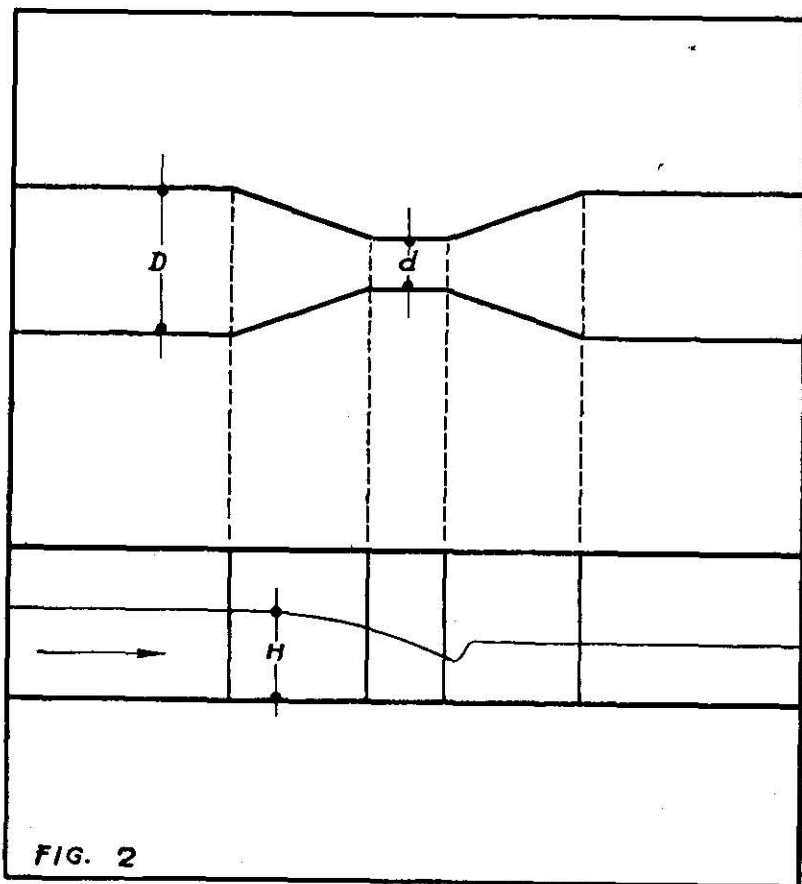
A palavra "calha" empregada por alguns para designar dispositivos como Parshall, ao nosso ver não exprime bem o que se tem em vista: Além de ser um termo já consagrado para outros dispositivos, tais como a peça que coléta e conduz as águas pluviais de um telhado, a canaleta que em filtros rápidos recebe as águas de lavagem, a bica de uma fonte etc., essa palavra em linguagem castiça designa um simples rego.

E' por isso que preferimos escrever: "Medidores Parshall" ao invés de "Calhas Parshall".

Em Castelhana a existência dos termos "vertederos" e "aforadores" con-torna qualquer dificuldade.

O Inglês não obstante contar com maiores recursos idiomáticos que lhe proporcionam termos como "notch", "weir" e "flume", se vê algumas vezes atrapalhado quanto à acepção rigorosa





dessas palavras, como se pode notar observando-se a figura jocosa que extraímos da interessante publicação "Flume measurement considered in an unscientific & un-orthodox manner".

Os medidores de regimen crítico também têm sido designados por "canais Venturi" ("Venturi flume" — "Venturikanal"), denominações que não consideramos muito adequadas, pois poderiam dar a impressão de medidores semelhantes, em princípio, aos conhecidos tubos Venturi, isto é, medidores que se baseiam na determinação de duas cargas ou dois níveis. Para os medidores de regimen crítico uma única medida de nível é suficiente.

1. — Teoria dos medidores de regimen crítico

No estudo generalizado dos canais verifica-se que para determinadas condições existe em um canal uma profundidade limite estreitamente relacionada aos dois regimens de escoamento: o uniforme e o variado. É a profundidade crítica.

Considerando-se a Fig. 2 e chamando-se de E a Energia específica das águas a montante, pode-se escrever:

$$E = \frac{V^2}{2g} + H \quad (1)$$

A profundidade crítica é aquela para a qual o valor dessa expressão é um mínimo. Sendo a secção retangular e de largura unitária:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{H}$$

Substituindo-se,

$$E = \frac{Q^2}{2gH^2} + H$$

$$\therefore Q^2 = 2g(EH^2 - H^3)$$

$$Q = \sqrt{2g(EH^2 - H^3)} \quad (2)$$

$$\frac{dQ}{dH} = \frac{\sqrt{2g}}{2} (EH^2 - H^3)^{-1/2} \cdot (2EH - 3H^2) = 0$$

$$2EH - 3H^2 = 0$$

$$2E = 3H$$

ocorrendo neste caso a altura crítica:

$$E = \frac{3}{2} H_c \quad (3)$$

Substituindo-se esse valor na equação (2):

$$Q = \sqrt{2g \left(\frac{3}{2} H_c^3 - H_c^3 \right)}$$

$$Q = \sqrt{\frac{6g}{2} H_c^3 - 2g H_c^3} = \sqrt{g H_c^3}$$

$$H_c^3 = \frac{Q^2}{g}$$

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g}} \quad (4)$$

Para uma secção de largura d qualquer, a descarga por unidade de largura será Q/d , resultando para a expressão acima:

