

Estudo das influências das características hidráulicas e da camada de areia na filtração ascendente

LUIZ DI BERNARDO (*)
RUBEM M. P. MOURA (**)
JOÃO D. RAZABONI (***)
ROSEMIRO J. REZENDE (***)

RESUMO

A filtração ascendente é um método comumente considerado dentre as diversas alternativas para o tratamento de águas de abastecimento, devido à sua simplicidade de operação, baixo custo de implantação e economia de produtos químicos. No Brasil, essa técnica foi difundida no início da década de setenta e permanecem, até o momento, os critérios de projeto recomendados naquela época.

Considerando que as características hidráulicas e do meio filtrante não se encontram devidamente investigadas, os autores deste trabalho decidiram realizar estudos teóricos e experimentais sobre a filtração ascendente, e em síntese, chegaram à conclusão de que é possível de se obter efluentes de qualidade satisfatória para taxas de filtração compreendidas entre 120 e 240 m³/m² . dia, que a altura de água sobre o topo da camada de areia não interfere na eficiência de filtração e que a granulometria da areia e a camada suporte exercem influência significativa na filtração ascendente.

- (*) Docente do Departamento de Hidráulica e Saneamento – EESC-USP.
(**) Docente da Universidade Federal de Mato Grosso – Cuiabá.
(***) Pós-graduandos do Departamento de Hidráulica e Saneamento – EESC-USP.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser utilizado com sucesso em alguns países europeus e americanos (1, 2, 3, 4), a filtração ascendente não tem recebido a devida atenção por parte de pesquisadores e projetistas no Brasil, onde foi difundida no início da década de setenta. Não obstante a economia e simplicidade de operação de uma instalação deste tipo, a tecnologia da filtração ascendente evoluiu muito pouco no Brasil, pois as características e parâmetros recomendados quando introduzida no Brasil (5, 6), são praticamente os mesmos constantes de capítulo específico so-

bre a filtração ascendente, de livro sobre tratamento de água revisado há pouco tempo (7). Apresentam-se, a seguir, as características que a água bruta deveria apresentar para que a filtração ascendente fosse aplicável: (i) pouco poluídas; (ii) pouco contaminadas; (iii) de turbidez baixa e geralmente, inferior a 50 UT; (iv) teor de sólidos suspensos inferior a 150 mg/l; (v) sem variações rápidas de qualidade.

Além destas limitações ao emprego da filtração ascendente, há que se ressaltar a altura exagerada da caixa do filtro, como mostra a figura 1 (7).

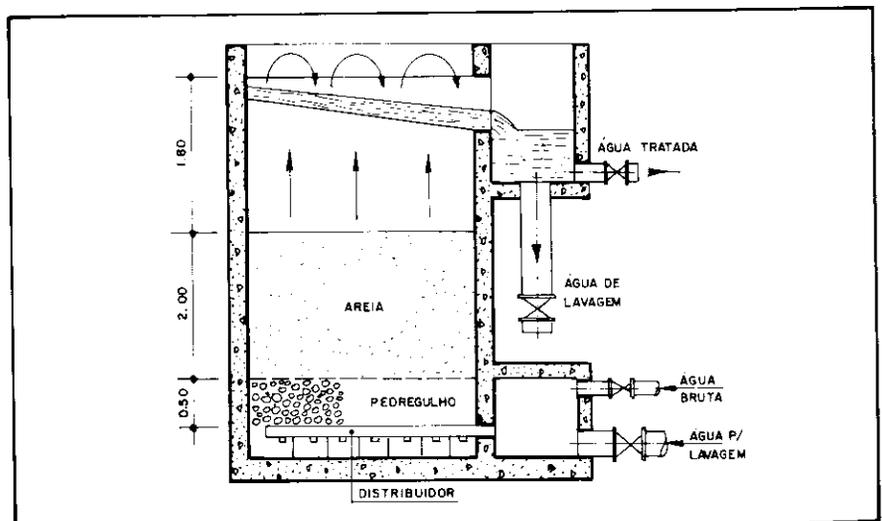


Fig. 1 – Esquema Geral de um Filtro de Fluxo Ascendente (7)

Em geral, as recomendações apresentadas na referência 7 são normalmente seguidas para a escolha e projeto de filtros de fluxo ascendente no Brasil. Considerando que algumas destas recomendações são decorrentes de investigações realizadas em outros países, e que muitas vezes, não se adaptam às condições brasileiras, os autores deste trabalho decidiram realizar uma pesquisa com os seguintes objetivos: (1) apresentar algumas características sobre a teoria da fluidificação de meios porosos; (2) verificar a influência da taxa de filtração, granulometria e espessura da camada filtrante na eficiência de filtração; (3) verificar a influência que a altura de água sobre o topo da camada filtrante exerce na eficiência da filtração ascendente.

2. FLUIDIFICAÇÃO DE MEIOS POROSOS CONSTITUÍDOS DE GRÃOS ESFÉRICOS – APLICAÇÃO DOS FILTROS DE FLUXO ASCENDENTE

As características hidráulicas do escoamento em meios porosos expandidos diferem consideravelmente daquelas resultantes do escoamento em meios porosos fixos. Seja um meio poroso limpo, mostrado na figura 2, onde se tem os seguintes casos: (i) a velocidade ascensional é baixa e a porosidade inicial permanece inalterada; (ii) aumentando-se a velocidade ascensional, os grãos tendem a se orientar, porém, a força resultante da passagem do fluxo ascendente é ainda inferior ao peso dos grãos; (iii) aumentando-se ainda mais a velocidade ascensional, a força devida ao atrito entre água e grãos supera o peso dos mesmos e ocorre a fluidificação, isto é, os grãos ficam suspensos no meio poroso expandido.

Conhecendo-se as características do meio poroso, como diâmetro dos grãos e densidade e as da água, como viscosidade e massa específica, é possível determinar a velocidade mínima de fluidificação. Segundo Armitharajah (8),

a velocidade mínima de um meio poroso constituído de grãos esféricos e de tamanho uniforme é dada por:

$$V_{mf} = \frac{\nu}{D_e} \left(\sqrt{1135 + 0,0408 G_a} - 33,7 \right) \quad (1)$$

onde:

V_{mf} = velocidade mínima de fluidificação (cm/s)

ν = viscosidade cinemática da água (cm²/s)

D_e = diâmetro dos grãos (cm)

G_a = número de Galileo

Segundo Armitharajah (8), o número de Galileo é determinado através do emprego da seguinte equação:

$$G_a = \frac{D_e^3 \cdot P_a}{\mu^2} \cdot (\gamma_s - \gamma_a) \quad (2)$$

onde:

μ = viscosidade absoluta da água (g . s/cm²)

P_a = massa específica da água (g . s²/cm⁴)

γ_s = peso específico dos grãos (g/cm³)

γ_a = peso específico da água (g/cm³)

Considerando-se um filtro de fluxo ascendente com meio filtrante preparado entre as peneiras nº 8 (2,362 mm) e 28 (0,589 mm) da série de Tyler conforme recomendação da referência 7, o caso mais crítico durante a filtração é o da fluidificação dos grãos. Assumindo-se que tais grãos sejam esféricos e que a temperatura da água seja de 20° C, tem-se:

$$G_a = \frac{(0,0589)^3 \cdot 1,01 \times 10^{-3}}{(1,03 \times 10^{-5})^2} \cdot (2,65 - 1,00) = 3178$$

$$V_{mf} = \frac{1,01 \times 10^{-2}}{0,0589} \left(\sqrt{1135 + 0,0408 \times 3178} - 33,7 \right) = 0,319 \text{ cm/s}$$

ou

$$V_{mf} = 276 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$$

Portanto, não ocorrerá, teoricamente, a fluidificação do topo da camada filtrante se a taxa de filtração for inferior a 276 m³/m² . dia, valor este, bem superior aos normalmente recomendados. É evidente que a taxa de filtração poderá ser tanto maior quanto maior for o tamanho do menor grão da camada filtrante.

