

Influência das características da camada-suporte e da areia no processo da filtração direta ascendente

Luiz Di Bernardo (1)
Bernardo A. N. Teixeira (2)

Resumo

A influência das características das camadas-suporte e de areia na eficiência de filtração direta ascendente foi investigada através da operação, em paralelo, de três filtros pilotos, que diferiam entre si quanto à espessura das referidas camadas. Como afluente, foi utilizada a água coagulada da Estação de Tratamento de Água de São Carlos, SP, tendo sido empregadas taxas de filtração compreendidas entre 160 e 280 m³/m².dia. O desempenho das três unidades foi comparado em termos de remoção de turbidez, cor e microrganismos.

Durante os ensaios, os três filtros produziram água com valores de turbidez da ordem de 0,10 a 0,20 UT. Os dois filtros com camadas de areia menores, porém, mostraram uma tendência à deterioração do efluente, após um certo tempo de operação; o filtro com camada de areia maior, por sua vez, apresentou um crescimento mais rápido da perda de carga com o tempo, com carreiras de filtração consequentemente menores.

Foi verificada alguma retenção de partículas nas camadas-suporte, mas a remoção de turbidez mais significativa e a maior perda de carga ocorreram junto à interface dessas com as camadas de areia e imediatamente acima. No filtro com maior espessura de areia, a porção superior desta não chega a ser exigida neste trabalho de retenção.

Foram realizados ensaios efetuando-se descargas de fundo ao longo da carreira de filtração, resultando no aumento da duração da mesma, em relação ao ensaio com taxa idêntica, mas sem as referidas descargas. Nos filtros com camadas de areia menores, entretanto, a execução das descargas causava a ocorrência de picos na turbidez efluente, às vezes bastante elevados, e sem que, após os mesmos, houvesse uma recuperação total da qualidade da água produzida.

Os exames bacteriológicos realizados durante a pesquisa evidenciaram uma boa eficiência da filtração direta ascendente na remoção de microrganismos, desde que esteja sendo obtido um efluente com valores baixos de turbidez.

Os autores desejam expressar seu agradecimento à Fapesp pelo auxílio à pesquisa (Proc. 83/2003-0) e pela concessão de Bolsa de Mestrado (Proc. 84/2597-0).

1 Introdução

Embora conhecida e utilizada há muito tempo, a filtração direta ascendente ainda possui algumas características pouco estudadas. Isto tem acarretado limitações ao seu uso ou, algumas vezes, ao seu emprego sob condições impróprias. Só recentemente têm sido desenvolvidos trabalhos de pesquisa abordando especificamente essa tecnologia, obtendo-se novos subsídios para o projeto das instalações.

Um aspecto importante, resultante dessas pesquisas, diz respeito ao papel desempenhado pela camada-suporte durante o processo da filtração. Os resultados de pesquisas realizadas por Di Bernardo e colaboradores (9) mostraram uma remoção de 20 a 80% da turbidez do afluente nessa camada, bem como a ocorrência de uma perda de carga razoavelmente elevada na subcamada com pedregulho de menor tamanho. Essa retenção elevada de impurezas na camada-suporte tem sido, inclusive, um dos inconvenientes apresentados por unidades de floculação em meio granular, constituído de pedregulho (36). Como os filtros são lavados periodicamente, essa retenção deixa de constituir um problema, tornando-se uma vantagem para a filtração direta ascendente.

Outro resultado importante apresentado na referência 9 relaciona-se com a granulometria da camada de areia. Em vários ensaios, ficou evidente que a porção inferior dessa camada, em torno de 0,80 m, era responsável pela retenção de mais de 90% das impu-

rezas, o que significa que o restante da areia, da ordem de 1,0 m, era pouco solicitada. Portanto, poder-se-ia pensar em aumentar a espessura da camada-suporte e reduzir a de areia, porém, somente uma investigação experimental forneceria subsídios para uma alteração dessa natureza.

Assim sendo, foi realizado um trabalho de pesquisa em uma instalação-piloto de filtração direta ascendente com o objetivo de estudar a influência da constituição da camada-suporte e da taxa de filtração na qualidade físico-química e bacteriológica do efluente, assim como os efeitos causados na taxa de crescimento de perda de carga e duração das carreiras de filtração.

2 Investigação experimental

2.1 Descrição Geral da Instalação-Piloto

As Figuras 1 e 2 apresentam os detalhes da instalação-piloto montada nas dependências da Estação de Tratamento de Água de São Carlos (ETASC). A água coagulada na ETASC era bombeada para um reservatório de nível constante, de onde, por meio de descarga livre, era encaminhada para três canalizações independentes, que a conduzia para cada um dos três filtros, de seção quadrada em planta (0,2 x 0,2 m) e 3,0 m de altura total, possuindo visores de acrílico em uma das faces.

As canalizações de veiculação de água coagulada aos filtros possuíam derivações, próximas às entradas dos mesmos, destinadas a desviar o afluente durante o ajuste inicial de vazão e, também, para realizar a descarga de fundo.