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{d^2 g}} \quad (5)$$

e

$$Q^2 = d^2 g \cdot H_c^3$$

Por outro lado, a montante, numa secção de largura D , a equação da continuidade nos dá:

$$Q = VDH$$

$$\therefore V^2 = \frac{Q^2}{D^2 H^2} \quad (6)$$

Substituindo os valores obtidos em (3), (5) e (6) na equação (1), encontra-se:

$$H + \frac{d^2 \cdot g \cdot H_c^3}{D^2 \cdot H^2 \cdot 2g} = \frac{3}{2} H_c$$

$$H + \frac{H_c^3 \cdot d^2}{2D^2 \cdot H^2} = \frac{3}{2} H_c \quad (7)$$

Fazendo-se $\frac{d}{D} = r$ isto é, a relação de contração, e designando-se por m e por z respectivamente:

$$\frac{D^2}{d^2} = \frac{1}{r^2} = m$$

$$\frac{H_c}{H} = z$$

A equação (7) apresenta-se com o seguinte aspecto:

$$H + \frac{3}{2} H_c + \frac{H_c^3 d^2}{2D^2 H^2} = 0$$

$$\frac{2D^2}{d^2} - \frac{3D^2}{d^2} \frac{H_c}{H} + \frac{H_c^3}{H^3} = 0$$

$$2m - 3mz + z^3 = 0 \text{ ou ainda:}$$

$$z^3 - 3mz + 2m = 0$$

equação cúbica da forma:

$$z^3 - 3pz + 2q = 0$$

em que p e q são positivos e $p^3 > q^2$. A equação tem três raízes reais diferentes, sendo duas positivas e uma negativa. A solução trigonométrica é vantajosa; adotando-se para valor do ângulo auxiliar φ :

$$\cos \varphi = \frac{q}{p \sqrt{p}}$$

a raiz que convem será:

$$z' = 2 \sqrt[3]{p} \cos \left(60^\circ + \frac{\varphi}{3} \right)$$

ou, no nosso caso:

$$z' = 2 \sqrt[3]{m} \cos \frac{\pi + \arccos \frac{1}{\sqrt{m}}}{3}$$

ou ainda:

$$z' = \frac{2}{r} \cos \frac{\pi + \arccos r}{3} \quad (8)$$

De (5) se obtém:

$$Q = d H_c \sqrt{g H_c}$$

e como:

$$\frac{H_c}{H} = z \quad \therefore H_c = z' \cdot H$$

encontra-se

$$Q = z'^{3/2} \cdot dH \sqrt{gH}$$

ou então:

$$Q = k \cdot dH \sqrt{2gH}$$

Fórmula clássica dos vertedores, na qual o coeficiente k representa:

$$k = \frac{z'^{3/2}}{\sqrt{2}} \quad (z' \text{ têm o valor já obtido})$$

Portanto k é um coeficiente que depende da relação de estrangulamento, cujo valor é constante para cada vertedor.

2. — Limitações da teoria

No estudo acima foram consideradas: Energia específica constante, alturas de água correspondentes às cotas piezométricas, canais sem sobrelevação do fundo.

Sobre o assunto o engenheiro argentino A. Balloffet tem feito investigações completas, já divulgadas em estudo de grande valor (1). Em experiências de laboratório o coeficiente prático de correção tem sido encontrado em torno de 0,95.

3. — Vantagens dos medidores de regimen crítico

Além da facilidade com que podem ser executados, esses medidores apresentam vantagens que decorrem das suas próprias características hidráulicas: Uma só determinação de carga é suficiente, a perda de carga é reduzida e não há obstáculos capazes de provocar a formação de depósitos etc.

4. — Medidor Parshall. Dimensões

É um medidor que se inclui entre os de regimen crítico tendo sido idealizado por R. L. Parshall, engenheiro do Serviço de Irrigação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (2), (3) e (4). Consiste em uma secção convergente, uma secção estrangulada ou garganta e uma secção divergente dispostas como mostra a Fig. 3.

Os medidores Parshall são indicados nominalmente pela largura da secção estrangulada: Assim, um "Parshall" de 9 polegadas mede 0,23m na menor secção transversal

O fundo, em nível na primeira secção é inclinado na garganta, com uma declividade de 9 vert.: 24 horiz., qualquer que seja o tamanho.

Na secção divergente o fundo é em aclave na razão de 1 vert.: 6 horiz. no caso dos medidores de 1 a 8 pés. Para esses medidores a diferença de nível entre montante e extremo jusante é de 3 polegadas (7,6 cm).

Os menores medidores empregados são os de 3 polegadas e o maior até hoje construído mede 50 pés e tem uma capacidade para 85.000 litros/seg.

