

# Método Racional para o Dimensionamento de Fundos de Filtros com Bocais

**JOSÉ CERQUEIRA DIAS DE MORAES**

Engenheiro Assistente do Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo, Instrutor da Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

## 1 — INTRODUÇÃO

### 1.1 — Objetivo

O presente trabalho tem por finalidade estabelecer um método racional para o dimensionamento de fundos de filtros com bocais.

Êste trabalho originou-se da necessidade de se estabelecer um método para o dimensionamento dos fundos dos filtros da 3.<sup>a</sup> etapa de construção do sistema de filtração da ETA do Alto da Boa Vista, SP, com vazão de projeto de 18 m<sup>3</sup>/seg., podendo ser ampliada até 22 m<sup>3</sup>/seg.

Nesta ocasião, o autor era o presidente do Grupo de Trabalho do Alto da Boa Vista, grupo êste que completou o planejamento, os projetos e detalhes daquêlê grande centro de tratamento de águas da cidade de São Paulo.

As Especificações Técnicas para Bocais de Filtros, que tomaram o código 9.32.3, da codificação geral daquêlê projeto, foram apresentadas em 30 de outubro de 1961, e constituíram as bases iniciais do nosso atual trabalho.

### 1.2 — Condição Ideal de Funcionamento dos Filtros

Os filtros rápidos de gravidade são projetados para satisfazer duas condições de trabalho operacionalmente opostas:

- a) filtração
- b) lavagem

A condição ideal de funcionamento dos filtros é dada pela constância do fluxo da água em qualquer ponto da superfície filtrante, a qual condição deveria ser satisfeita para as duas operações opostas.

Em outras palavras, essa condição implica em que a taxa de filtração (e, implicitamente, também a taxa de lavagem) seja constante em qualquer ponto da superfície filtrante num dado momento, isto é, que ela seja independente da posição considerada sôbre a superfície do leito filtrante.

A definição exata das taxas de filtração e de lavagem envolve o conceito hidráulico de vazão por unidade de superfície:

$$t_i = \frac{dQ_i}{dS} \quad (1.1)$$

---

Este trabalho foi apresentado ao IV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, realizado em Brasília em 1967.

sendo:

$t_f$  = taxa de filtração

$dQ_f$  = vazão diferencial de filtração através da superfície filtrante diferencial  $dS$

Considerando-se a Fig. 1.1, que é a planta esquemática de um filtro rápido de areia comumente empregado no tratamento de água para abastecimento público, temos que a área total de filtração é dada por:

$$S = x_0 y_0 \quad (2.1)$$

em que  $x_0$  é o comprimento do filtro e  $y_0$  a sua largura. O filtro, normalmente, é dividido em duas partes simétricas, em que o eixo de simetria é o próprio eixo do filtro, onde se localiza a canalização de saída da água filtrada, e que é a mesma da entrada da água de lavagem. O eixo de simetria passa, no nosso caso, pelo ponto  $y = 0,5 y_0$ . Na ETA do Alto da Boa Vista cada filtro é constituído por duas câmaras de filtração do tipo indicado na Fig. 1.1.

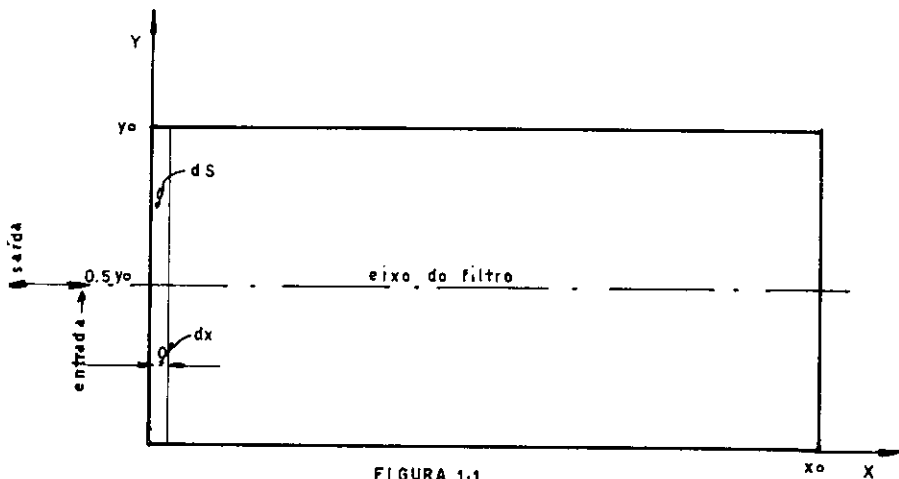


FIGURA 1.1  
PLANTA ESQUEMÁTICA DE UM FILTRO  
DE AREIA

Considerando a superfície elementar  $dS$  teremos que:

$$dS = y_0 dx \quad (3.1)$$

de onde se tem na eq. (1.1):

$$dQ_f = t_f dS = t_f y_0 dx \quad (4.1)$$

A integração da eq. (4.1) nos fornece:

$$Q_f = \int_0^{x_0} t_f y_0 dx = y_0 \int_0^{x_0} t_f dx \quad (5.1)$$

Ora, neste caso teremos dois casos a considerar:

a) a taxa de filtração  $t_f$  é constante, num dado momento, para qualquer ponto  $P(x, y)$  situado na superfície filtrante  $S$ :

$$t_f = \text{constante} \quad (6.1)$$

ou seja, o valor da taxa de filtração é independente da posição considerada. A integração é possível e imediata:

$$Q_f = y_o t_f \int_0^{x_s} dx = y_o x_o t_f$$

$$Q_f = t_f S \quad (6a.1)$$

A condição dada pela eq. (6.1) é a condição ideal de funcionamento dos filtros. Esta condição nunca é obtida na prática.

- b) o valor da taxa de filtração  $t_f$  não é constante, num dado momento, sobre qualquer ponto  $P(x, y)$ , ou pelo menos em pontos não simétricos em relação ao eixo de simetria do filtro, da superfície filtrante  $S$ . Então temos que:

$$t_f = f(x, y) \quad \text{com} \quad y = \varphi(x) \quad (7.1)$$

que levada na eq. (5.1) nos dá:

$$Q_f = y_o \int_0^{x_s} f(x, y) dx \quad (7a.1)$$

A integração só se torna possível se fôr estabelecida a forma da função  $f(x, y)$ . Ora, até hoje não foi determinada a forma da função  $f(x, y)$ , seja por meios racionais seja por meios experimentais.

O autor dêste trabalho, em mais de uma ocasião, iniciou pesquisas no sentido de estabelecer a forma da função  $f(x, y)$  acima. O trabalho é complexo e difícil, e por vários motivos não foi dado prosseguimento ao mesmo.

A exposição acima vale também para o caso de se considerar a operação de lavagem, bastando para tanto substituir  $t_f$  por  $t_{lav}$  e  $Q_f$  por  $Q_{lav}$ .