Uma chapa provida de nove orifícios de 6,35 mm de diâmetro, instalada a 0,10 m acima da base do filtro, suportava as camadas de pedregulho e areia. A entrada de água coagulada, água para lavagem e ar, era feita sob essa placa.

A medição de perda de carga na camada-suporte e de areia foi feita através de piezômetros, cujo posicionamento é apresentado no Quadro 1.

(1) Professor Adjunto da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

(2) Eng. Civil, Aluno de Pós-graduação do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos — USP.

Filtro F ₁		Filtro F ₂		Filtro F ₃	
Identificação	Posição (cm)	Identificação	Posição (cm)	Identificação	Posição (cm)
1.0	0	2.0	0	3.0	0
1.1	45	2.1	45	3.1	45
1.2	90	2.2	80	3.2	80
1.3	145	2.3	125	3.3	120
1.4	205	2.4	160	3.4	160
-	-	2.5	200	3.5	200

Nas mesmas posições de tomada de pressão, foram instalados coletores de amostras, constituídos de agulha hipodérmica com cerca de 40 mm de comprimento, inserida no interior da camada de pedregulho ou de areia. Na parte externa do coletor, havia um parafuso destinado a ajustar a vazão de coleta, obtendo-se um gotejamento contínuo.

A lavagem dos filtros era efetuada da seguinte forma:

- descarga de fundo até que o nível de água no interior baixasse, permanecendo a 20 cm acima do topo da camada de areia;

- introdução de ar, na parte inferior do filtro, durante 5 minutos;

- lavagem com água durante 15 minutos, com vazão suficiente para produzir uma expansão de 20% na camada de areia.

2.2 Características das Camadas Suporte e Areia

Os três filtros possuíam a mesma espessura total, de pedregulho e areia, resultando 2,4 m. O Quadro 2 apresenta as características dos materiais.

2.3 Metodologia dos Ensaios

2.3.1 Condição de Término da Carreira de Filtração

Um ensaio era considerado concluído, quando uma das duas condições era alcançada:

- turbidez do efluente igual a 5 UT;

- perda de carga total (pedregulho e areia) igual a 2,4 m.

2.3.2 Taxas de Filtração

Foram estudadas as seguintes taxas de filtração: 160, 200, 240 e 280 m³/m².dia. O ajuste da vazão, correspondente a cada taxa de filtração, era feito através de método volumétrico, na descarga livre de água à canalização de alimentação dos filtros. Durante o ajuste de vazão, a água coagulada era desviada, através da derivação existente na canalização de alimentação dos filtros.

2.3.3 Funcionamento dos Filtros

Para cada taxa de filtração, o funcionamento dos filtros ocorreu segundo duas formas de operação:

- sem descarga de fundo intermediárias;

- quatro descargas de fundo intermediárias.

As descargas de fundo intermediárias eram executadas desviando-se o afluente ao respectivo filtro e abrindo-se o dreno conectado no fundo falso. A distribuição das quatro descargas foi feita em função da perda de carga, sendo as mesmas executadas após um certo aumento de perda de carga, resultante da carga hidráulica disponível (2,4 m) menos a perda de carga inicial (H₀)/4. Durante a execução de uma descarga de fundo intermediária, fechavam-se os registros onde estavam conectadas as mangueiras (piezô-

Quadro 1 — Posicionamento das tomadas de pressão nos filtros

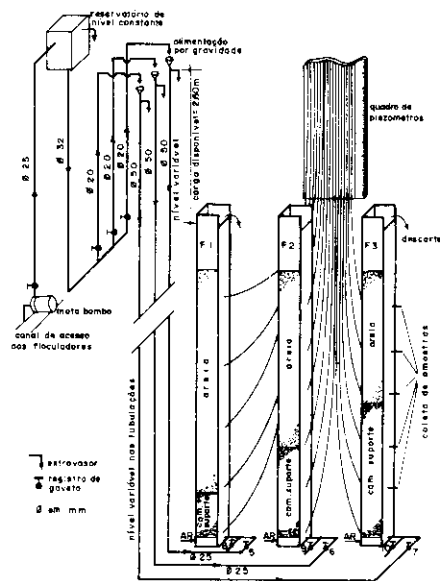


Figura 1 — Esquema da instalação-piloto.