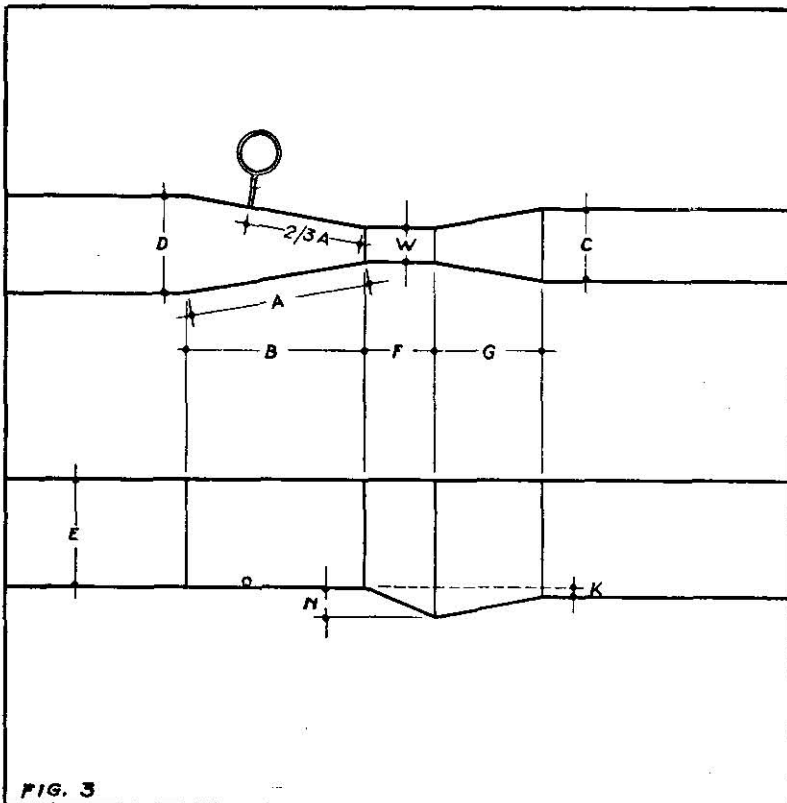


FIG. 3

As dimensões aproximadas para os medidores Parshall de 1 a 8 pés podem ser determinadas como segue:

$$F = 0,610 \text{ m}$$

$$G = 0,915$$

$$B = 0,49 W + 1,194 \text{ (metros)}$$

$$C = W + 0,305$$

$$D = 1,196 W + 0,479$$

A tabela I inclui as dimensões padronizadas para os medidores até 8 pés.

5. — Emprego

O medidor Parshall foi idealizado tendo como objetivo principal a irrigação; os menores tamanhos para regular a descarga de água distribuída às propriedades agrícolas e os maiores para serem aplicados aos grandes canais de rega.

Dadas as vantagens do medidor, inúmeras são as aplicações atuais, o seu emprego tendo se generalizado além das expectativas.

Há mais de 15 anos os medidores Parshall vêm sendo aplicados ao controle da velocidade nas caixas de areia das estações de tratamento de esgotos (5). Em São Paulo o primeiro "Parshall" de que temos notícia foi aplicado em uma estação de tratamento em 1939.

Em 1947 Morgan e Ryan (6) projetaram para Greeley, Colorado, um Parshall modificado que associa as funções de um medidor às de um dispositivo de mistura rápida: dispersão de coagulantes em tratamento de água.

Para o mesmo fim projetamos uma unidade para a Estação de Tratamento de Água de Niterói e São Gonçalo.

A medição de vazão, tão necessária em serviços de abastecimento de água, pode ser realizada com relativa facilidade e ínfimo dispêndio utilizando-se convenientemente e sempre que possível, medidores Parshall: Temos recomendado o seu emprego em canais adutores, estações de tratamento, entradas em reservatórios etc.

6. — Condições de descarga

O escoamento através de um medidor Parshall pode se verificar em duas condições diferentes, que correspondem a dois regimens distintos:

- 1) — Escoamento ou descarga livre;
- 2) — Afogamento ou submersão.

No primeiro caso a descarga se faz livremente como nos vertedores, em que a veia vertente independe das condições de jusante.

O segundo caso ocorre quando o nível d'água à jusante é suficientemente elevado para influenciar e retardar o escoamento através do medidor: É o regimen comumente apontado por "descarga submersa", de características diversas daquelas que se verificam para os vertedores. Para este segundo caso haveria propriedade na designação "Canal Venturi".

O afogamento é causado por condições de jusante: obstáculos existentes, falta de declividade ou níveis obrigados em trechos ou unidades subsequentes.

No caso de escoamento livre é suficiente medir-se a carga H para se determinar a vazão (Fig. 2).

Se o medidor for afogado será necessário medir-se também uma segunda carga H_2 , em ponto próximo da secção final da garganta (Fig. 4).