3. HIDRÁULICA DA FILTRAÇÃO ASCENDENTE

Em função da magnitude da velocidade ascensional, o escoamento ascendente pode resultar turbulento, de transição ou laminar. Os dois primeiros casos ocorrem durante a lavagem do filtro enquanto que, para velocidades baixas como no caso da filtração ascendente, o regime de escoamento é laminar e, portanto, a perda de carga pode ser calculada, teoricamente, através da fórmula de Karman – Kozeny, apresentada a seguir:

$$\frac{h}{L} = 150 \frac{\mu}{P_a \cdot g} \cdot \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} \cdot \left(\frac{S_v}{6} \right)^2 \cdot v_a \quad (3)$$

onde:

h = perda de carga na camada filtrante de espessura L (cm)

ϵ = porosidade do meio filtrante

v_a = velocidade ascensional (cm/s)

S_v = superfície específica (cm²/cm³)

A superfície específica, que representa a área superficial dos grãos por unidade de volume do meio poroso, é determinada por uma das duas equações a seguir:

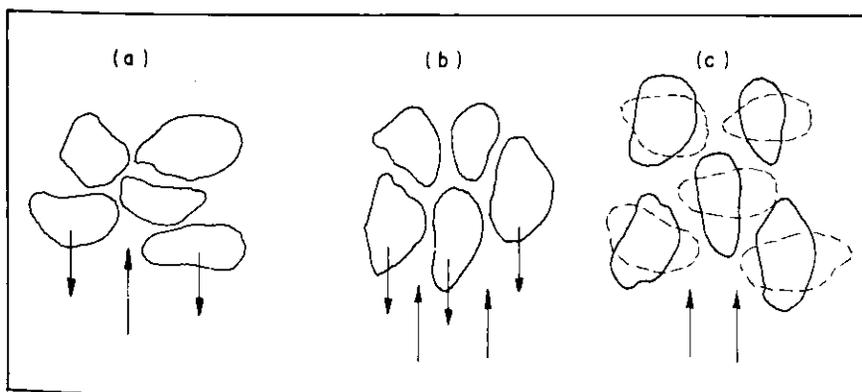


Fig. 2 – Variações do Meio Poroso Durante a Lavagem

- Grãos esféricos

$$S_v = \frac{6}{D_e} \quad (4)$$

- Grãos não esféricos

$$S_v = \frac{6}{C_e \cdot D_e} \quad (5)$$

onde:

C_e = coeficiente de esfericidade (igual a relação entre a área superficial de uma esfera de volume igual ao do grão e a área superficial do grão)

No caso de grãos esféricos, D_e representa o diâmetro dos grãos enquanto que, para grãos não esféricos, D_e é geralmente considerado igual à média geométrica dos tamanhos das aberturas das malhas de duas peneiras consecutivas da série de preparação. Quando se tem um meio filtrante não uniforme, como no caso da camada de areia de um filtro de fluxo ascendente, emprega-se a fórmula proposta por Fair-Hatch (9), apresentada a seguir:

$$\frac{h}{L} = 150 \cdot \frac{\mu}{\rho_a \cdot g} \cdot \frac{V_a}{C_e^2} \cdot \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{ei}^2} \quad (6)$$

onde:

D_{ei} = tamanho médio de duas peneiras consecutivas da série granulométrica (cm)

x_i = fração, em peso, da quantidade de material filtrante entre duas peneiras consecutivas da série granulométrica

A perda de carga na camada suporte pode ser determinada pelo emprego da equação 6 para cada subcamada ao se fazer $x_i = 1$. A perda de carga nas canalizações e acessórios é geralmente, determinada pela fórmula universal.

Designando de H_1 a perda de carga no meio filtrante limpo, de H_2 a perda de carga na camada suporte e de H_3 a perda de carga nas canalizações e acessórios, a condição para que, no início, se tenha uma determinada taxa de filtração, é que a carga hidráulica disponível iguale à perda de carga total H_0 , igual a soma ($H_1 + H_2 + H_3$). Com o decorrer do tempo de funcionamento, aumenta a perda de carga na camada filtrante, que é função do volume de partículas retidas. Em um tempo t qualquer, a carga hidráulica disponível deverá ser igual à perda de carga total H_t para que seja mantida aquela taxa de filtração inicial, como se pode observar na Fig. 3.

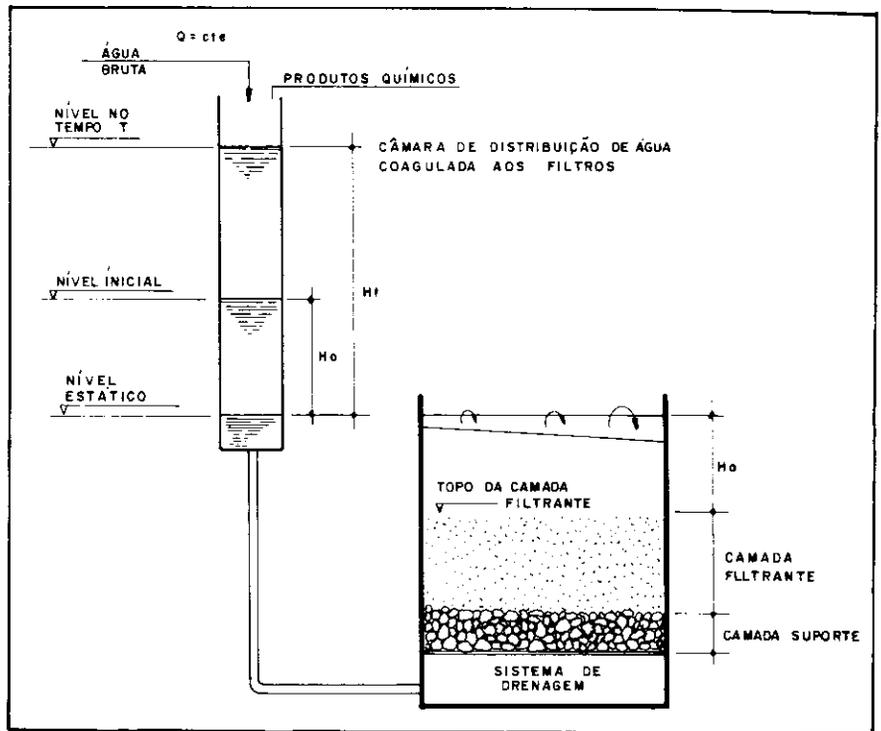


Fig. 3 – Esquema do Filtro Ascendente Ilustrando as Perdas de Carga

A altura de água sobre o topo da camada de areia, isto é, a distância entre a borda da calha de coleta e a superfície da camada de areia, H_a , deveria ser ligeiramente superior à aquela resultante da expansão desejada durante a lavagem, ao contrário do valor recomendado, entre 1,8 e 2,3 m. É evidente na Fig. 3 que, quanto maior o valor de H_a , maior a altura da caixa do filtro e consequentemente mais elevados seriam os níveis na câmara de distribuição de água coagulada aos filtros.

4. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

4.1. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO PILOTO

A investigação experimental foi realizada utilizando-se da água coagulada da ETA de São Carlos e empregando-se uma instalação piloto constituída de: 1 filtro de seção quadrada (20 x 20 cm), constituído em chapa inóx e com um visor de acrílico em uma das faces, com altura de 3,0 m e sistema de drenagem constituído de 9 bocais difusores; 1 duto com as mesmas características do filtro, com comprimento igual a 1,0 m, constituindo o segmento destinado a aumentar a altura do filtro; 1 rotâmetro para medida de vazão afluente; 1 bomba centrífuga para recalque de água coagulada a uma caixa de nível constante; compressor para lavagem auxiliar com ar; quadro de manômetros e dispositivos de coleta de amostras

tras instaladas ao longo do filtro. As Figs. 4 e 5 apresentam, respectivamente, duas fotos e o esquema geral da instalação piloto.

Basicamente, o afluente à instalação piloto era bombeado, de um ponto localizado alguns metros a jusante da câmara de mistura rápida mecanizada da ETA, para uma caixa provida de extravasor, instalada no terceiro pavimento do prédio principal da ETA. Desta caixa, partia uma canalização de PVC rígida, provida de rotâmetro, que era conectada na parte inferior do filtro. Os coletores de amostra e os piezômetros foram instalados na mesma altura e igualmente espaçados (20 cm), a partir do início da camada de areia. A coleta do efluente era feita por meio do vertedor executado em uma das paredes do filtro. A Fig. 6 apresenta as características principais do filtro. A referência 10 mostra todos os detalhes do filtro e acessórios da instalação piloto utilizada.

4.2. METODOLOGIA

Para cada filtro foram empregadas as seguintes taxas de filtração: 120, 150, 180, 210 e 240 $m^3/m^2 \cdot dia$. Durante cada ensaio, foram coletadas amostras de água ao longo da espessura da camada filtrante e ao mesmo tempo, foram lidos os níveis nos piezômetros. O critério empregado para encerrar a carreira de filtração era baseado na turbidez limite da água filtrada igual a 5,0 UT ou perda de carga total igual a 2,40 m, embora a instalação permitisse a ocor-

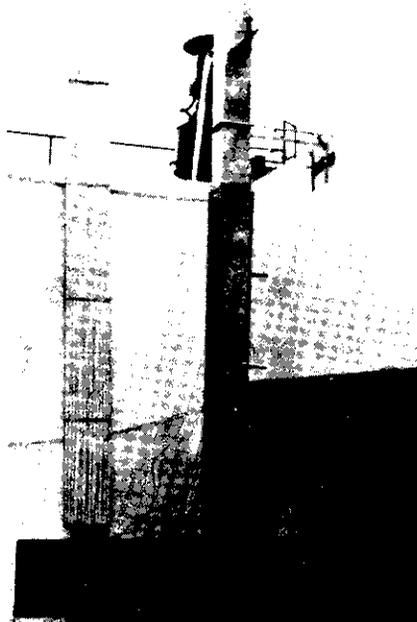
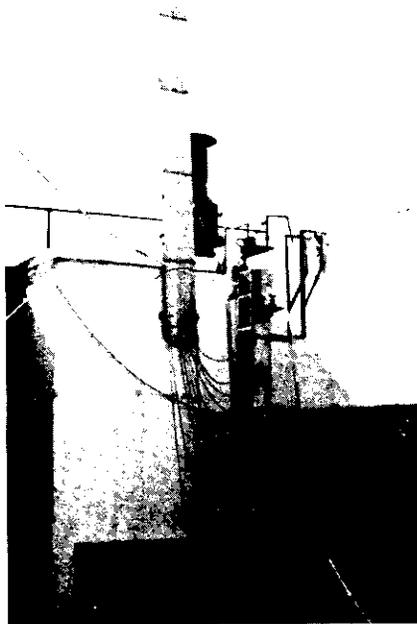


Fig. 4 - Fotos ilustrando a Instalação Piloto

rência de uma perda de carga total de até 3,0 m.

A lavagem do meio filtrante era feita empregando-se ar durante 5 minutos e água para produzir uma expansão de 15 a 20%.

A camada suporte foi mantida inalterada durante os estudos e consistia das subcamadas apresentadas no Quadro I.

QUADRO I - CAMADA SUPORTE

Posição	Espessura (mm)	Tamanho (mm)
Fundo	150	63,50 a 31,70
1ª	90	31,70 a 19,10
2ª	70	19,10 a 12,70
3ª	70	12,70 a 4,76
Topo	70	4,76 a 2,00