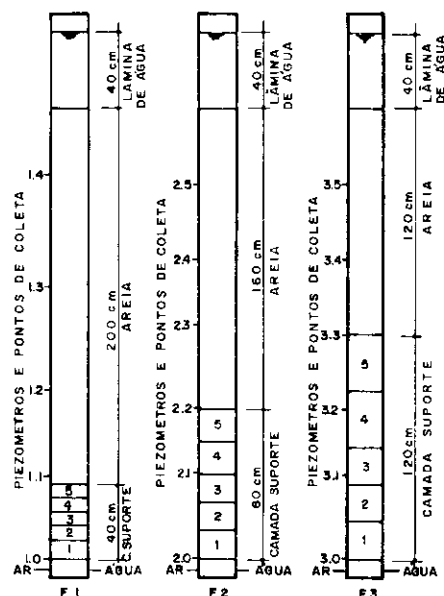


Figura 2 — Esquema dos filtros, com a localização de piezômetros e pontos de coleta de amostra, e a indicação das subcamadas de pedregulho.

metros) para impedir a eventual entrada de ar. A duração da descarga dependia do grau de colmatação das camadas de pedregulho e areia, porém, sempre efetuada até que o nível de água baixasse até 0,10 m acima do topo da camada de areia, quando, então, a água coagulada era novamente admitida no filtro.

2.3.4 Reprodução dos Ensaios

Com o fim de confirmar a reprodutibilidade dos resultados, alguns ensaios foram executados duas vezes, principalmente aqueles em que não foram efetuadas as descargas de fundo intermediárias.

2.3.5 Parâmetros de Controle de Qualidade

Além da turbidez e cor aparente do afluente e efluentes dos três filtros,

Quadro 2 — Características dos materiais

FILTRO	CAMADA SUPORTE		CAMADA DE AREIA			
	ESPESSURA (cm)	TAMANHO (mm)	ESPESSURA (cm)	DIÂMETRO (mm)	TAMANHO EFETIVO (cm)	COEFICIENTE DESUNIFORM.
F1	10,0 7,5 7,5 7,5 7,5	31,7-25,4 25,4-15,9 15,9-9,5 9,5-4,8 4,8-2,0	200	0,59 a 1,68	0,85	1,6
F2	15,0 15,0 15,0 17,5 17,5	31,7-25,4 25,4-15,9 15,9-9,5 9,5-4,8 4,8-2,0	160	0,59 a 1,68	0,85	1,6
F3	20,0 20,0 20,0 30,0 30,0	31,7-25,4 25,4-15,9 15,9-9,5 9,5-4,8 4,8-2,0	120	0,59 a 1,68	0,85	1,6

o NMP de coliformes totais foi também determinado com amostras coletadas em momentos específicos durante o funcionamento dos filtros. Assim, nos ensaios sem descargas de fundo intermediárias, foram feitas coletas no início, meio e final da carreira de filtração. Nos ensaios descargas de fundo intermediárias, as coletas de amostras foram executadas antes e depois das descargas.

3 Resultados

Para melhor identificar os ensaios, os mesmos foram especificados com a letra **A** para o funcionamento sem descargas de fundo intermediárias e a letra **B** quando as mesmas foram executadas. Aqueles ensaios repetidos, foram identificados com BIS.

Os Quadros 3 e 4 apresentam resumos dos resultados obtidos, destacando-se a taxa de filtração, turbidez afluente máxima, média e mínima, turbidez efluente máxima, média e mínima, perda de carga final e duração da carreira de filtração. A cor aparente do afluente esteve compreendida entre 15 e 30 un. e a dos efluentes, geralmente inferior a 2,5 un., razão pela qual não são apresentados dados específicos desse parâmetro durante o funcionamento dos filtros.

Como se observou uma relação íntima entre turbidez e NMP de coliformes totais por 100 ml, optou-se por apresentar os dados bacteriológicos em função da turbidez do afluente e efluentes dos filtros, conforme mostra a Figura 3.

Devido à grande quantidade de dados, decidiu-se por apresentar, em forma de gráficos, alguns ensaios re-

Quadro 3 — Resumo dos resultados obtidos - sem descargas de fundo

ENSAIO	TAXA DE FILTRAÇÃO (m³/m².d)	TURBIDEZ AFLUENTE (UT)			FILTRO	TURBIDEZ EFLUENTE (UT)			PERDA DE CARGA FINAL (cm)	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)
		MAX.	MIN.	MED.		MAX.	MIN.	MED.		
I-A	160	10	8,5	9,0	F1	1,1	0,11	0,27	26,0	75
					F2	4,0	0,11	1,2	26,3	97
					F3	5,5	0,15	1,6	219	97
II-A	200	7,3	5,5	6,3	F1	0,80	0,09	0,15	26,3	50
					F2	0,64	0,10	0,15	26,0	53
					F3	1,2	0,11	0,28	239	66
III-A-BIS	240	19	9,4	11,0	F1	1,2	0,10	0,27	26,3	56
					F2	5,1	0,18	1,4	179	56
					F3	5,0	0,12	2,3	220	66
IV-A	280	6,7	5,7	6,3	F1	0,43	0,08	0,14	26,6	33
					F2	0,42	0,08	0,13	236	37
					F3	0,75	0,07	0,21	260	46
V-A-BIS	260	12	6,8	8,3	F1	1,7	0,12	0,39	26,8	45
					F2	3,4	0,12	1,3	26,2	52
					F3	5,1	0,11	1,5	199	49
VI-A	280	9,5	8,3	9,1	F1	1,4	0,09	0,22	26,0	26
					F2	5,3	0,13	1,7	239	37
					F3	5,4	0,09	1,9	202	36
VII-A-BIS	280	7,8	6,8	7,7	F1	0,58	0,12	0,15	185	-
					F2	1,2	0,11	0,38	173	-
					F3	1,7	0,13	0,49	137	-