O bom funcionamento dos filtros se deve, em parte, às condições de projeto tais que, permitam a menor oscilação entre os valores máximo e mínimo das taxas de filtração e de lavagem ao longo das variáveis  $x$  e  $y$ .

O abaixamento da sua amplitude de variação é sempre desejável, e pode, de algum modo, ser obtido através de especificações técnicas muito cuidadosas, do tipo do fundo do filtro, da camada suporte e de areia e do tipo e arranjo dos bocais, quando fôr o caso.

O problema se agrava mais ainda, pelo fato de se projetar o filtro também para a operação de lavagem, quando então se processa a inversão do escoamento da água no mesmo, com uma taxa da ordem de dez vêzes maior do que a de filtração. A filtração e a lavagem são duas operações hidráulicamente opostas, mas que no entretanto devem ser satisfeitas por um mesmo sistema.

O presente trabalho tem por fim resolver, em parte, alguns dos problemas citados.

### 1.3 — Considerações

Existem vários tipos de bocais para serem usados na construção do sistema de coleta de água filtrada, e de distribuição da água de lavagem. Entretanto, a sua quantidade e disposição por unidade de superfície da lage nunca foram corretamente dimensionadas. Tais características têm sido estabelecidas pela "prática e experiência" dos próprios fornecedores de bocais.

Ora, para um determinado tipo de bocal, deve-se estabelecer um valor médio para o número de bocais por unidade de superfície filtrante  $N_m$ , valor êste que conduz a um bom funcionamento dos filtros. Essa quantidade não pode ser determinada corretamente pela "experiência" dos fornecedores somente, porque existem outras condições a serem também satisfeitas.

Para o nosso estudo partimos da premissa de que, a distribuição regular dos bocais na lage suporte permite um bom funcionamento dos filtros. Esta premissa, contudo, pode não ser necessariamente verdadeira com relação ao funcionamento dito **ótimo** dos filtros, em virtude de não se conhecer ainda a função  $t_f = f(x, y)$ .

Para se obter uma lavagem satisfatória, dentro da taxa de lavagem média comumente adotada, duas condições importantes devem ser observadas:

- a) perda de carga mínima admissível entre a câmara inferior de distribuição de água, e a câmara do material filtrante, ou seja, a perda de carga nos bocais;
- b) espaçamento máximo admissível entre os bocais.

Então, chamando de:

$N_m$  = número médio de bocais por metro quadrado de superfície filtrante que conduz a um bom funcionamento dos filtros

$N_a$  = número adotado de bocais por metro quadrado de superfície filtrante

teremos três casos a considerar:

A) **Baixa perda de carga nos bocais:** teremos que:

$$\boxed{N_a \gg N_m} \quad (8.1)$$

diz-se que a seção de distribuição da água (lage com os bocais) funciona **muito aberta**, e as taxas de lavagem e de filtração reais sofrem uma variação muito grande ao longo de  $x$  e  $y$ . Neste caso  $t_f$  e  $t_{lav}$  baixam rapidamente a partir de  $x = 0$  para  $x = x_0$ . Do mesmo modo, ao longo de  $y$  as  $t_f$  e  $t_{lav}$  baixam rapidamente de  $y = 0,5 y_0$  para  $y = y_0$ , assim como de  $y = 0,5 y_0$  para  $y = 0$ . Há indicações de que nos pontos simétricos em relação ao eixo do filtro as taxas de filtração (ou de lavagem) seriam aproximadamente iguais. Assim, em termos muito gerais, a superfície filtrante poderia ser dividida em três regiões típicas diferentes:  $A_1$ ) região de altas taxas;  $A_2$ ) região de médias taxas;  $A_3$ ) região de baixas taxas. A variação nos valores das taxas de uma região para outra seria contínua.

A taxa geral média de filtração (ou de lavagem) seria dada por:

$$t_{med} = \frac{y_0 \int_0^{x_0} f(x, y) dx}{S} \quad (8a.1)$$

Neste caso haveria um excesso de bocais sobre a quantidade estritamente necessária, condicionando um aumento do custo total. Além disso, o filtro funcionaria em péssimas condições, pois durante a lavagem haveria uma grande concentração da vazão em torno do ponto de entrada da água, com ação de jato, podendo desorganizar o leito filtrante nesta zona, e, em compensação, na região oposta haveria uma lavagem deficiente. Na filtração ter-se-ia uma grande vazão concentrada junto à canalização de coleta final de água filtrada, com evidentes prejuízos para a qualidade da água, e na região oposta haveria uma baixa vazão de filtração. Este desequilíbrio pode ser notado em certos filtros, quando aparecem longas e profundas rachas junto à canalização de coleta de água filtrada, algumas horas depois que eles entram em funcionamento. Tal defeito também aparece em filtros com laterais, e neste caso a seção **muito aberta** se concentra nos orifícios dos laterais.

B) **Perda de carga aceitável nos bocais:** temos que:

$$\boxed{N_a \approx N_m} \quad (8b.1)$$

Seria o caso em que o fundo dos filtros foi corretamente dimensionado, ou que, por uma feliz coincidência a combinação perda de carga e afastamento entre bocais estava

dentro de valores aceitáveis. É o caso em que os filtros apresentam boas condições de funcionamento.

C) **Alta perda de carga nos bocais:** temos imediatamente que:

$$N_a \ll N_m \quad (8c.1)$$

O excesso de perda de carga nos bocais em si mesmo não trás grandes inconvenientes para a lavagem dos filtros. Contudo, ela conduz a um desperdício de energia sem melhorar a eficiência da lavagem ou da filtração. Se a perda de carga fôr muito grande pode haver ruptura da lage inferior, acontecimento êste não muito incomum.

Entretanto, o grande inconveniente provém do fato de que, um pequeno número de bocais por metro quadrado, leva a um grande afastamento entre êles. Êste grande afastamento entre bocais produz a chamada ação de jato no leito filtrante, desorganizando as camadas suporte de pedregulho e de areia, com a sua possível inversão, e posterior falência total do leito filtrante.

De qualquer modo, verifica-se que o único caso que realmente convém, sob os vários aspectos estudados, é aquele em que o valor de  $N_a$  está em tôrno do valor de  $N_m$ .

#### 1.4 — Sôbre as Especificações

Não cabe aqui entrar em pormenores sôbre as citadas especificações técnicas para bocais. Alguma coisa, porém, deve ser vista, pois foi a partir delas que nos foi possível apresentar o nosso exemplo de aplicação, o qual consta no último capítulo dêste trabalho.

As especificações visavam o seguinte:

- a<sub>1</sub> — garantir a instalação de um bom tipo de bocal;
- a<sub>2</sub> — garantir um perfeito funcionamento dos filtros, dentro das possibilidades materiais disponíveis, e da legislação do serviço público para a compra de materiais, que é muito rígida;
- a<sub>3</sub> — fornecer dados corretos para o dimensionamento racional do sistema de coleta da água filtrada, assim como da distribuição da água de lavagem, o que até então não tinha sido feito;
- a<sub>4</sub> — excluir "in limite" os tipos de bocais que não satisfizessem as condições acima.