$$H_2$$

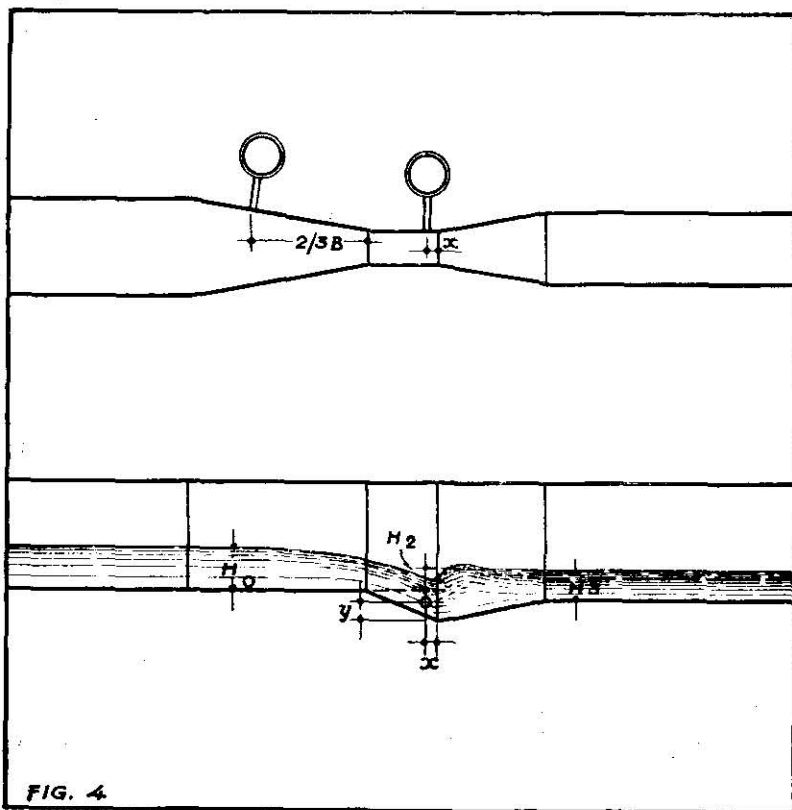
A relação — constitui a razão de submersão ou a "submergência.

Se o valor de H_2/H for igual ou inferior a 0,60 (60%) para os Parshall de 3,6 ou 9 polegadas, ou então igual ou inferior a 0,70 (70%) para os medidores de 1 a 8 pés o escoamento será livre.

Se esses limites forem ultrapassados haverá o afogamento e a vazão será reduzida. Como já dissemos será então necessário medir-se duas alturas para se calcular a vazão. A descarga real será inferior à obtida pela fórmula, sendo indispensável aplicar uma correção negativa.

Quando o Parshall é seguido de um canal ou de uma unidade de tratamento em que se conhece o nível d'água, a verificação do regimen de escoamento no medidor é imediata, bastando calcular-se a submergência (razão H_2/H).

Na prática, sempre que possível, procura-se ter o escoamento livre, pelo fato de se ficar adstrito a uma única medição de carga. Às vezes, contudo, essa condição não pode ser conseguida



ou estabelecida devido a circunstâncias locais ou limitações impostas.

De qualquer maneira, entretanto, a submergência nunca deverá ultrapassar o limite prático de 95%, pois que acima desse valor não se pode contar com a precisão desejável.

7. — Seleção de tamanho.

A seleção do medidor Parshall de tamanho mais conveniente para qualquer gama de vazões envolve considerações como as seguintes: largura do canal existente, profundidade d'água nesse canal, perda de carga admissível, possibilidade de vazões futuras maiores, etc.

Para a fixação das dimensões definitivas pode-se partir de um tamanho escolhido inicialmente, fazendo-se para o mesmo e para outros tamanhos próximos os cálculos e verificações pelas fórmulas e diagramas anexos.

Como primeira indicação convém mencionar que a largura da garganta (W) frequentemente está compreendida entre um terço e a metade da largura dos canais existentes. Isto não se aplica entretanto aos canais razos e

muito largos ou então muito profundos e estreitos.

A tabela II mostra os limites de aplicação para os medidores, considerando o funcionamento em regime de escoamento livre.

Embora as submergências limites para o escoamento livre sejam de 60% para os medidores menores de 1 pé e de 70% para os maiores, recomendam-se como valores práticos máximos respectivamente 50% e 60%, deixando-se assim uma margem para possíveis flutuações de vazão, garantindo-se um ponto único de medição de carga (7).

Ao selecionar um medidor para condições e vazões determinadas verifica-se que para os menores valores de W correspondem maiores perdas de carga, consideradas sempre as submergências máximas.

8. — Pontos de medição.

Com o escoamento livre a única medida de carga H necessária e suficiente para se conhecer a vazão é feita na secção convergente em um ponto localizado a $2/3$ da dimensão B (ou $2/3$ de A).

Nessa posição pode-se medir a altura do nível d'água com uma régua ou instala-se junto à parede uma escala para as leituras. Pode-se também assentar um cano de 1 ou 2 polegadas comunicando o nível d'água a um poço lateral de medição. Nesse poço se poderá ter uma bóia acionando uma haste metálica para indicação mecânica da vazão, ou ainda para transmissão elétrica do valor medido a distância (Fig. 5).

Se as condições de escoamento forem de submersão, além da medida na posição acima especificada, será necessário medir-se a altura do nível d'água H_2 em ponto próximo da secção final da garganta. Para os medidores de 6 polegadas até 8 pés a posição para essa segunda medida deverá ficar a 2 polegadas a montante da parte final da secção estrangulada.

Se for executado um poço lateral para essa medição, o cano de ligação deverá ser assentado a uma altura de 3 polegadas a contar da parte mais profunda do medidor (Fig. 4).

As duas cargas H e H_2 são medidas a partir da mesma referência: Cota de fundo da secção convergente.

9. — Vantagens dos medidores Parshall.