ENSAIO	TAXA DE FILTRAÇÃO (m³/m².d)	TURBIDEZ AFLUENTE (UT)			FILTRO	TURBIDEZ EFLUENTE (UT)			PERDA DE CARGA FINAL (cm)	DURAÇÃO DA CARREIRA (h)
		MAX.	MIN.	MED.		MAX.	MIN.	MED.		
I-B	160	10	8,5	9,0	F1	0,59	0,10	0,20	240	92
					F2	2,0	0,15	1,0	240	118
					F3	5,0	0,14	1,4	178	92
II-B	200	7,3	5,5	6,3	F1	0,33	0,08	0,15	240	61
					F2	0,75	0,09	0,19	240	73
					F3	2,0	0,09	0,40	240	85
III-B	240	26	8,1	10,4	F1	0,65	0,14	0,27	240	52
					F2	3,1	0,15	1,1	240	74
					F3	3,8	0,13	1,4	240	77
IV-B	280	12	8,8	9,3	F1	0,52	0,11	0,22	242	45
					F2	2,4	0,11	0,86	240	58
					F3	4,5	0,12	1,6	240	69

Quadro 4 — Resumo dos resultados obtidos - com descargas de fundo

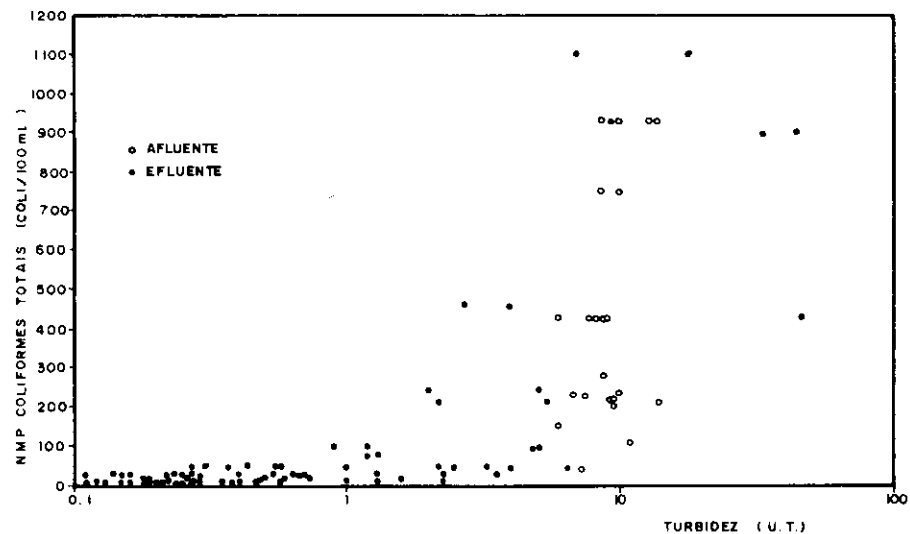


Fig. 3 — Relação entre os valores do NMP de coliformes totais e da turbidez, durante toda a pesquisa

presentativos da investigação experimental realizada, sendo:

- Figura 4: turbidez da água coagulada e variação da turbidez ao longo das alturas dos filtros, em função do tempo de operação para a taxa de 160 m³/m².dia, sem a realização de descargas de fundo intermediárias;
- Figura 5: variação da turbidez da água coagulada e efluentes dos filtros em função do tempo de operação, para a taxa de 280 m³/m².dia, sem a realização de descargas de fundo intermediárias;
- Figura 6: variação da turbidez da água coagulada e efluentes dos filtros e evolução da perda de carga em função do tempo de operação, para a taxa de 240 m³/m².dia, com descargas de fundo intermediárias;
- Figura 7: variação da turbidez da água coagulada e efluentes dos fil-

tros e evolução da perda de carga em função do tempo de operação, para a taxa de 200 m³/m².dia, sem a realização de descargas do fundo intermediárias;

- Figura 8: variação da turbidez da água coagulada e efluentes dos filtros e evolução da perda de carga em função do tempo de operação, para a taxa de 200 m³/m².dia, com a realização de descargas de fundo intermediárias;
- Figura 9: distribuição da perda de carga ao longo da altura dos filtros em função do tempo de operação, para a taxa de 200 m³/m².dia, sem a realização de descargas de fundo intermediárias;
- Figura 10: distribuição da perda de carga ao longo da altura dos filtros em função do tempo de operação, para a taxa de 200 m³/m².dia, com a realização de descargas de fundo intermediárias.