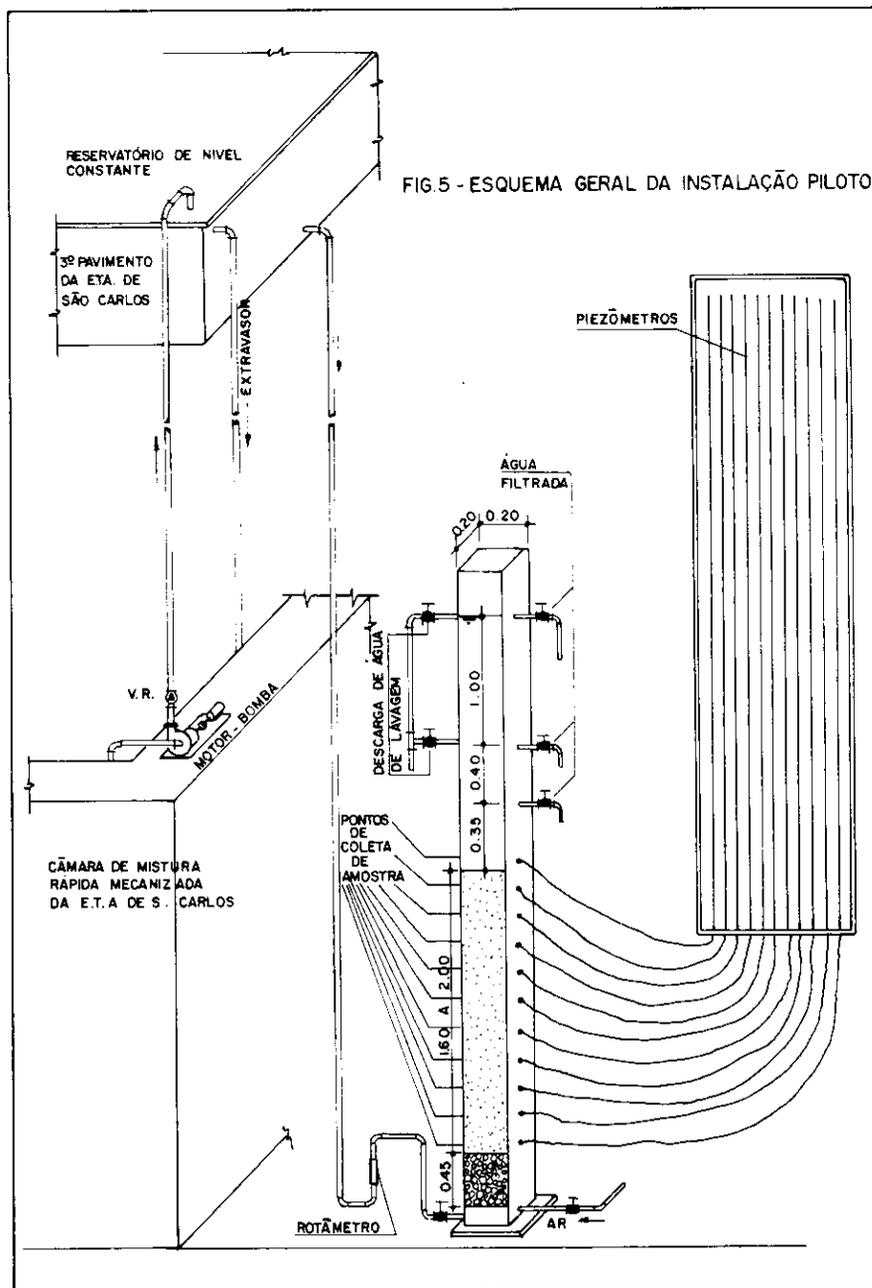


Fig. 5 - Esquema Geral da Instalação Piloto

QUADRO II - CARACTERÍSTICAS DO MEIO FILTRANTE

Designação	Espessura da Camada (cm)	Altura total dos Filtros (cm)	Altura de Água sobre o Topo da Camada Filtrante (cm)	Granulometria			
				Menor grão (cm)	Maior grão (cm)	Tamanho Efetivo (cm)	Coefficiente de Desuniformidade
F ₁	160	3,00	0,75	0,42	0,84	0,65	1,6
F ₂	200	3,00	0,35	0,59	1,19	0,80	1,2
F ₃	200	3,00	0,35	0,59	1,41	1,00	1,3
F ₄	180	4,20	1,75	0,59	1,41	0,80	1,2

O Quadro II apresenta as características das camadas filtrantes utilizadas e as alturas de água resultantes sobre o topo das respectivas camadas de areia.

4.3. RESULTADOS

O Quadro III apresenta os valores médios da perda de carga na camada suporte limpa em função da taxa de filtração.

QUADRO III - PERDA DE CARGA NA CAMADA SUPORTE

Taxa de Filtração (m ³ /m ² . dia)	Perda de Carga (mm)
120	21,5
150	22,5
180	23,5
210	24,5
240	25,5

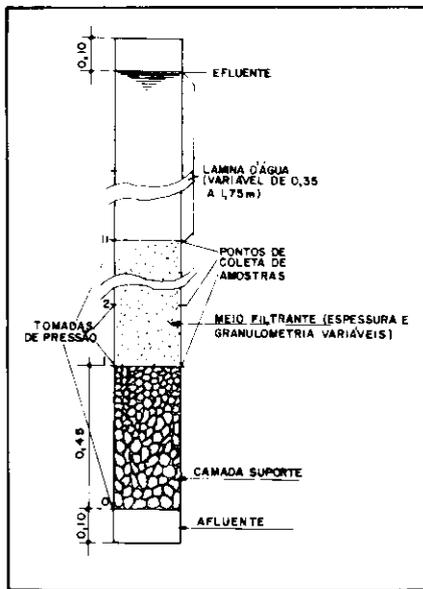


Fig. 6 - Esquema do Filtro Piloto

O Quadro IV apresenta, de forma resumida, os resultados obtidos, referentes a todos os ensaios realizados.

As figuras 7, 8 e 9 apresentam, respectivamente, os resultados típicos de perda de carga e turbidez da água filtrada em função do tempo de funcionamento, perda de carga em função da espessura da camada de areia para diferentes tempos de funcionamento e turbidez da água bruta e água filtrada em função do tempo de funcionamento para diferentes espessuras da camada de areia, referentes ao filtro I operado com a taxa de filtração de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$. De modo análogo, as figuras 10, 11 e 12 apresentam os resultados referentes ao filtro II, operado com a taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$; as figuras 13, 14 e 15, apresentam os dados referentes ao filtro III, operado com a taxa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$; as figuras 16, 17 e 18, apresentam os dados referentes ao filtro IV operado com a taxa de filtração de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

4.4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O Quadro IV, que apresenta um resumo dos resultados, mostra que, de um modo geral, a água produzida apresenta turbidez inferior a 5 UT (valor permitido pela Norma Brasileira). Este Quadro mostra também, que mesmo para valores de turbidez do afluente considerados elevados, o efluente apresentou turbidez inferior a 5,0 UT. Com relação à qualidade do afluente, é conveniente ainda ressaltar que, durante a realização do ensaio F_{1a} , houve aumento repentino de turbidez do afluente ao filtro, causado pela ocorrência de chuva sem, no entanto, ser verificada variação da qualidade do efluente do fil-

QUADRO IV

FILTRO	TAXA $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	ALTURA DO LEITO (cm)	LÂMINA DE ÁGUA (cm)	PERDA DE CARGA FIBAL (cm)	TEMPO DE FUN- CIONAMENTO (h)	DOSAGEM SULFATO (mg/l)			TURBIDEZ ÁGUA BRUTA (UT)			TURBIDEZ ÁGUA COAGULADA (UT)			TURBIDEZ ÁGUA FILTRADA (UT)		
						MAX	MIN	MEQ	MAX	MIN	MEQ	MAX	MIN	MEQ	MAX	MIN	MEQ
F_{1a}	120	160	75		53,3	45,2	14,2	20,8	55,0	13,0	33,8	92,0	15,0	59,7	5,0	0,12	0,71
F_{1b}	150	160	75	262	25,0	22,2	13,3	18,8	22,0	12,0	16,3	25,0	15,0	19,8	0,80	0,10	0,24
F_{1c}	180	160	75	273	22,0	30,7	17,9	27,1	32,0	17,0	22,1	30,0	22,0	24,8	1,50	0,12	0,47
F_{1d}	210	160	75	285	19,0	15,5	15,5	15,5	20,0	15,0	16,6	22,0	15,0	17,6	2,00	0,15	0,56
F_{1e}	240	160	75	292	15,5	18,5	15,6	15,9	17,0	12,0	14,4	17,0	13,0	15,0	1,60	0,12	0,47
F_{2a}	120	200	35	237	46,0	17,7	14,4	15,6	28,0	13,0	18,0	29,0	15,0	21,0	1,0	0,15	0,32
F_{2b}	150	200	35	245	30,0	26,0	15,5	16,8	37,0	12,0	19,8	28,0	14,0	18,9	0,9	0,15	0,42
F_{2c}	180	200	35	183	17,0	21,9	17,4	19,5	53,0	39,0	44,8	57,0	37,0	46,2	5,0	0,32	1,42
F_{2d}	210	200	35	245	17,0	22,1	17,4	20,0	33,0	21,0	27,1	35,0	24,0	28,6	5,0	0,20	1,29
F_{2e}	240	200	35	195	12,5	39,6	17,4	28,2	36,0	23,0	26,5	42,0	26,0	29,6	5,0	0,22	1,40
F_{3a}	120	200	35	193	39,0	20,4	17,2	17,9	58,0	27,0	38,0	64,0	30,0	42,0	5,0	0,35	1,33
F_{3b}	150	200	35	184	33,0	17,9	17,9	17,9	31,0	24,0	26,5	36,0	28,0	31,4	5,0	0,32	0,92
F_{3c}	180	200	35	130	10,3	17,9	15,4	16,9	24,0	20,0	22,8	27,0	23,0	24,0	5,0	0,42	1,24
F_{3d}	210	200	35	113	18,0	18,4	18,4	18,4	23,0	19,0	21,2	26,0	22,0	23,8	2,0	0,45	0,69
F_{3e}	240	200	35	121	15,7	18,4	15,7	18,1	23,0	18,0	20,4	25,0	21,0	22,6	5,0	0,47	1,23
F_{4a}	120	180	175	284	42,0	17,4	13,0	15,2	41,0	18,0	25,4	28,0	21,0	23,4	2,0	0,20	0,49
F_{4b}	180	180	175	212	24,0	17,0	17,0	17,0	37,0	19,0	24,1	43,0	23,0	27,5	5,0	0,20	0,81
F_{4c}	240	180	175	146	7,0	17,4	16,7	17,3	97,0	26,0	45,2	6,7	6,4	6,6	0,97	0,25	0,42

tro. Apesar de especulativa, a hipótese de que as variações da qualidade de água bruta não causem variações sensíveis no efluente quando o filtro já se encontra em funcionamento há algum tempo (algumas horas) é a que melhor se adapta aos resultados obtidos.