Para isso, foram impostas, dentre muitas outras, as seguintes condições:

- b<sub>1</sub> — perda de carga admissível durante a lavagem:  
 $b_{11}$  — máxima = 1,00 mca (9.1)

$$b_{12} \text{ — mínima} = 0,50 \text{ mca}$$

- b<sub>2</sub> — espaçamento entre bocais:  
 $b_{21}$  — máximo 0,30 m (9a.1)  
 $b_{22}$  — mínimo = 0,15 m

- b<sub>3</sub> — ensaios de vazão-perda de carga dos bocais, que deveriam ser feitos no Serviço de Pesquisas Hidráulicas, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e do Departamento de Águas e Energia de São Paulo;
- b<sub>4</sub> — estabelecimento das equações de regressão do bocal, por métodos estatísticos;
- b<sub>5</sub> — apresentação das curvas de regressão dos bocais.

Com êstes dados em mãos poderemos, em seguida, estabelecer a teoria do nosso método racional.

## 2. — TEORIA DO MÉTODO RACIONAL

### 2.1 — Equação Geral dos Bocais

O perfil de passagem da água nos bocais nem sempre permite o estabelecimento, "a priori", de uma equação de vazão, como também nem sempre as suas constantes são fornecidas nos manuais de hidráulica, e muito menos nos catálogos dos fornecedores de bocais.

A equação geral dos bocais é dada por (ref. 1):

$$q_b = C_d s \sqrt{2gh_b} \quad (1.2)$$

Para os bocais de forma geométrica complexa, o que geralmente acontece nos bocais empregados nos fundos dos filtros, o coeficiente de descarga  $C_d$  é função da carga disponível no bocal, e de coeficientes experimentais (devido à forma geométrica do bocal)  $m$  e  $n$  (ref. 2):

$$C_d = m h_b^n \quad (2.2)$$

Os bocais usados nos fundos dos filtros, normalmente, têm uma forma geométrica complicada com relação ao escoamento da água, afastando-se muito do tipo de bocais encontrados nos livros de hidráulica.

No caso dos filtros a relação entre a carga disponível nos bocais e a perda de carga é praticamente constante para cada projeto. Então:

$$k = \frac{h_b}{h_p}$$

de onde vem:

$$h_b = k h_p \quad (3.2)$$

Considerando as eq. (2.2) e (3.2) teremos finalmente na eq. (1.2):

$$q_b = m s \sqrt{2g} k^{\frac{1-2n}{2}} \times h_p^{\frac{1-2n}{2}} \quad (4.2)$$

Isolando  $h_p$  e fazendo:

$$a = k^{-1} \left( m s \sqrt{2g} \right)^{\frac{2}{2n-1}} \quad (5.2)$$

$$b = \frac{2}{1-2n} \quad (5a.2)$$

teremos finalmente:

$$h_p = a q_b^b \quad (6.2)$$

equação final da perda de carga no bocal em função da sua sua vazão. Nesta equação resta determinar experimentalmente o coeficiente  $a$  e o expoente  $b$ .

A determinação de  $a$  e  $b$  é feita a partir de dados experimentais, que são posteriormente submetidos ao tratamento estatístico pela teoria da regressão

### 2.2 — Linearização da Eq. (6.2)

A eq. (6.2) é uma função potência em que o expoente não é necessariamente igual a 2.

No presente caso as constantes da eq. (6.2) podem ser determinadas pela regressão linear, que é a que menos cálculos operatórios exige. Contudo, aquela equação deve ser linearizada. Para tanto, faz-se sucessivamente:

$$\log h_p = \log (a q_b^b) = \log a + b \log q_b \quad (7.2)$$

$$y_i = \log h_p$$

$$x = \log q_b \quad (7a.2)$$

$$a_1 = \log a$$

$$b_{12} = b$$

$$y_i = a_1 + b_{12}x \quad (8.2)$$

A equação acima é dita equação de regressão linear de  $y_i$  sobre  $x$ , pois os valores de  $y_i$  são estimados a partir de valores atribuídos a  $x$ .

Por outro lado, isolando  $q_b$  da eq. (6.2), e fazendo sucessivamente:

$$q_b = \frac{1}{a^{\frac{1}{b}}} h_p^{\frac{1}{b}} = a h_p^{b'} \quad (9.2)$$

$$\log q_b = \log (a h_p^{b'}) = \log a' + b' \log h_p \quad (9a.2)$$

$$x_i = \log q_b \quad (9b.2)$$

$$y = \log h_p$$

$$a_2 = \log a'$$

$$b_{21} = b'$$

$$x_i = a_2 + b_{21}y \quad (10.2)$$

Do mesmo modo, esta equação é chamada de equação de regressão linear de  $x_i$  sobre  $y$ , e os valores de  $x_i$  são estimados a partir de valores atribuídos a  $y$ .

É importante considerar que as duas equações de regressão de  $y_i$  e  $x_i$  não constituem, em termos estatísticos, um sistema linear de duas equações a duas incógnitas. Assim, para se estimar, em termos estatísticos,  $y_i$  só se pode empregar a eq. (8.2) e não isolando  $y$  da eq. (10.2). O mesmo se verifica para  $x_i$ . A restrição é, evidentemente, de ordem estatística, e não de ordem puramente matemática.

Entretanto, quando os valores observados caem exatamente sobre a curva teórica, o que nunca acontece por causa dos erros observacionais e da variabilidade de fabricação das peças, então as duas equações passariam, na verdade, a serem iguais.

### 2.3 — Determinação dos Coeficientes

Os coeficientes das eq. (8.2) e (10.2) são dados por:

$$a_1 = \bar{y} - b_{12} \bar{x} \quad (11.2)$$

$$b_{12} = \frac{s_{xy}}{s_x^2}$$

$$a_2 = \bar{x} - b_{21} \bar{y} \quad (11a.2)$$

$$b_{21} = \frac{s_{yx}}{s_y^2}$$

sendo:

$\bar{y}$  = média aritmética dos valores observados de  $y$

$\bar{x}$  = média aritmética dos valores observados de  $x$

$s_{xy}$  = covariância entre os valores observados de x e y

$s_x^2$  = variância de x

$s_y^2$  = variância de y

Note-se que os valores observados de x são os logaritmos das vazões observadas, e os de y são os logaritmos das perdas de carga observadas, em virtude da linearização que fizemos.

O cálculo das médias, variâncias e covariância pode ser feito diretamente com os logaritmos dos valores observados, ou por meio de tabelas bidimensionais de frequência. Usaremos êste método por ser mais simples.

#### 2.4 — Dados Experimentais

Como vimos, os coeficientes das equações de regressão (8.2) e (10.2) são obtidos através de dados experimentais para o tipo de bocal em consideração.

A obtenção destes dados é feita pela instalação de cada bocal numa caixa apropriada, e em seguida pela medida das perdas de carga para diferentes vazões.