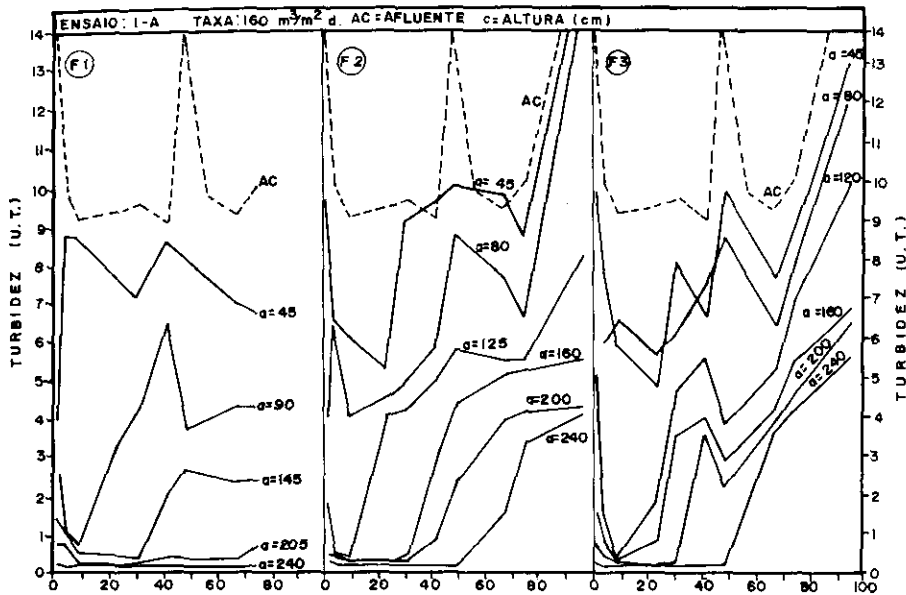


Fig. 4 - Variação da turbidez ao longo das alturas dos filtros, em função do tempo, para o ensaio especificado

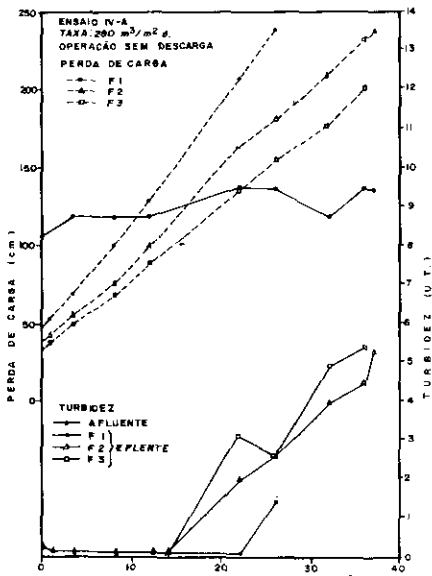


Fig. 5

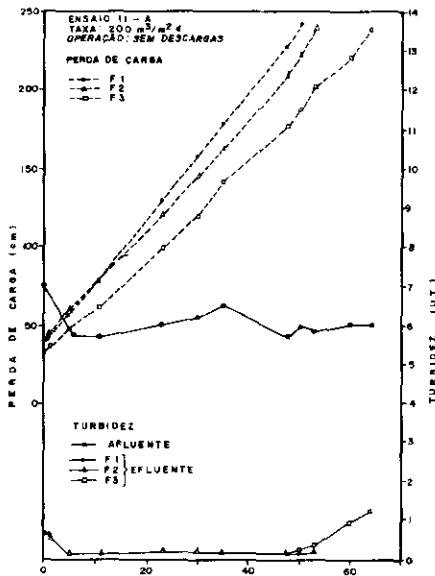


Fig. 7

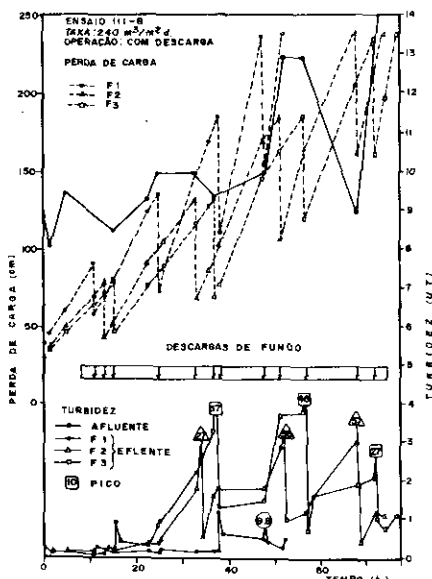


Fig. 6

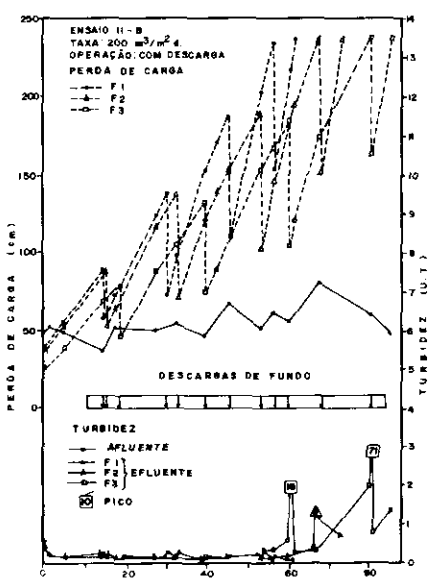


Fig. 8

Evolução das perdas de carga e valores da turbidez no efluente e nos efluentes, ao longo do tempo, para o ensaio especificado