As vantagens dos medidores Parshall que decorrem de fatores já apontados, podem ser resumidas como segue:

- a) Grande facilidade de realização.
- a) Baixo custo de execução.
- c) Não há sobre-elevação de fundo.
- d) Não há perigo de formação de depósitos devidos a matérias em suspensão, sendo por isso de grande utilidade no caso de esgotos ou de águas que carregam sólidos em suspensão.
- e) Podem funcionar como um dispositivo em que uma só medição de H é suficiente.
- g) Grande habilidade em suportar submergências elevadas, sem alteração de vazão.
- h) Medidores Parshall de tamanhos os mais variados, já foram ensaiados hidráulicamente, o que permite o seu emprego em condições semelhantes, sem necessidade de novos ensaios ou aferições.
- i) Na sua execução podem ser empregados materiais diversos, selecionan-

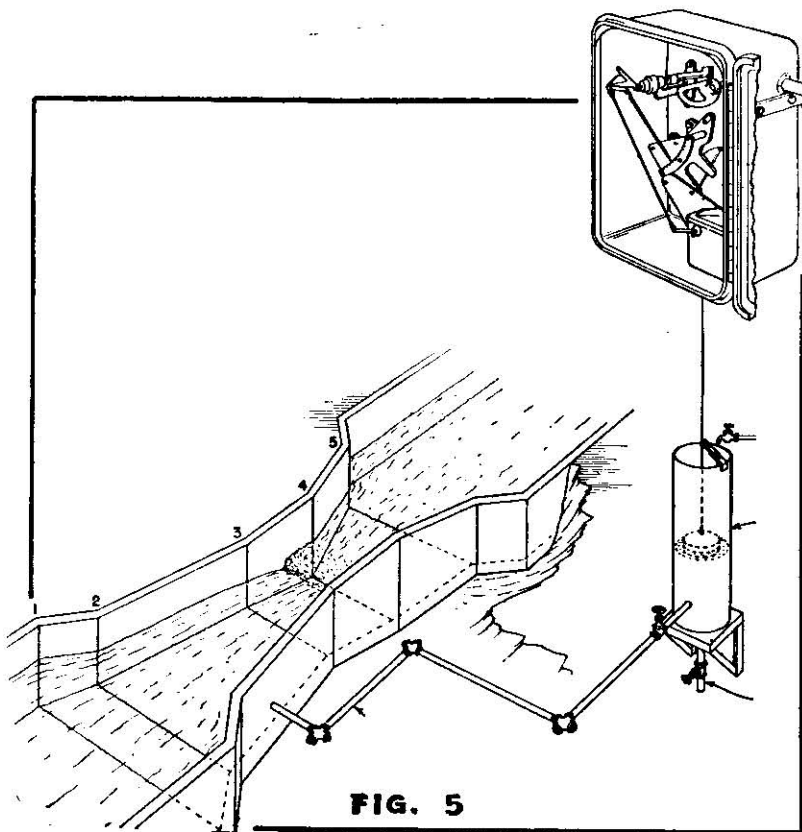
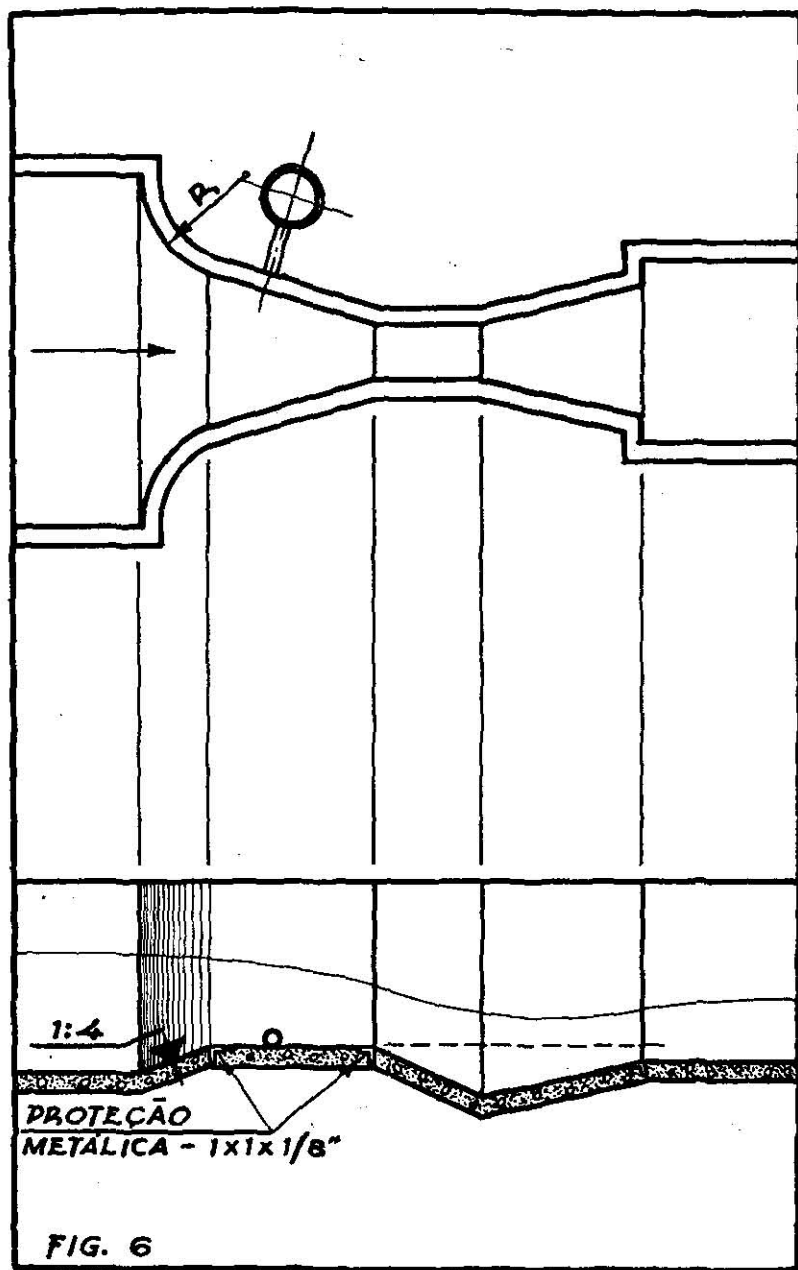