Devem ser ensaiados muitos bocais, para se obter uma amostragem satisfatória, sem o que as curvas obtidas não terão significado estatístico. Cada bocal deve ser ensaiado separadamente, e não em conjunto, para se obter as características individuais.

Os ensaios, como é bem de ver, devem ser executados por laboratórios de hidráulica equipados com bons aparelhos de medida, e com experimentalistas de alto nível.

#### 2.5 — Curvas de Regressão

Uma vez obtidas as duas equações de regressão torna-se mais fácil trabalhar com as curvas de regressão.

Então, a partir das duas equações de regressão constrói-se um gráfico contendo as curvas  $h_{pt}$  e  $q_{bt}$  de regressão.

As equações de regressão  $h_{pt}$  e  $q_{bt}$  são obtidas por retôrno das equações de  $y_t$  e  $x_t$ , como veremos no exemplo de aplicação.

Um detalhe importante para a aferição dos resultados finais, é que as duas curvas de regressão devem se cruzar no ponto  $P(\bar{q}_b, \bar{h}_p)$ , dado pelas médias aritméticas reais de  $q_b$  e de  $h_p$ .

#### 2.6 — Quantidade de Bocais

Uma vez obtidas as curvas de regressão torna-se fácil determinar a quantidade de bocais por filtro. O número de bocais por filtro é dado por:

$$N_b = \frac{Q_m}{q_b} \quad (12.2)$$

sendo:

$N_b$  = número de bocais por filtro

$Q_m$  = vazão média de lavagem por filtro

$q_b$  = vazão estimada do bocal para uma determinada perda de carga média na lavagem

Parece-nos interessante fazer as determinações com as características médias, e posteriormente verificar os valores extremos.

O valor de  $q_b$  é obtido a partir da curva de regressão de  $q_{bt}$  do gráfico, em função do valor da perda de carga média atribuída.



## 2.7 — Espaçamento Entre Bocais

Como já vimos, vamos admitir o espaçamento entre bocais como constante nas direções  $x$  e  $y$ , a menos dos espaçamentos adjacentes às paredes da caixa do filtro, que podem ser iguais ou menores do que entre os bocais internos.

Então, chamando de:

$x_o$  = comprimento do filtro

$y_o$  = largura do filtro

$N_x$  = número de bocais segundo a direção  $x$

$N_y$  = número de bocais segundo a direção  $y$

$e_p$  = espaçamento provisório entre bocais internos  
ter-se-á, provisoriamente, que:

$$x_o = e_p N_x \quad (13.2)$$

$$y_o = e_p N_y \quad (13a.2)$$

$$N_b = N_x N_y \quad (13b.2)$$

Na verdade, as eq. (13.2) e (13a.2) seriam dadas rigorosamente por:

$$x_o = e_p (N_x - 1) + 2e_x$$

$$y_o = e_p (N_y - 1) + 2e_y$$

sendo

$e_x$  = espaçamento dos bocais adjacentes às paredes na direção de  $x$

$e_y$  = idem na direção de  $y$

Contudo, este rigorismo vem dificultar o trabalho de cálculo, e, por isso, ficamos nas equações anteriores.

Substituindo  $N_x$  e  $N_y$  das eq. (13.2) e (13a.2) na (13b.2) xem sucessivamente:

$$N_b = \frac{x_o}{e_p} \times \frac{y_o}{e_p} \quad (14.2)$$

$$e_p^2 = \frac{x_o y_o}{N_b} \quad (14a.2)$$

$$e_p = \sqrt{\frac{x_o y_o}{N_b}} \quad (15.2)$$

O espaçamento  $e_p$  obtido na eq. (15.2) é provisório, sendo posteriormente reajustado, como veremos no exemplo de aplicação.

Com isto, fica o fundo dos filtros perfeitamente dimensionado, e dentro de um critério estritamente técnico e racional.

## 3 — EXEMPLO DE APLICAÇÃO

### 3.1 — Bocal Utilizado

O bocal que tomamos para o nosso exemplo é um bocal cuja patente norte-americana deve estar extinta há bastante tempo, pois vem sendo fabricado no Brasil desde longa data. Ele tem sido usado no Brasil e em outros países. Foi empregado na 3.<sup>a</sup> etapa de construção da ETA do Alto da Boa Vista.

Este bocal é de porcelana, e tem uma forma geométrica relativamente complexa. Por ser de porcelana ele apresenta uma variabilidade de fabricação relativamente grande, bem maior do que a apresentada pelos bocais de plástico. Esta grande variabilidade se deve à variabilidade encontrada na qualidade da matéria-prima e nos processos de fabricação. Este fator foi levado em consideração no tamanho da amostra, para que os resultados estatísticos levassem a uma precisão satisfatória.

### 3.2 — Ensaio

Os ensaios foram feitos no Serviço de Pesquisas Hidráulicas, da Escola Politécnica da USP e do DAEE de S. Paulo, como exigência preliminar das especificações (ref. 3).

Foi exigido que "os ensaios deverão ser feitos separadamente para cada bocal da amostra representativa".

### 3.3 — Tamanho da Amostra

Foi considerada como "amostra representativa, uma amostra tal de bocais correspondente a, aproximadamente, 1% da área de cada câmara filtrante".

Como consequência, o tamanho da amostra foi de 25 bocais, tamanho esse considerado como bom para o tratamento estatístico.

A coleta da amostra foi feita por funcionários do Serviço de Pesquisas Hidráulicas, pelo processo da casualização.

### 3.4 — Resultados dos Ensaio

Os resultados dos ensaios constam da Tabela 3.1, nas colunas "amostra", "h<sub>p</sub>" e "q<sub>b</sub>".

Nesta tabela já constam os logaritmos de h<sub>p</sub> e q<sub>b</sub>.

### 3.5 — Tabela Bidimensional de Freqüências

Com os valores logaritimizados da Tabela 3.1 construímos a Tabela 3.2, que é uma tabela bidimensional de freqüências logaritimizada, no sentido de simplificar o trabalho operatório de cálculo.