4 Discussão, conclusões e recomendações

4.1 Ensaio sem Descargas de Fundo Intermediárias

O filtro F_1 , que possuía a menor camada-suporte e a maior de areia apresentou, para todas as taxas de filtração, uma taxa de crescimento de perda de carga maior que o filtro F_2 e este, que o filtro F_3 . Não ocorreu uma distribuição uniforme da perda de carga em nenhum dos três filtros, qualquer que seja o ensaio considerado. Houve uma concentração elevada de impurezas retidas nas proximidades da interface entre a areia e o pedregulho, com perda de carga acentuada nessa região, chegando a causar uma ruptura do leito filtrante no final das carreiras de filtração. Essa ruptura, que não ocorreu em todos os ensaios, foi mais frequente nos filtros F_2 e F_3 e não implicava necessariamente uma deterioração da qualidade dos efluentes dos filtros. A perda de carga nas subcamadas inferiores da camada de pedregulho foi muito pequena, embora fosse observada uma quantidade elevada de matéria suspensa retida nas mesmas. Na parte superior da camada de areia, a taxa de crescimento da perda de carga até o final da carreira de filtração foi muito pequena, quando comparada com a parte inferior da mesma, significando que ocorre efetivamente uma grande retenção de impurezas no início da areia.

Com relação aos ensaios repetidos, houve uma certa diferença no comportamento de um mesmo filtro, para uma mesma taxa de filtração, devido, provavelmente, à variação da qualidade do afluente e dosagem de coagulante. A turbidez da água coagulada variou entre 5,5 e 26 UT, porém, durante a realização de quase todos os ensaios, a turbidez permaneceu entre 6 e 11 UT. Em geral, os três filtros produziram efluentes com turbidez variando entre 0,1 e 0,2 UT durante praticamente toda a carreira de filtração, excetuando-se os instantes finais, quando iniciava-se o transpasse, com deterioração da qualidade do efluente sendo mais acentuada nos filtros F_2 e F_3 .

Quando comparadas as curvas de perda de carga e a de turbidez do efluente em função do tempo, notou-se que, para os filtros F_2 e F_3 , o término da carreira em geral resultou da ocorrência da turbidez limite de 5 UT, enquanto, muitas vezes, a perda de carga final era inferior a 70% da carga hidráulica total disponível.

A medição da turbidez de amostras coletadas ao longo do meio filtrante

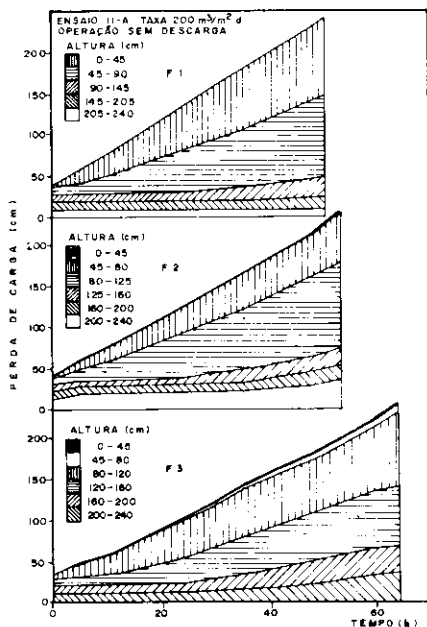


Fig. 9 — Distribuição de perdas de carga ao longo das alturas dos filtros, em função do tempo, para o ensaio especificado.

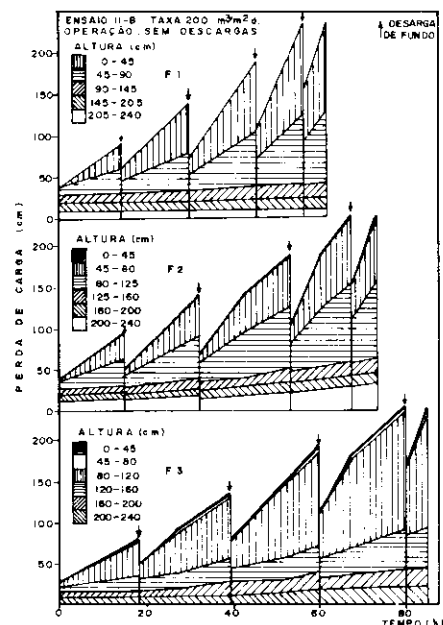


Fig. 10 — Distribuição de perdas de carga ao longo das alturas dos filtros, em função do tempo, para o ensaio especificado.

mostrou uma penetração progressiva de partículas na areia, refletida pelo aumento da turbidez em pontos sucessivamente mais altos. Essa penetração mostrou-se mais acentuada nos filtros F_2 e F_3 , onde todos os pontos de coleta registraram aumentos de turbidez. Já no filtro F_1 , quase não houve diferença entre a turbidez do efluente final e da amostra coletada a 2,05, significando que somente 1,65 m da areia era efetiva na retenção de impurezas.