FIG. 5



do-se o mais conveniente para as condições locais. Já foram empregados: Concreto, Alvenarias, Madeira, Metal (medidores portáteis de tamanho até 10 pés), Cimento-amianto etc.

10. — Fórmulas e Tabelas.

As numerosas experiências e observações feitas com medidores Parshall levaram a resultados que correspondem a expressões do tipo:

$$Q = k_w H_{sw}^t$$

Fazendo-se:

$$k_w = K.$$

$$sw^t = n.$$

Chega-se à fórmula geral seguinte:

$$Q = K.H^n \quad (10)$$

semelhante à fórmula (9), sendo porém os valores de n ligeiramente diversos de $3/2$.

A tabela III anexa, inclui os valores do coeficiente K tanto para o sistema

métrico como para o sistema americano de unidades. A mesma tabela apresenta os valores do expoente n .

Assim por exemplo, para o Parshall de 1 pé, a equação de vazão no sistema métrico é:

$$Q = 0,690 H^{1,522}$$

A tabela IV dá os valores de vazão já calculados para os medidores Parshall mais comuns.

O autor, com base nos próprios dados de R.L. Parshall, obteve a seguinte fórmula aproximada para esses medidores:

$$Q = 2,2 W. H^{3/2}$$

na qual: Q = Vazão em $m^3/seg.$

W = Largura da garganta, m.

H = Carga, m.

O expoente $3/2$ traz maior simplicidade, sendo comuns as tabelas para essa potência. (V. Tabela V).

11. — **Locação dos medidores Parshall.**

Os medidores Parshall devem ser localizados procurando-se evitar gran-

des turbulências na sua secção inicial. Não devem por exemplo, ser instalados logo após uma comporta, ou uma curva, pois que os turbilhonamentos provocados na água poderiam causar ondas ou sobrelevações capazes de comprometer a precisão dos resultados.

O ideal é projetar tais medidores em um trecho retilíneo de canal.

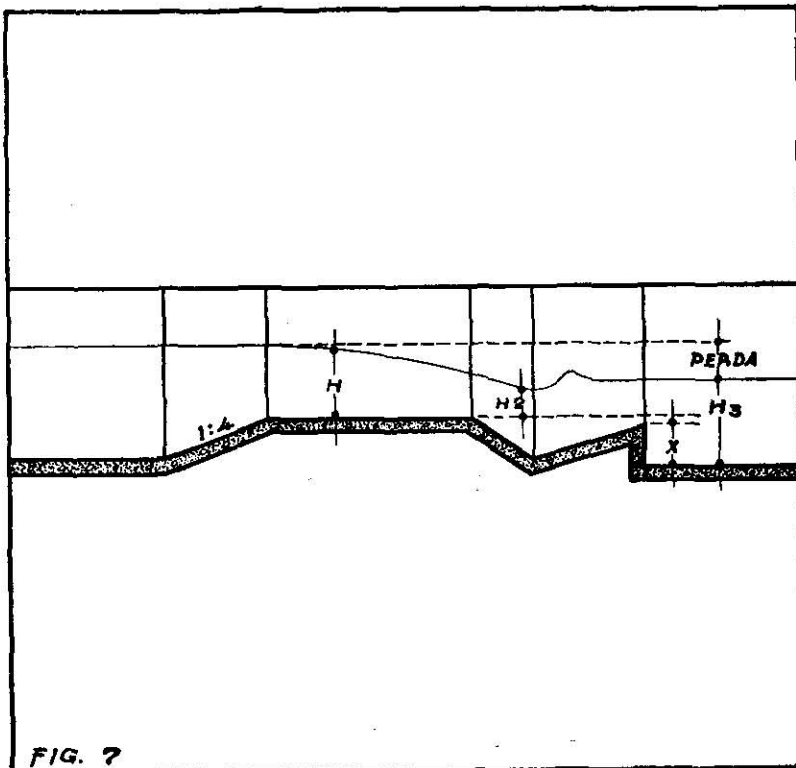
Se houver conveniência pode-se construir uma rampa inicial com aclave de 1:4 até o início da secção convergente (Fig. 6).