Para a construção desta tabela torna-se necessário determinar os intervalos de classe para x e y. A sua determinação é feita em função dos valores extremos observados na Tabela 3.1, sob a forma logaritmica. Para a escala de y temos:

$$h_y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{k_1} = \frac{\log h_{p\max} - \log h_{p\min}}{k_1}$$

$$\log h_{p\max} = \log 116 = 2,064458$$

$$\log h_{p\min} = \log 44 = 1,643453$$

$$k_1 = 8 \text{ classes}$$

$$h_y = \frac{2,064458 - 1,643453}{8} = 0,052625$$

que aproximamos para

$$h_y = 0,06$$

E, para a escala de x teremos:

$$h_x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k_2} = \frac{\log q_{b\max} - \log q_{b\min}}{k_2}$$

TABELA 3.1

## VALORES OBSERVADOS E SEUS LOGARITMOS

Amostra	$h_p$ cmca	$y =$ $= \log h_p$	$q_b$ 1/seg	$x = \log q_b$	
1	47	1,67	0,568	$\bar{I},754$	-0,246
	69	1,83	0,691	$\bar{I},839$	-0,161
	91	1,95	0,802	$\bar{I},904$	-0,095
	113	2,05	0,881	$\bar{I},944$	-0,056
2	51	1,70	0,451	$\bar{I},654$	-0,346
	72	1,85	0,568	$\bar{I},754$	-0,246
	93	1,96	0,655	$\bar{I},816$	-0,184
	110	2,04	0,699	$\bar{I},844$	-0,156
3	52	1,71	0,450	$\bar{I},653$	-0,347
	74	1,86	0,546	$\bar{I},737$	-0,263
	92	1,96	0,588	$\bar{I},769$	-0,231
	111	2,04	0,682	$\bar{I},833$	-0,167
4	52	1,71	0,501	$\bar{I},699$	-0,301
	69	1,83	0,578	$\bar{I},761$	-0,239
	92	1,96	0,691	$\bar{I},839$	-0,161
	111	2,04	0,741	$\bar{I},869$	-0,131
5	51	1,70	0,524	$\bar{I},719$	-0,281
	73	1,86	0,608	$\bar{I},783$	-0,217
	91	1,95	0,655	$\bar{I},816$	-0,184
	112	2,04	0,733	$\bar{I},865$	-0,134
6	46	1,66	0,463	$\bar{I},665$	-0,335
	71	1,85	0,598	$\bar{I},776$	-0,224
	90	1,95	0,673	$\bar{I},828$	-0,172
	108	2,03	0,741	$\bar{I},869$	-0,131
7	45	1,65	0,450	$\bar{I},653$	-0,347
	73	1,86	0,578	$\bar{I},761$	-0,239
	90	1,95	0,646	$\bar{I},810$	-0,190
	116	2,06	0,741	$\bar{I},869$	-0,131
8	47	1,67	0,546	$\bar{I},737$	-0,263
	69	1,83	0,618	$\bar{I},790$	-0,210
	91	1,95	0,691	$\bar{I},839$	-0,161
	111	2,04	0,749	$\bar{I},874$	-0,126
9	49	1,69	0,512	$\bar{I},709$	-0,291
	68	1,83	0,556	$\bar{I},745$	-0,255
	93	1,96	0,655	$\bar{I},816$	-0,184
	109	2,03	0,724	$\bar{I},859$	-0,141
10	49	1,69	0,524	$\bar{I},719$	-0,281
	71	1,85	0,608	$\bar{I},783$	-0,217
	89	1,94	0,655	$\bar{I},816$	-0,184
	107	2,02	0,724	$\bar{I},859$	-0,141
11	51	1,70	0,556	$\bar{I},745$	-0,255
	70	1,84	0,655	$\bar{I},816$	-0,184
	86	1,93	0,682	$\bar{I},833$	-0,167
	112	2,04	0,773	$\bar{I},888$	-0,112
12	47	1,67	0,512	$\bar{I},709$	-0,291
	65	1,81	0,598	$\bar{I},776$	-0,224
	90	1,95	0,699	$\bar{I},844$	-0,156
	114	2,05	0,780	$\bar{I},892$	-0,108

TABELA 3.1

## VALORES OBSERVADOS E SEUS LOGARITMOS

Amostra	$h_p$ cmca	$y =$ $= \log h_p$	$q_b$ l/seg	$x = \log q_b$	
13	45	1,65	0,423	$\bar{1},626$	-0,374
	66	1,81	0,512	$\bar{1},709$	-0,291
	86	1,93	0,579	$\bar{1},762$	-0,238
	106	2,02	0,646	$\bar{1},810$	-0,190
14	49	1,69	0,541	$\bar{1},733$	-0,267
	68	1,83	0,613	$\bar{1},787$	-0,213
	87	1,93	0,673	$\bar{1},828$	-0,172
	108	2,03	0,749	$\bar{1},874$	-0,126
15	50	1,69	0,535	$\bar{1},728$	-0,272
	68	1,83	0,590	$\bar{1},770$	-0,230
	89	1,94	0,632	$\bar{1},800$	-0,200
	112	2,04	0,692	$\bar{1},840$	-0,160
16	51	1,70	0,535	$\bar{1},728$	-0,272
	70	1,84	0,598	$\bar{1},776$	-0,224
	89	1,94	0,673	$\bar{1},828$	-0,172
	108	2,03	0,692	$\bar{1},840$	-0,160
17	44	1,64	0,476	$\bar{1},677$	-0,323
	67	1,82	0,598	$\bar{1},776$	-0,224
	84	1,92	0,660	$\bar{1},819$	-0,181
	110	2,04	0,741	$\bar{1},869$	-0,131
18	50	1,69	0,568	$\bar{1},754$	-0,246
	71	1,85	0,646	$\bar{1},810$	-0,190
	88	1,94	0,691	$\bar{1},839$	-0,161
	109	2,03	0,773	$\bar{1},888$	-0,112
19	50	1,69	0,508	$\bar{1},705$	-0,295
	70	1,84	0,598	$\bar{1},776$	-0,224
	90	1,95	0,691	$\bar{1},839$	-0,161
	113	2,05	0,761	$\bar{1},881$	-0,119
20	48	1,68	0,535	$\bar{1},728$	-0,272
	67	1,82	0,598	$\bar{1},776$	-0,224
	87	1,93	0,692	$\bar{1},840$	-0,160
	109	2,03	0,786	$\bar{1},895$	-0,105
21	47	1,67	0,488	$\bar{1},688$	-0,312
	65	1,81	0,588	$\bar{1},769$	-0,231
	86	1,93	0,673	$\bar{1},828$	-0,172
	108	2,03	0,741	$\bar{1},869$	-0,131
22	46	1,66	0,524	$\bar{1},719$	-0,281
	69	1,83	0,618	$\bar{1},791$	-0,209
	90	1,95	0,699	$\bar{1},844$	-0,156
	109	2,03	0,724	$\bar{1},859$	-0,141
23	46	1,66	0,568	$\bar{1},754$	-0,246
	71	1,85	0,665	$\bar{1},822$	-0,178
	83	1,91	0,741	$\bar{1},869$	-0,131
	110	2,04	0,831	$\bar{1},919$	-0,081
24	45	1,65	0,463	$\bar{1},665$	-0,335
	67	1,82	0,568	$\bar{1},754$	-0,246
	89	1,94	0,655	$\bar{1},816$	-0,184
	110	2,04	0,724	$\bar{1},859$	-0,141
25	50	1,69	0,488	$\bar{1},688$	-0,312
	69	1,83	0,598	$\bar{1},776$	-0,224
	89	1,94	0,673	$\bar{1},828$	-0,172
	105	2,02	0,741	$\bar{1},869$	-0,131

$$\log q_{bmax} = \log 0,881 = \bar{1},944976 = - 0,055024$$

$$\log q_{bmin} = \log 0,423 = \bar{1},626340 = - 0,373660$$

$$k_2 = 8 \text{ classes}$$

$$h_x = \frac{-0,055024 - (-0,373660)}{8} = 0,039829$$

que também aproximamos para:

$$h_x = 0,04$$

Em seguida devem ser estabelecidos os limites inferiores e superiores para as escalas de x e de y. Estes limites devem englobar todos os valores observados (sob forma logaritmica). Estabelecemos os seguintes limites:

$$L_{xmin} = - 0,37$$

$$L_{xmax} = - 0,09$$

$$L_{ymín} = 1,60$$

$$L_{ymax} = 2,08$$

Como consequência do estabelecimento dos limites inferior e superior da escala dos x, o número de classes  $k_2$  de x passou a ser 9 classes e não 8 como previamente admitido.