Outro aspecto relativo à qualidade da água filtrada foi a ocorrência de picos de turbidez resultante de incorreções na dosagem de coagulante na Etasc. Como se trata de uma instalação convencional, com unidades de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, o mecanismo de coagulação

era o da varredura, com dosagem muito elevada em relação àquela requerida para a filtração direta (24). Nessa condição, qualquer alteração na dosagem de coagulante causa problemas no filtro, pois o pH afeta consideravelmente o desempenho de unidades de filtração direta (24).

O comportamento dos três filtros com relação à duração da carreira de filtração variou em função da ocorrência do limite de uma das condições de término. Quando a perda de carga-limite foi atingida em primeiro lugar o filtro F_2 apresentou duração de 10 a 40% superior ao filtro F_1 e o filtro F_3 , de 30 a 50% superior ao filtro F_1 . Mesmo quando o término da carreira foi pela turbidez-limite, os filtros F_2 e F_3 funcionaram por um período mais longo. Entretanto, se fosse adotado outro valor limite de turbidez, como 1 UT, as carreiras de filtração do filtro F_1 seriam mais longas.

De uma maneira geral, a remoção de coliformes totais foi elevada quando a turbidez dos efluentes era baixa (em torno de 0,20 UT). Conforme se pode notar na Figura 3, a partir da turbidez de 1 UT, há um aumento acentuado do NMP de coliformes totais indicando que, provavelmente, a turbidez do efluente deveria ser limitada em 1 UT. O NMP de coliformes totais na água coagulada era da ordem de 1000 por 100 ml, enquanto que, para os efluentes com turbidez inferior a 1 UT, os valores do NMP de coliformes totais resultaram consistentemente inferiores a 50 por 100 ml.

4.2 Ensaios com Descargas de Fundo Intermediárias

O principal efeito de corrente da realização das descargas de fundo intermediárias é a redução da perda de carga que ocorre logo a seguir, quando os filtros voltam a operar normalmente. Essa recuperação de carga, entretanto, causa uma certa compactação das camadas inferiores da areia, com aumento da taxa de crescimento de perda de carga à medida que as descargas são efetuadas. Mesmo assim, obtiveram-se carreiras de filtração de até 100% mais longas quando comparados com os ensaios sem realização de descargas de fundo intermediárias.

Um fato interessante que ocorreu somente nos filtros F_2 e F_3 , diz respeito às taxas de crescimento de perda de carga após a execução das descargas. Em alguns ensaios, após a terceira ou quarta descargas, observou-se uma diminuição da taxa de crescimento da perda de carga, resultante, possivelmente, de um inchamen-

to da camada de areia, o que chegou a ser notado visualmente, pois houve uma elevação do topo da camada de areia. No filtro F_1 , esse comportamento não foi verificado.

Há dois aspectos que merecem ser destacados com relação à turbidez da água filtrada. O primeiro deles diz respeito aos picos de turbidez que se seguiram à execução de algumas descargas, notadamente nos filtros F_2 e F_3 . Apesar de picos momentâneos, os valores da turbidez do efluente eram muito elevados, tornando a água imprópria ao consumo. Normalmente, à medida que se caminhava da primeira para a quarta descarga, maiores resultavam os valores da turbidez após a execução das mesmas. O segundo deles é que a execução de descargas fez com que praticamente todas as carreiras de filtração fossem encerradas pela perda de carga limite (apesar da ocorrência dos picos de turbidez com valores superiores a 5 UT), o que não ocorreu com os ensaios em que não foram executadas as descargas.

Após a ocorrência do pico de turbidez, imediatamente depois da descarga, a turbidez do efluente geralmente voltava a um valor inferior àquele registrado antes da descarga. Tais valores, entretanto, nunca eram tão baixos quanto os obtidos no período inicial da carreira, e tornavam a subir em seguida. Assim, as descargas apenas impediam que ocorresse, consistentemente, efluente com turbidez superior ao limite de 5 UT.

Quanto à qualidade bacteriológica do efluente, foram examinadas algumas amostras com turbidez baixa, antes e após a execução de descargas intermediárias e durante e ao término da ocorrência de picos de turbidez. Deve-se destacar que, toda vez que ocorria um pico de turbidez, o mesmo era acompanhado da elevação do NMP de coliformes totais. Após a diminuição da turbidez do efluente, decrescia consideravelmente o NMP de coliformes totais.