Como era de se esperar, a altura da lâmina líquida sobre o topo da camada de areia não exerceu influên-

cia sobre a qualidade da água filtrada, mesmo quando a lâmina era de 35 cm. Na realidade, com a lâmina líquida de 175 cm, a lavagem se tornou mais difícil, exigindo uma expansão maior e tempo de lavagem superior à aqueles utilizados quando a lâmina líquida era de 35 ou 75 cm.

Um fato muito interessante e que foi verificado em, praticamente, todos os ensaios, é a importância da ca-

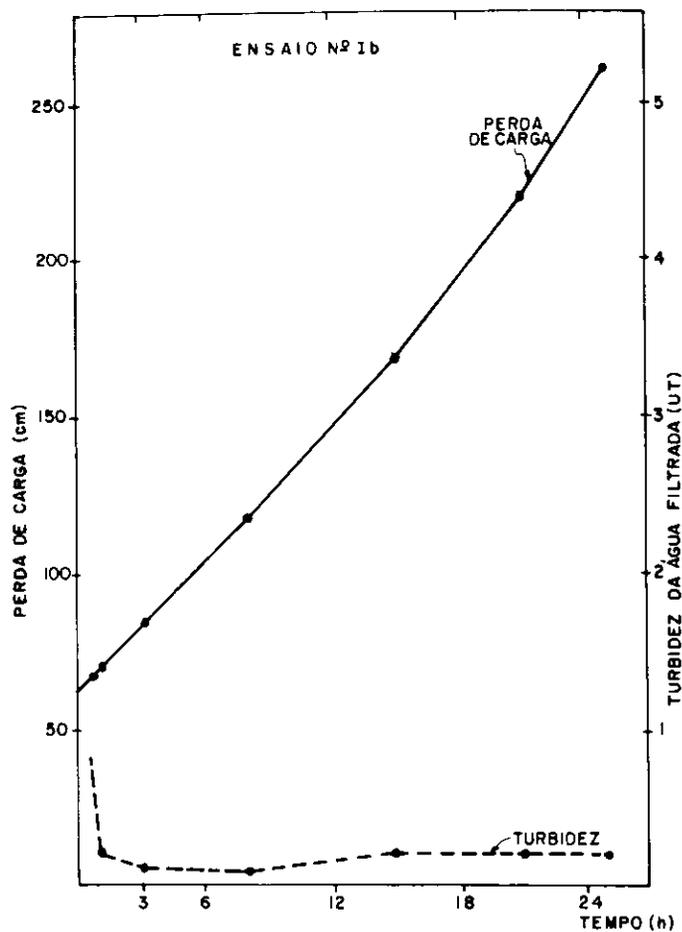


FIG. 7

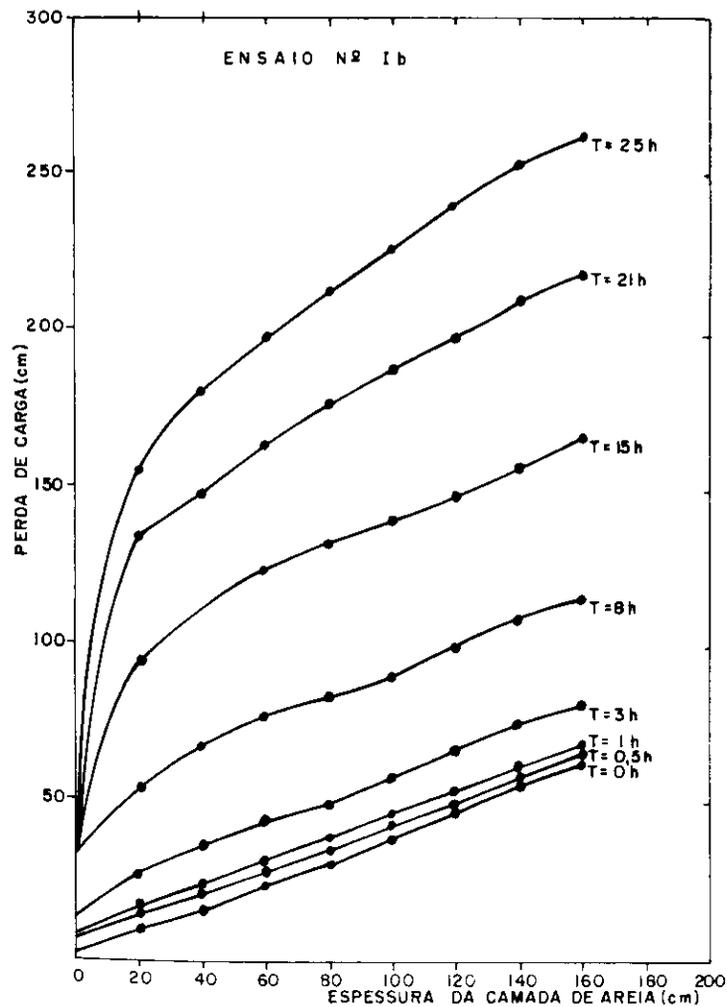


FIG. 8

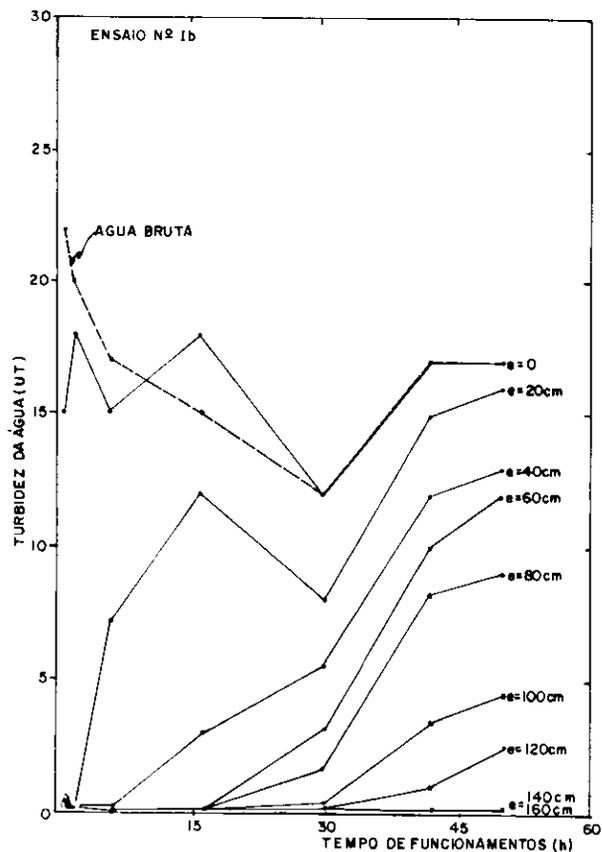


FIG. 9

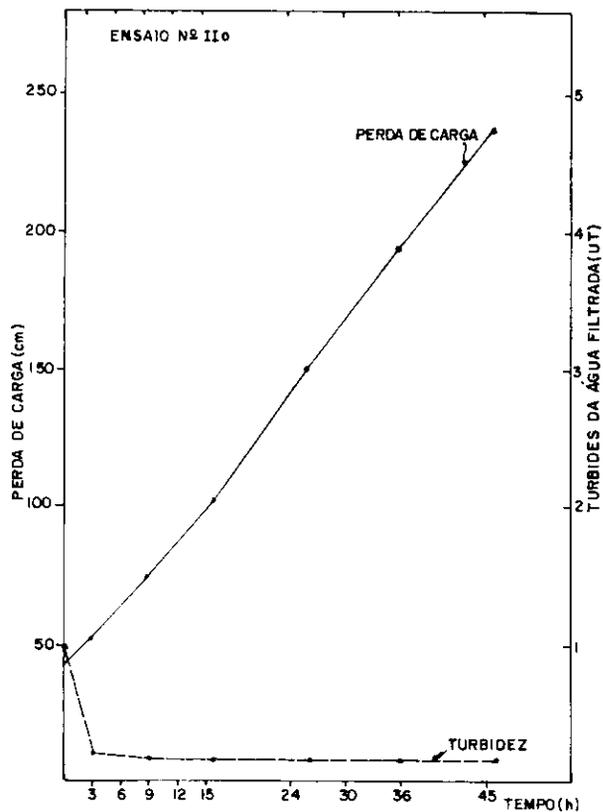


FIG. 10

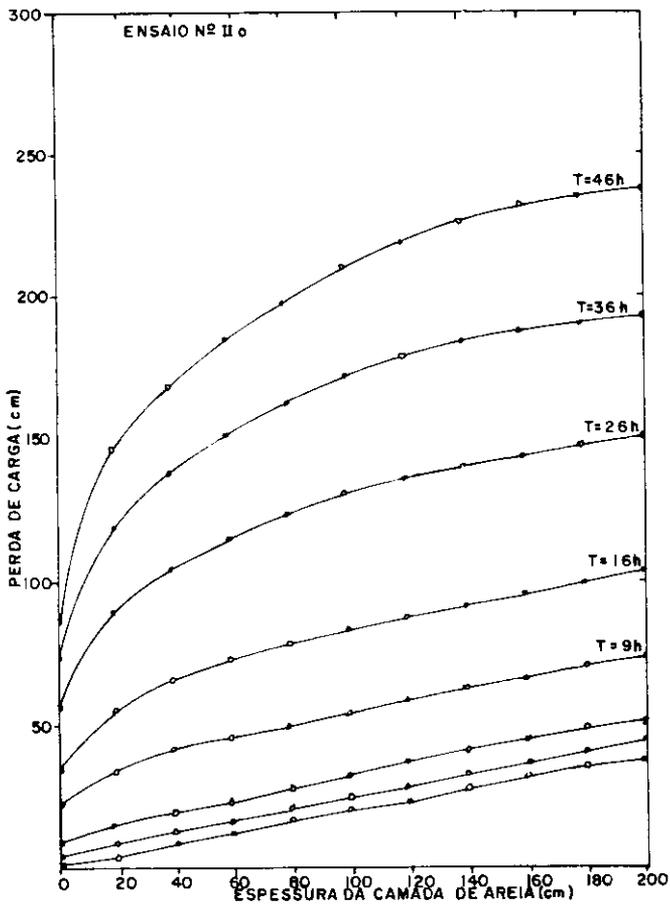


FIG. 11

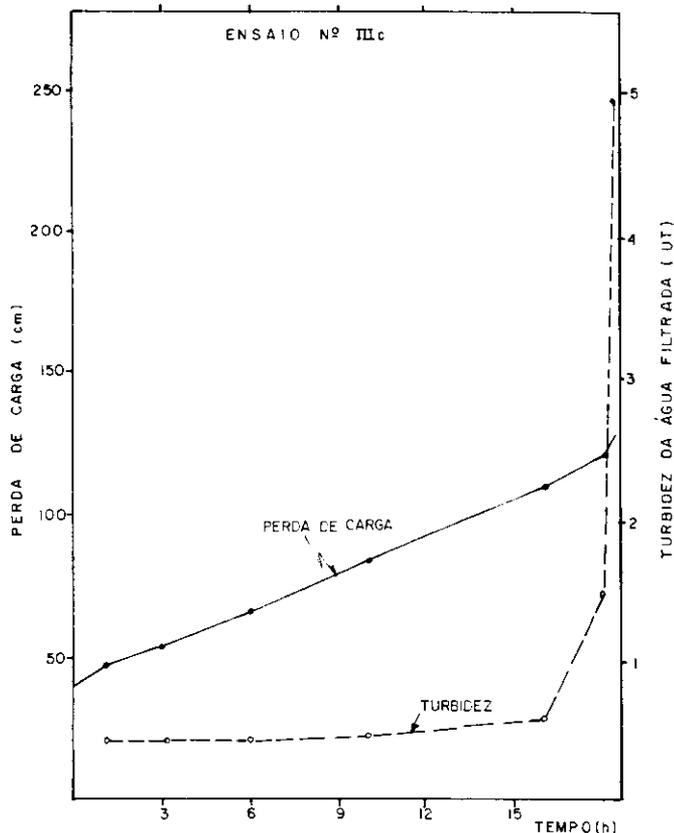


FIG. 13

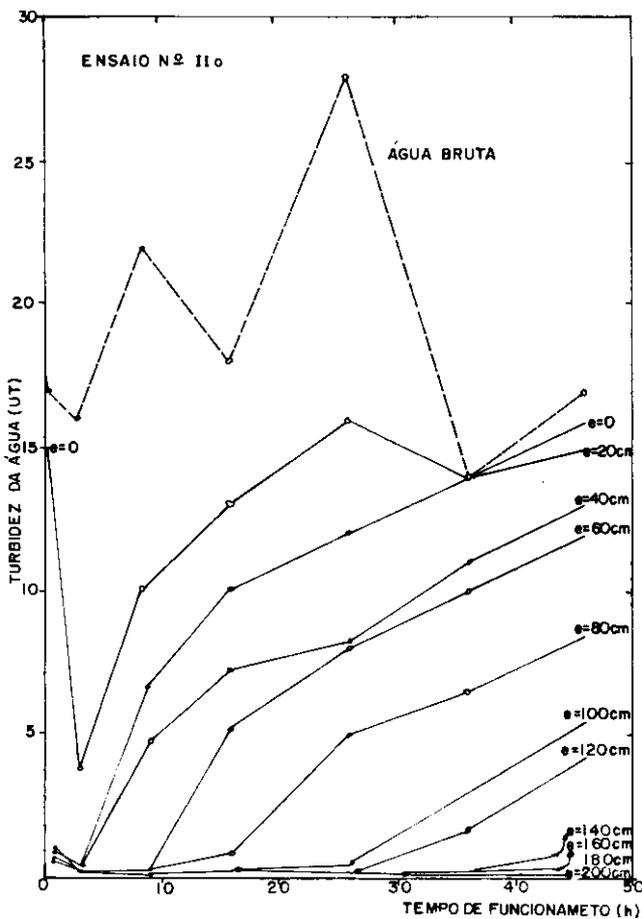


FIG. 12

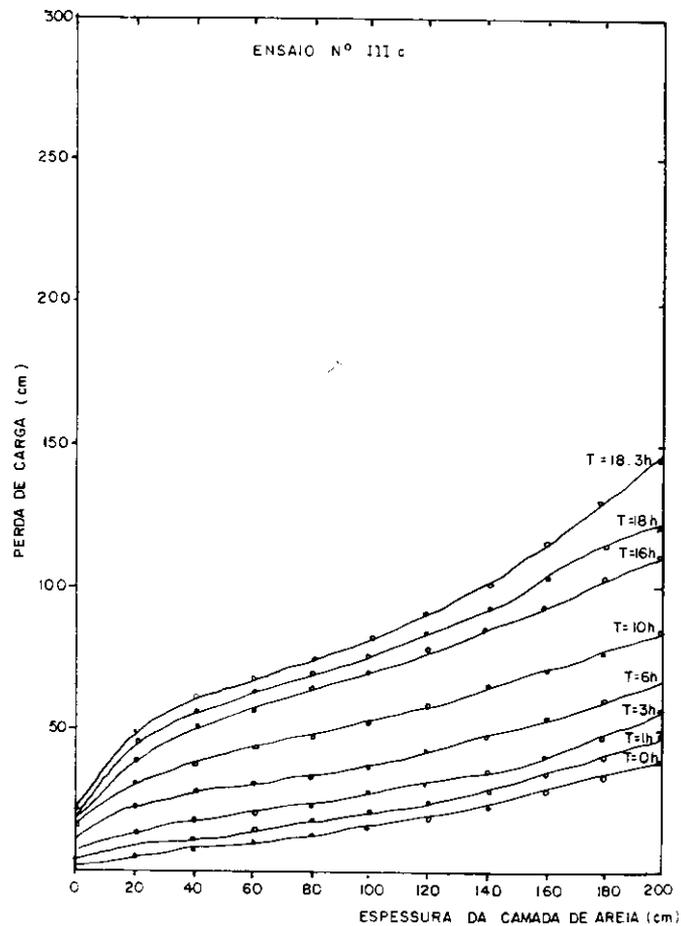


FIG. 14

mada suporte. Normalmente, ocorreu uma remoção de turbidez compreendida entre 20 e 80% nesta camada, o

que pode ser verificado pelos aumentos de perda de carga nas figuras 8, 11 e 14 e de turbidez nas figuras 9,

12 e 15. Verificou-se, visualmente, que ocorre a floculação na camada suporte, sendo, provavelmente, a res-

ponsável pelo sucesso obtido com os filtros de fluxo ascendente. A perda de carga na camada suporte esteve compreendida entre 2 cm (ver Quadro III) e 85,0 cm. Possivelmente, a existência de uma quantidade grande de flocos, que permanecem aderidos

na camada suporte, seja a principal responsável pela manutenção da qualidade da água filtrada, mesmo quando ocorrem variações repentinas na turbidez da água bruta.

A granulometria da areia é fundamental na filtração ascendente. Apesar

de produzir um efluente de excelente qualidade, somente cerca de 40 a 60 cm da camada de areia do filtro I foi responsável por 60 a 90% de perda de carga total observada indicando que, ou a espessura da camada filtrante poderia ser menor ou se utili-