E, finalmente, com todos estes valores, faz-se a contagem bidimensional, a partir dos valores logaritimizados para x e y, cujo resultado consta na Tabela 3.2.

Nesta tabela já incluímos os intervalos unitários de classe  $d_{xj}$  e  $d_{yi}$ , para a utilização dos momentos auxiliares.

TABELA 3-2  
DISTRIBUIÇÃO BIDIMENSIONAL LOGARITMIZADA

x <sub>j</sub>		<table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: none;">-0,41</td><td style="border: none;">-0,37</td><td style="border: none;">-0,33</td><td style="border: none;">-0,29</td><td style="border: none;">-0,25</td><td style="border: none;">-0,21</td><td style="border: none;">-0,17</td><td style="border: none;">-0,13</td><td style="border: none;">-0,09</td><td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;">-0,37</td><td style="border: none;">-0,33</td><td style="border: none;">-0,29</td><td style="border: none;">-0,25</td><td style="border: none;">-0,21</td><td style="border: none;">-0,17</td><td style="border: none;">-0,13</td><td style="border: none;">-0,09</td><td style="border: none;">-0,05</td><td style="border: none;"></td> </tr> </table>									-0,41	-0,37	-0,33	-0,29	-0,25	-0,21	-0,17	-0,13	-0,09		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		-0,37	-0,33	-0,29	-0,25	-0,21	-0,17	-0,13	-0,09	-0,05		n <sub>i.</sub>
		-0,41	-0,37	-0,33	-0,29	-0,25	-0,21	-0,17	-0,13	-0,09																															
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----																																	
-0,37	-0,33	-0,29	-0,25	-0,21	-0,17	-0,13	-0,09	-0,05																																	
y <sub>i</sub>	p <sub>xj</sub>		<table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: none;">-0,39</td><td style="border: none;">-0,35</td><td style="border: none;">-0,31</td><td style="border: none;">-0,27</td><td style="border: none;">-0,23</td><td style="border: none;">-0,19</td><td style="border: none;">-0,15</td><td style="border: none;">-0,11</td><td style="border: none;">-0,07</td><td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"> ----- </td><td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;">-0,39</td><td style="border: none;">-0,35</td><td style="border: none;">-0,31</td><td style="border: none;">-0,27</td><td style="border: none;">-0,23</td><td style="border: none;">-0,19</td><td style="border: none;">-0,15</td><td style="border: none;">-0,11</td><td style="border: none;">-0,07</td><td style="border: none;"></td> </tr> </table>									-0,39	-0,35	-0,31	-0,27	-0,23	-0,19	-0,15	-0,11	-0,07		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		-0,39	-0,35	-0,31	-0,27	-0,23	-0,19	-0,15	-0,11	-0,07	
	-0,39	-0,35	-0,31	-0,27	-0,23	-0,19	-0,15	-0,11	-0,07																																
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----																																	
-0,39	-0,35	-0,31	-0,27	-0,23	-0,19	-0,15	-0,11	-0,07																																	
		p <sub>yi</sub>	d <sub>xj</sub>																																						
		d <sub>yi</sub>		-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4																													
1,60	-----  1,66	1,63	-4	1	2	1							4																												
1,66	-----  1,72	1,69	-3		3	6	9	3					21																												
1,72	-----  1,78	1,75	-2										0																												
1,78	-----  1,84	1,81	-1			1	1	9	2	1			14																												
1,84	-----  1,90	1,87	0				1	7	3				11																												
1,90	-----  1,96	1,93	+1					1	11	8	1		21																												
1,96	-----  2,02	1,99	+2					1	2	1			4																												
2,02	-----  2,08	2,05	+3						1	15	7	2	25																												
		n <sub>.j</sub>		1	5	8	11	21	19	25	8	2	100																												

$\bar{d}_x = -0,23$        $h_y = 0,06$        $N = 100$   
 $\bar{d}_y = 1,67$        $h_x = +0,04$

### 3.6 — Cálculo dos Momentos Auxiliares

Para simplificar o cálculo das médias, variâncias e covariância vamos utilizar o processo dito abreviado, por meio das médias provisórias e dos momentos auxiliares.

Então temos:

$$m_{x1} = \frac{1}{N} \sum_j d_{xj} n_j = \frac{-55}{100} = -0,55$$

$$m_{y1} = \frac{1}{N} \sum_i d_{yi} n_i = \frac{+11}{100} = +0,11$$

$$m_{x2} = \frac{1}{N} \sum_j d_{xj}^2 n_j = \frac{+327}{100} = +3,27$$

$$m_{y2} = \frac{1}{N} \sum_i d_{yi}^2 n_i = \frac{+529}{100} = +5,29$$

$$m_{x1y1} = \frac{1}{N} \sum_j \sum_i d_{xj} d_{yi} n_{ij} = \frac{+347}{100} = 3,47$$

sendo  $N = 100$  o número total de observações.

### 3.7 — Cálculo das Medidas Estatísticas

As médias provisórias são:

$$\bar{a}_x = -0,23 \qquad \bar{a}_y = 1,87$$

As médias aritméticas logaritmizadas são:

$$\bar{x} = \bar{a}_x + h_x m_{x1} = -0,23 + 0,04(-0,55)$$

$$\bar{x} = -0,252$$

$$\bar{y} = \bar{a}_y + h_y m_{y1} = 1,87 + 0,06 \times 0,11$$

$$\bar{y} = 1,8766$$

As médias aritméticas verdadeiras são dadas por:

$$\bar{q}_b = \text{antlog } \bar{x} = \text{antlog } (-0,252)$$

$$\bar{q}_b = 0,5598 \text{ 1/seg}$$

$$\bar{h}_p = \text{antlog } \bar{y} = \text{antlog } 1,8766 = 75,27 \text{ cmca}$$

$$\bar{h}_p = 0,7527 \text{ mca}$$

As variâncias:

$$s_x^2 = h_x^2 (m_{x2} - m_{x1}^2) = (0,04)^2 [3,27 - (-0,55)^2]$$

$$s_x^2 = 0,004748$$

$$s_y^2 = h_y^2 (m_{y2} - m_{y1}^2) = (0,06)^2 [5,29 - (0,11)^2]$$

$$s_y^2 = 0,019000$$

E, a covariância:

$$s_{xy} = h_x h_y (m_{x1y1} - m_{x1} m_{y1}) = 0,04 \times 0,06 [3,47 - (-0,55)(0,11)]$$

$$s_{xy} = 0,008473$$

### 3.8 — Equações de Regressão

Os coeficientes são dados por:

$$b_{12} = \frac{s_{xy}}{s_x^2} = \frac{0,008473}{0,004748} = 1,78458$$

$$b_{12} = 1,78458$$

$$b_{21} = \frac{S_{xy}}{s_y^2} = \frac{0,008473}{0,019000}$$

$$b_{21} = 0,44595$$

$$a_1 = \bar{y} - b_{12} \bar{x} = 1,8766 - 1,78458 \times (-0,252)$$

$$a_1 = 2,326$$

$$a_2 = \bar{x} - b_{21} \bar{y} = -0,252 - 0,44595 \times 1,8766$$

$$a_2 = -1,089$$

com os quais montamos as equações lineares de regressão:

$$y_i = 2,326 + 1,785 x \quad (1.3)$$

$$x_i = -1,089 + 0,446 y \quad (1a.3)$$

Estas equações estão sob a forma linearizada. Para retornar à forma natural temos que considerar as eq. (7a.2) e (9b.2):

$$h_{pi} = \text{antlog } y_i$$

$$q_{bi} = \text{antlog } x_i$$

$$a = \text{antlog } a_1 = \text{antlog } 2,326 = 212$$

$$b = b_{12} = 1,785$$

$$h_{pi} = 212 q_{bi}^{1,785} \quad (11.3)$$

e também:

$$q_{bi} = \text{antlog } x_i$$

$$h_{pi} = \text{antlog } y_i$$

$$a' = \text{antlog } a_2 = \text{antlog } (-1,089) = 0,0815$$

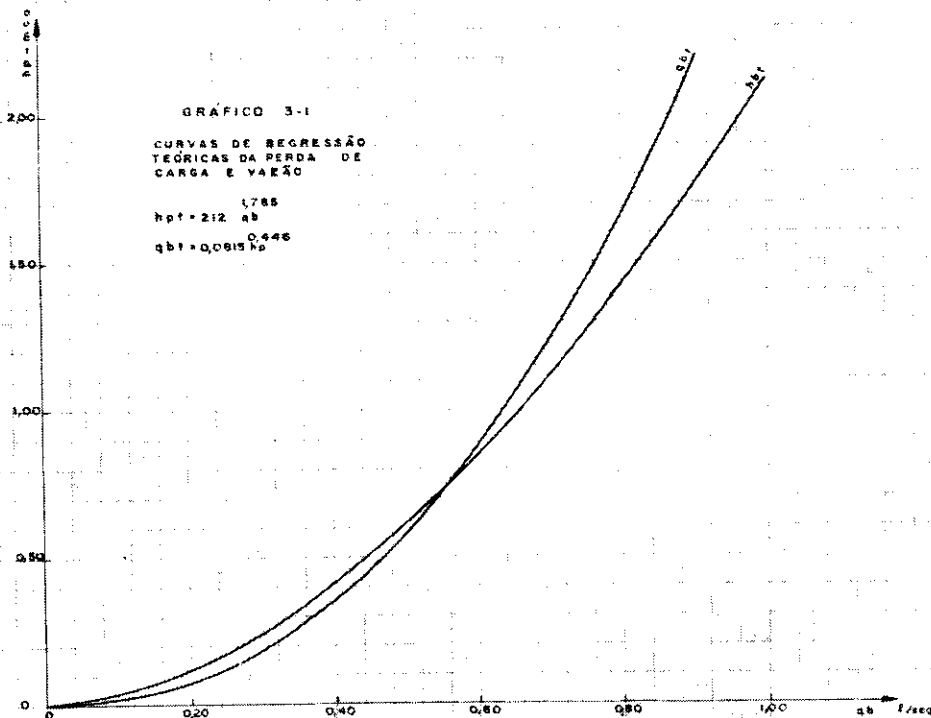
$$b' = b_{21} = 0,446$$

$$q_{bi} = 0,0815 h_{pi}^{0,446} \quad (11a.3)$$

As equações (11.3) e (11a.3) são as duas equações de resistência dos bocais do tipo estudado.

Os valores das perdas de carga são estimados pela eq. (11.3), e os da vazão pela eq. (11a.3), pois elas são estatisticamente irreversíveis.

Com estas equações construímos o Gráfico 3.1, contendo as duas curvas  $h_{pi}$  e  $q_{bi}$ . Este gráfico será utilizado no dimensionamento do fundo do filtro em estudo. As curvas se cruzam no ponto  $P(\bar{q}_b, \bar{h}_p)$ , como se pode observar.



J.C.D.M. 1967.

### 3.9 — Vazão de Lavagem

As vazões de lavagem são:

$$Q_{\min} = 970 \text{ l/seg}$$

$$Q_{\max} = 1.212 \text{ l/seg}$$

e a vazão média será:

$$Q_m = \frac{Q_{\min} + Q_{\max}}{2} = \frac{970 + 1.212}{2}$$

$$Q_m = 1.091 \text{ l/seg} \quad (12.3)$$

### 3.10 — Perda de Carga Média

Na eq. (8.1) constam as perdas de carga mínima e máxima permitidas pelas especificações. Tomaremos o valor médio:

$$h_{p\text{med}} = \frac{h_{p\min} + h_{p\max}}{2} = \frac{0,50 + 1,00}{2}$$

$$h_{p\text{med}} = 0,75 \text{ mca} \quad (12a.3)$$

Com este valor da perda de carga entra-se no Gráfico 3.1, e, usando a curva  $q_{b1}$ , procura-se no eixo das abscissas o valor de  $q_{b1}$ :

$$q_{b1} = 0,56 \text{ l/seg} \quad (12b.3)$$



### 3.11 — Quantidade de Bocais

Empregando-se a eq. (12.2) ter-se-á a quantidade de bocais por filtro:

$$N_b = \frac{Q_m}{q_{bt}} = \frac{1,091}{0,56}$$
$$N_b = 1,948 \text{ bocais} \quad (12c.3)$$

### 3.12 — Espaçamento Entre Bocais

Emprega-se a eq. (15.2). As dimensões horizontais de cada câmara filtrante são:

$$x_o = 18,972 \text{ m}$$

$$y_o = 5,03 \text{ m}$$

então:

$$e_p = \sqrt{\frac{x_o y_o}{N_b}} = \sqrt{\frac{18,972 \times 5,03}{1,948}}$$
$$e_p = 0,2213 \text{ m}$$

Ora, o espaçamento de 0,2213 m não facilita a colocação dos bocais na lage, embora o seu valor esteja dentro das especificações.