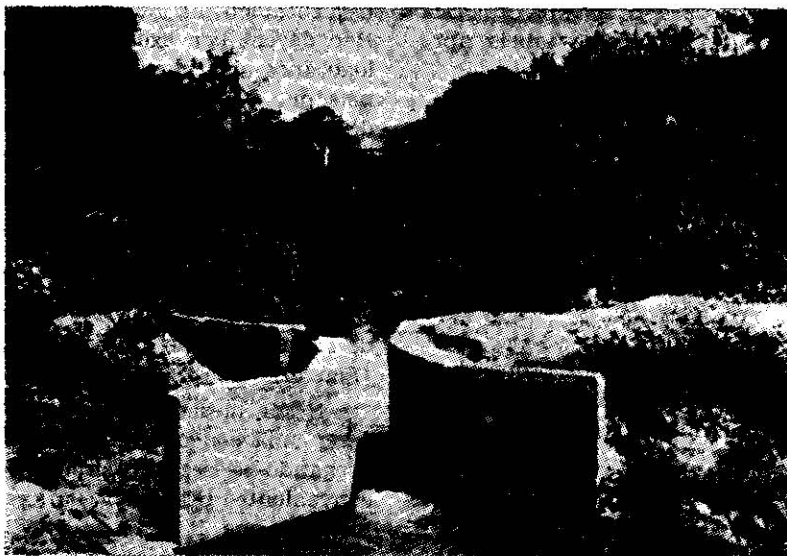
Nessa mesma parte inicial pode-se fazer uma concordância em planta, empregando-se secções circulares de raio conveniente (Fig. 6): Para medidores menores que 1 pé $R = 0,41$ m; medidores de 1 a 3 pés: $R = 0,51$ m; nos medidores de 4 a 8 pés $R = 0,61$ m.

Se o Parshall for aplicado a um canal com declividade constante, a sobrelevação X poderá ser facilmente determinada (Fig. 7):

H_3 = Profundidade normal da água no canal.

H = Carga medida no Parshall e que também pode ser determinada partindo-se da vazão.





H_2 = Altura que não poderá ultrapassar 60 ou 70% de H (regimen livre).

Fazendo-se por exemplo: $H_2 = 0,70$ H, com essa submergência limite (para uma perda de carga mínima) o nível d'água H_2 será praticamente o mesmo de H_3 e nessas condições:

$$X = H_3 - 0,7. H.$$

Ao fim da secção divergente pode-se ter um degrau conforme se indica na Fig. 7.

A fotografia que reproduzimos mostra um medidor Parshall instalado em Porto Alegre para determinação da descarga de um correjo.

12. — Medidores afogados.

Se as condições de escoamento forem tais que se verifique o afogamento, serão necessárias duas medidas de nível d'água para determinação da porcentagem de submergência.

O afogamento retarda o escoamento, havendo uma redução da descarga.

Nessas condições a vazão real será inferior àquela que se obteria pelo emprego de fórmulas ou tabelas. Para a determinação da vazão será indispensável a aplicação de uma correção:

Vazão real = Descarga livre — Correção total.

O ábaco anexo dá as correções de vazão em litros/seg., em função da porcentagem de submergência, para medidores de 1 pé ($w = 1'$). Para medidores maiores encontram-se no mesmo ábaco os coeficientes relativos que deverão ser levados em conta.

Seja por exemplo o caso de um Parshall de 2 pés em que:

$$H = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{e } H_2 = 0,45$$

A submergência será de:

$$\frac{0,45}{0,50} = 90\%$$

Para esses valores a correção dada pelo ábaco é de 65 litros/seg, isto para o Parshall de um pé. Para o caso em questão em que $W = 2$ pés essa correção deverá ser multiplicada por 1,8 o que leva a 117 litros/seg.

Como a vazão normal sem afogamento seria de 486 litros/segundo (Tabela IV), a vazão real com 90% de submergência será de:

$$486 - 117 = 369 \text{ litros/seg.}$$

Referências:

- (1) "Aforadores de resalto", A. Balloffet, Ciencia Y Técnica, Buenos Aires, janeiro de 1949.
- (2) "The Venturi Flume", R. L. Parshall and C. Rohwer, Colorado Agricultural Experimental Station, Bulletin 265, 1921.
- (3) "The Improved Venturi Flume" R. I. Parshall, Transactions A. S. C. E. Vol. 89, 1926.
- (4) "Bulletin 423", R. L. Parshall, Bureau of Agricultural Engineering, U.S. Dept. of Agriculture.
- (5) "Grit chamber velocities controlled by Parshall Flume, S.T. Barker, Water Works and Sewerage, April 1939.
- (6) "Modified Parshall Flume Combines Measuring and Mixing", A. J. Ryan, C. L. Morgan, Engineering News Record, April 29, 1948.
- (7) "Measurement of Flow in Open Channels", J. Tarrant, Water Works and Sewerage, June 1945.