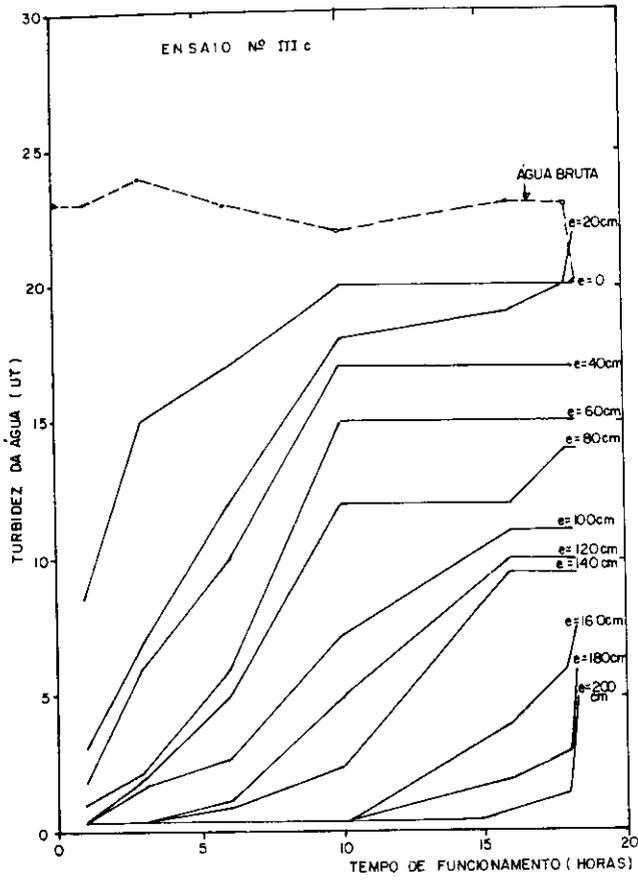


FIG. 15

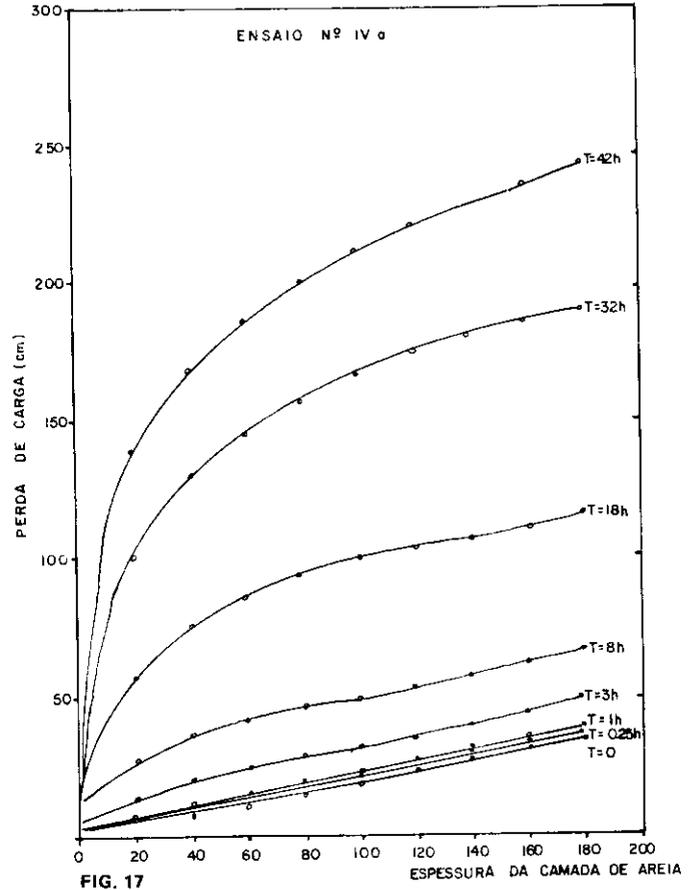


FIG. 17

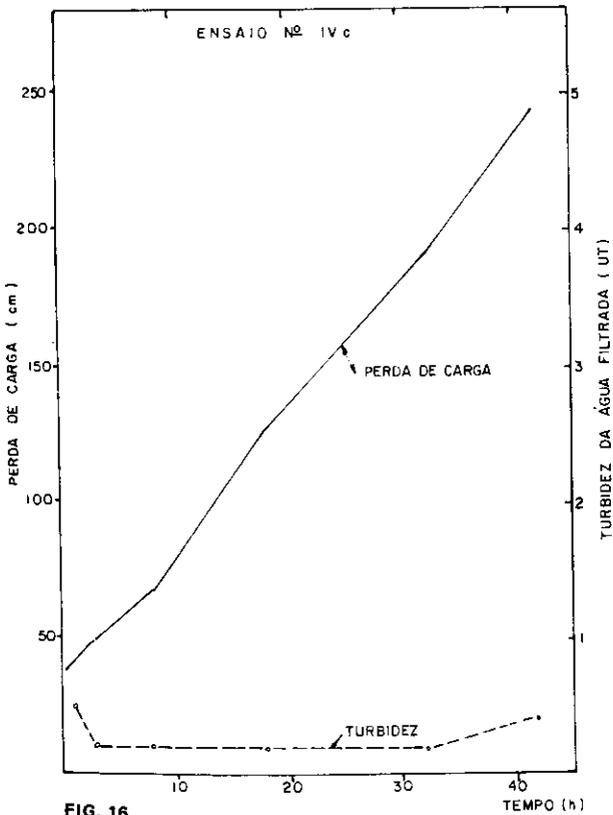


FIG. 16

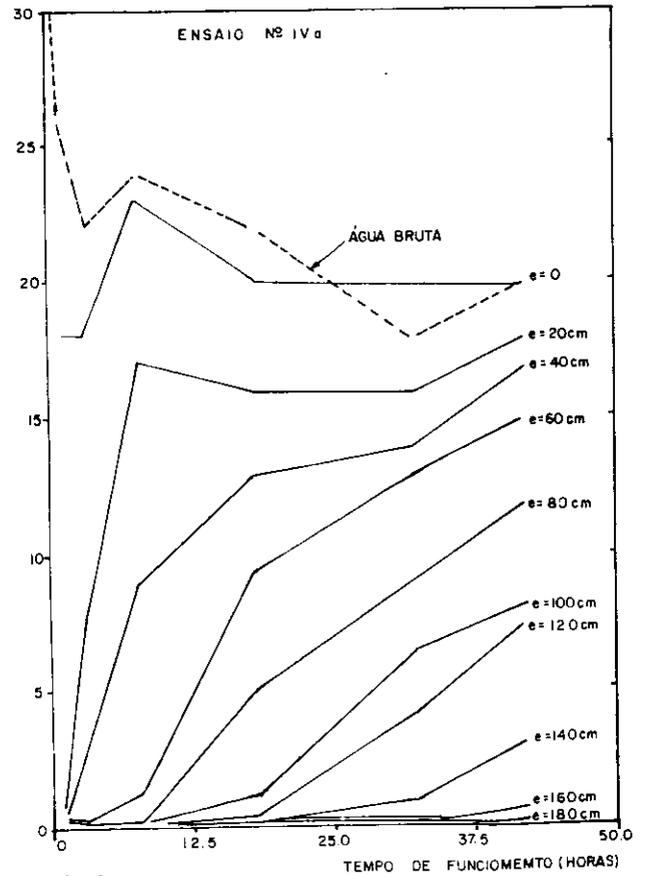


FIG. 18

zasse de grãos maiores. Para todas as taxas de filtração, o traspasse final para o filtro I ocorreu pela perda de carga limite e não pela turbidez de 5,0 UT. Tal comportamento não foi verificado para os demais filtros, devido, provavelmente a granulometria ser maior.

Para os filtros II, III e IV, a perda de carga se distribui mais uniformemente ao longo da espessura da camada de areia, tendo ocorrido, algumas vezes, o traspasse final pela turbidez de 5,0 UT. Para as taxas mais elevadas (180, 210 e 240 m³/m² . dia), os filtros III e IV apresentam resultados melhores que o filtro II, tanto de turbidez da água filtrante como do tempo de operação.

Mesmo para taxas de filtração próximas daquela determinada teoricamente no item 2, é possível obter-se um efluente de qualidade satisfatória, apesar da carreira de filtração resultar mais curta.

Com base no trabalho realizado, pode-se concluir:

- a) As variações repentinas da qualidade do afluente não influem significativamente na qualidade do efluente quando o filtro encontra-se em funcionamento há algum tempo, devido, provavelmente, a existência de uma quantidade elevada de flocos depositados na camada suporte e início da camada de areia;
- b) A camada suporte desempenha um papel importante na filtração ascendente, sendo responsável pela remoção de grande parte da turbidez presente no afluente, devido, provavelmente, à floculação que nela ocorre;
- c) A altura de água sobre o topo da camada de areia não influi na qualidade da água filtrada, porém, pode não só dificultar a lavagem, como também exigir maior quantidade

de de água nesta operação quando se empregam valores como 1,75 m;

- d) É possível de se obter um efluente de qualidade satisfatória com taxas de filtração elevadas, como 240 m³/m² . dia, porém, a carreira de filtração resulta mais curta;
- e) A granulometria exerce uma influência significativa na filtração ascendente, não só no desenvolvimento da perda de carga como também na qualidade da água filtrada ao longo da camada de areia; a granulometria que apresentou os melhores resultados é aquela cujos tamanhos de grãos de areia estão compreendidos entre 0,59 e 1,41 mm.

5. RECOMENDAÇÕES