Então, adotamos o espaçamento definitivo como sendo de 0,22 m:

$$e = 0,22 \text{ m} \quad (12d.3)$$

### 3.13 — Arranjo dos Bocais

O número de bocais na direção x e na direção y é dado pelas eq. (13.2) e (13a.2), já para o espaçamento definitivo:

$$N_x = \frac{x_o}{e} = \frac{18,972}{0,22} = 86,2 \cong 86 \text{ bocais}$$

$$N_x = 86 \text{ bocais}$$

$$N_y = \frac{y_o}{e_y} = \frac{5,03}{0,22} = 22,8 \cong 22 \text{ bocais}$$

$$N_y = 22 \text{ bocais}$$

O comprimento total interno entre bocais adjacentes extremos, na direção de x é:

$$A_x = e(N_x - 1) = 0,22(86 - 1) = 18,70 \text{ m}$$

sobrando para o espaçamento dos bocais adjacentes às paredes, na mesma direção de x:

$$e_x = \frac{x_o - A_x}{2} = \frac{18,972 - 18,70}{2}$$
$$e_x = 0,136 \text{ m}$$

Para os bocais adjacentes na direção de y temos sucessivamente:

$$A_y = e(N_y - 1) = 0,22(22 - 1) = 4,62 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{y_1 - A_y}{2} = \frac{5,03 - 4,62}{2}$$

$$e_y = 0,205 \text{ m}$$

Com isto temos o fundo do filtro completamente dimensionado. Na fig. 3.1 pode-se ver em planta o arranjo dos bocais.

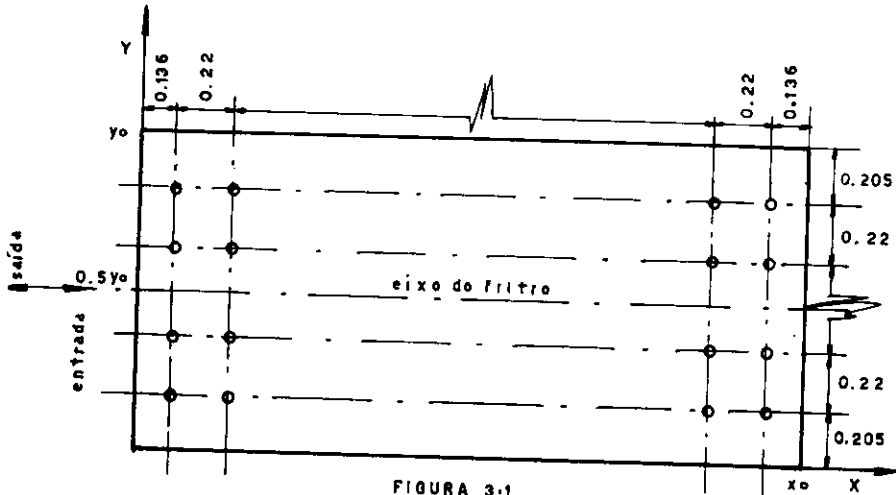


FIGURA 3.1  
ARRANJO DOS BOCAIS

### 3.14 — Verificação das Perdas de Carga

Com o ajustamento feito entre o espaçamento provisório e o adotado em definitivo, houve uma diminuição no número de bocais.

Assim, o número definitivo de bocais passou a ser de:

$$N_d = N_x N_y = 86 \times 22$$

$$N_d = 1.892 \text{ bocais}$$

Com isto teremos que, para a vazão mínima de lavagem, a vazão por bocal será de:

$$q_{b\min} = \frac{Q_{\min}}{N_d} = \frac{970}{1.892} = 0,513 \text{ l/seg}$$

cuja perda de carga será determinada pelo Gráfico 3.1, curva  $h_{pt}$ :

$$h_{p\min} = 0,64 \text{ mca}$$

Para a vazão máxima de lavagem teremos sucessivamente:

$$q_{b\max} = \frac{Q_{\max}}{N_d} = \frac{1.212}{1.892} = 0,641 \text{ l/seg}$$

usando a mesma curva  $h_{pt}$  teremos:

$$h_{p\max} = 0,94 \text{ mca}$$

Na Fig. 3.1 consta o arranjo dos bocais.

## SUMÁRIO

O Autor estabelece um método racional para o dimensionamento de fundos de filtros com bocais. O estabelecimento deste método envolve a determinação experimental das curvas de vazão e de perda de carga dos bocais, tendo sido utilizado o método estatístico da regressão.

Faz algumas considerações teóricas sobre o funcionamento dos filtros rápidos de gravidade, expõe a teoria matemática do método, e, finalmente, apresenta um exemplo real de aplicação do mesmo.

## SUMMARY

The Author establishes a method to calculate a filter bottom with nozzles. This method involves the experimental determination of the rate of flow and loss of head curves of the nozzles, by the statistical regression analysis.

He does some consideration about the gravity rapid sand filters, explains the mathematical theory of the method, and, finally, presents a practical example to use the method.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 — AZEVEDO NETTO, J. M. — "Manual de Hidráulica", 4.<sup>a</sup> ed., Editora Edgar Blucher e Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1966.
- 2 — FAIR, GEYR & MORRIS — "Water Supply and Waste-Water Disposal", John Wiley & Sons, N. Y., 1963.
- 3 — PIMENTA, CARLITO FLÁVIO — "RELATÓRIO", Serviço de Pesquisas Hidráulicas, Escola Politécnica da USP e DAEE de São Paulo, 22-2-1962.

---

## IN MEMORIAM

### ENGENHEIRO MÁRIO MARCHETTI

Faleceu no dia 3 de Abril, nesta Capital, o senhor Mário Marchetti, engenheiro aposentado do D. A. E. Diplomado em engenharia civil pela Escola de Engenharia Mackenzie, ingressou na antiga Repartição de Águas e Esgotos de São Paulo (R. A. E.), exercendo inicialmente suas funções na Secção de Hidrômetros e Consumo, sendo logo após transferido para a Secção de Obras Novas. Em 1947, chefiou a Secção de Patrimônio e Arquivo, onde além de suas atribuições normais, contribuiu para a solução de vários problemas de ordem legal, visto possuir a carteira profissional de advogado provisionado, atividade que exercera na Comarca de Mogi Mirim, antes de seu ingresso no serviço público, nos trabalhos de divisão e demarcação de terras. Com a organização do Quadro dos Serviços Industriais, foi designado para exercer a Chefia da Secção de Almoxarifado da R. A. E. e representante desta Repartição na Comissão Central de Compras.

Em 1954, com a criação do Departamento de Águas e Esgotos (D. A. E.) como entidade autárquica, o engenheiro Mário Marchetti foi removido para a Chefia da Secção dos Transportes e posteriormente para a Chefia da Secção de Emissários e Estações Elevatórias de Esgotos. Organizado o Quadro de Servidores do D. A. E., foi nomeado Chefe da Secção do Patrimônio e Arquivo Técnico onde se manteve até ser aposentado, em 1965.

Apresentamos à família enlutada as nossas condolências.