TABELA I — DIMENSÕES PADRONIZADAS DE MEDIDORES PARSHALL (centímetros)

(V. Fig. 3)

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	
3''	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	61,0	15,2	30,5	2,5	5,7
6''	15,2	62,1	61,0	39,4	32,1	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4
9''	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1 1/2'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9

TABELA II — LIMITES DE APLICAÇÃO: MEDIDORES PARSHALL COM ESCOAMENTO LIVRE

W		Capacidade: Litros/seg.	
		Min.	Máx.
3''	7,6	0,85	53,8
6''	15,2	1,42	110,4
9''	22,9	2,55	251,9
1'	30,5	3,11	455,6
1 1/2'	45,7	4,25	696,2
2'	61,0	11,89	936,7
3'	91,5	17,26	1426,3
4'	122,0	36,79	1921,5

TABELA III — VALORES DO EXPOENTE n E DO COEFICIENTE K (Fórmula 10)

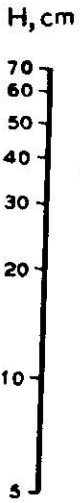
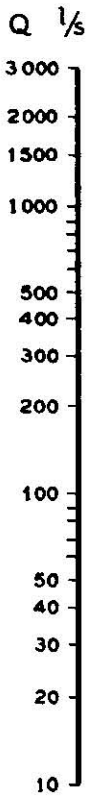
W		n	K	K
			Unid. Metr.	Unid. Amer.
3''	0,076	1,547	0,176	0,992
6''	0,152	1,580	0,381	2,06
9''	0,229	1,530	0,535	3,07
1'	0,305	1,522	0,690	4,00
1 1/2'	0,457	1,538	1,054	6,00
2'	0,610	1,550	1,426	8,00
3'	0,915	1,566	2,182	12,00
4'	1,220	1,578	2,935	16,00
5'	1,525	1,587	3,728	20,00
6'	1,830	1,595	4,515	24,00
7'	2,135	1,601	5,306	28,00
8'	2,440	1,606	6,101	32,00

TABELA IV — VAZÕES EM MEDIDORES PARSHALL — LITROS/SEG.

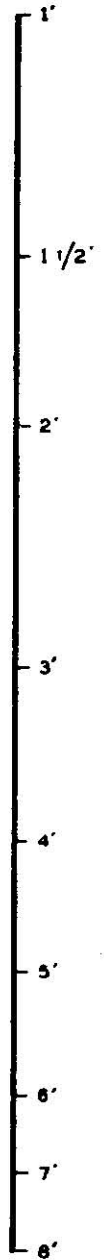
H CM	W 3"	6"	9"	1'	11/2'	2'	3'	4'
3	0,8	1,4	2,5	3,1	4,2	—	—	—
4	1,2	2,3	4,0	4,6	6,9	—	—	—
5	1,5	3,2	5,5	7,0	10,0	13,8	20	—
6	2,3	4,5	7,3	9,9	14,4	18,7	27	35
7	2,9	5,7	9,1	12,5	17,8	23,2	34	45
8	3,5	7,1	11,1	14,5	21,6	28,0	42	55
9	4,3	8,5	13,5	17,7	26,0	34,2	50	66
10	5,0	10,3	15,8	20,9	30,8	40,6	60	78
11	5,8	11,6	18,1	23,8	35,4	46,5	69	90
12	6,7	13,4	24,0	27,4	40,5	53,5	79	105
13	7,5	15,1	23,8	31,0	45,6	60,3	93	119
14	8,5	17,3	26,6	34,8	51,5	68,0	101	133
15	9,4	19,1	29,2	38,4	57,0	75,5	112	149
16	10,8	21,1	32,4	42,5	63,0	83,5	124	165
17	11,4	23,2	35,6	46,8	69,0	92,0	137	182
18	12,4	25,2	38,8	51,0	75,4	100,0	148	198
19	13,5	27,7	42,3	55,2	82,2	109,0	163	216
20	14,6	30,0	45,7	59,8	89,0	118,0	177	235
25	20,6	42,5	64,2	83,8	125,0	167,0	248	331
30	27,4	57,0	85,0	111,0	166,0	221,0	334	446
35	34,4	72,2	106,8	139,0	209,0	280,0	422	562
40	42,5	89,5	131,0	170,0	257,0	345,0	525	700
45	51,0	107,0	157,0	203,0	306,0	410,0	629	840
50	—	—	185,0	240,0	362,0	486,0	736	990

TABELA V — POTÊNCIAS $3/2$ (V. Fórmula do autor)

H	$H^{3/2}$	H	$H^{3/2}$	H	$H^{3/2}$
0,05	0,011	0,32	0,181	0,60	0,465
0,06	0,015	0,34	0,198	0,65	0,524
0,08	0,023	0,36	0,216	0,70	0,586
0,10	0,032	0,38	0,234	0,75	0,650
0,12	0,042	0,40	0,253	0,80	0,716
0,14	0,052	0,42	0,272	0,85	0,784
0,16	0,064	0,44	0,292	0,90	0,854
0,18	0,076	0,46	0,312	0,95	0,926
0,20	0,089	0,48	0,333	1,00	1,000
0,22	0,103	0,50	0,354	1,10	1,154
0,24	0,118	0,52	0,375	1,20	1,315
0,26	0,133	0,54	0,397	1,30	1,482
0,28	0,148	0,56	0,419	1,40	1,657
0,30	0,164	0,58	0,442	1,50	1,837



W-PÉS



NOMOGRAMA DE TARRANT
MEDIDORES PARSHALL