Como a filtração ascendente é um processo de tratamento de água que pode produzir resultados excelentes, é recomendável que:

- a) não sejam utilizadas alturas de água, sobre o topo da camada de areia, superiores à aquela necessária para localização da calha de coleta, compatível com a expansão desejada;
- b) seja empregada areia com grãos de tamanho compreendidos entre 0,59 e 1,41 mm (ou possivelmente 1,68 mm);
- c) sejam utilizadas taxas de filtração inferiores a 240 m³/m² . dia, e de preferência, entre 150 e 200 m³/m² . dia;
- d) seja estudada com detalhes a camada suporte, como espessura e granulometria das subcamadas que a compõe;
- e) seja estudado o emprego de outros produtos químicos, além de cal e

sulfato de alumínio, na filtração ascendente;

- f) seja estudada a filtração ascendente com taxa declinante e verificar a taxa máxima de filtração admissível em tal sistema;
- g) seja estudado um método adequado para limpeza da camada suporte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CALISE, V. J. & HOMER, W.A. Russian and Eastern European Water Treatment Practices Nineteenth Annual Water Conference of the Engineers Society of Western Pennsylvania, Pittsburg, USA, dec. 1958.
2. HAMAN, C. L. & MCKINNEY, R.E. Up Flow Filtration Process Journal of the American Water Works Associations, vol. 60, sept. 1968.
3. ORTIZ, F. at alii Planta de Potabilización para Buenaventura — Filtración Ascendente Acodal — Sección Colombiana de AIDIS, nº 97 — Bogotá — Diciembre 1980.
4. MILLER, D. G. Experiences with Up Flow Filters Symposium on New Methods of Water Treatment Pan American Health Organization Assuncion, Paraguay, august 1972.
5. GRINPLASTCH, BERNARDO S. Nova Técnica de Filtração em Uso do Brasil — VI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Tema 1, vol. 1, p: 97-101, São Paulo, 1971.
6. AZEVEDO NETTO, J. M. de Filtros de Fluxo Ascendente — Curso sobre Técnicas Avançadas de Tratamento de Água Planidro, 1971.
7. CETESB — Filtros de Fluxo Ascendente in: Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água, São Paulo, Brasil, 1977.
8. ARMITHARAJAH, A. Optimum Expansion of Sand Filters During Backwash Ph. D. Thesis, Iowa State University, 1971.
9. FAIR, M. G., GEYR, J. C. & OKUN, D. A. — Purificación de Agua Y Tratamiento Y Remoción de Aguas Residuales — Editorial Limusa — Wiley, S.A. — México, 1971.
10. DI BERNARDO, Luiz — Estudos sobre a Filtração Direta — Tese de Doutorado — Escola de Engenharia de São Carlos — USP, 1977.