4.3 Conclusões e Recomendações

Com base no trabalho experimental realizado, concluiu-se que:

a) a utilização de camadas de areia de 2,0, 1,60 e 1,20 m de espessura, com camadas-suporte de, respectivamente, 40, 80 e 120 cm, levou à produção de uma água com valores de turbidez baixos, da ordem de 0,10 a 0,20 UT; porém, apenas no primeiro caso esta qualidade manteve-se, em todos os ensaios, durante praticamente toda a duração das carreiras; nos outros dois casos, ocorreram aumentos da turbidez efluente antes que as per-

das de carga nos filtros atingissem valores elevados;

b) as perdas de carga desenvolvem-se menos rapidamente nos filtros com camadas-suporte maiores, levando à obtenção de maiores carreiras de filtração, quando estas não eram encerradas por ser atingido o valor limite para a turbidez;

c) houve alguma retenção de partículas nas camadas-suporte, sem aumentos significativos da perda de carga nas mesmas; por outro lado, a porção superior da camada de areia de maior espessura trabalhava muito pouco nesta retenção;

d) as maiores perdas de carga ao longo do meio filtrante foram registradas junto à interface entre a camada-suporte e a areia, e na porção imediatamente superior desta; as remoções de turbidez mais significativas também ocorreram neste trecho, levando a uma colmatação que acarretava dificuldades na lavagem e eventuais rompimentos do leito;

e) a execução de descargas de fundo intermediárias levou à obtenção de maiores carreiras de filtração, devido às recuperações de perda de carga e ao fato de não ser atingida a turbidez limite nos efluentes; porém, apenas o filtro com a maior camada de areia não apresentou perturbações frequentes e significativas, quando da realização das descargas, além de ser o único a produzir água com turbidez baixa durante todo o tempo de operação;

f) ficou evidenciada uma boa eficiência na remoção de microrganismos, por parte da filtração direta ascendente, com o padrão de redução de coliformes acompanhando o de turbidez, mantendo-se níveis compatíveis com a desinfecção por cloração.

Em termos de recomendações, podem ser feitas as seguintes:

a) sejam adotadas, nos projetos de filtração direta ascendente com características granulométricas semelhantes às adotadas na presente pesquisa, camadas de areia com alturas não inferiores a 1,60m, nem superiores a 2,0 m, de preferência em torno de 1,80 m;

b) seja investigado mais detalhadamente o comportamento da interface entre a camada-suporte e a areia, testando-se formas de transição mais graduais entre ambas;

c) seja estudada de forma mais quantitativa a remoção de microrganismos na filtração direta ascendente;

d) sejam pesquisadas maneiras de se efetuar descargas de fundo mais eficientes, que não acarretem a compactação excessiva da camada de areia.

5 Bibliografia

- ADIN, A., BAUMANN, R. & CLEASBY, J. L. — "The Application of Filtration Theory to Pilot-Plant Design". *Journal A.W.W.A.*, Denver, EUA, 71(1): 17-27, jan., 1979.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA — "Debates dos Simposios". 9.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Belo Horizonte, MG, 1977, vol. 11, p. 15-22.
- AZEVEDO NETTO, J. M. — "Filtros de Fluxo Ascendente". In: *Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água*, vol. 2, 2.ª Edição, São Paulo, Cetesb, 1979, p. 849-858.
- BANKS, D. H. — "Upward-Flow Clarifier for Treating Sewage Effluents". *Surv. & Mun. Eng.*, 125 (3789): 45-46, jan., 1965.
- BHOLE, A. G. & MHAISALKAR, V. A. — "Study of a Low Cost Sand-Bed-Flocculator for Rural Areas". *Indian Journal Environ. Hlth*, 19(1):38-53, jan., 1977.
- CALISE, V. J. & HOMER, W. A. — "Russian and Eastern European Water Treatment Practices". 19.º Annual Water Conference of Engineers Society of Western Pennsylvania. Pittsburg, EUA, dec., 1958.
- CHRISTOVÃO, D. A. — "Bacteriologia da Água — Seu Exame e Controle Bacteriológicos". São Paulo, USP/OPS, 1965, 198 p.
- DI BERNARDO, L. — "Filtración Rápida." In: *Programa Regional OPS/EHP/ CEPIS de Mejoramiento de Calidad de Agua para Consumo Humano - Manual de Instrucción*. Versión preliminar. Abr., 1981.
- DI BERNARDO et alii — "Estudo das Influências das Características Hidráulicas e da Camada de Areia na Filtração Ascendente". *Rev. DAE*, São Paulo, 42 (131): 94-102, dez. 1982.
- DI BERNARDO, L. & RAZABONI, J. D. — "Estudo das Influências do Emprego de Amido de Batata como Auxiliar na Filtração Direta Ascendente". XIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Santiago, Chile, nov., 1984.
- DI BERNARDO, L. & RAZABONI, J. D. — "Influência da Realização de Descargas de Fundo Durante a Carreira de Filtração no Comportamento de Sistemas de Filtração Direta Ascendente". *Rev. DAE*, São Paulo, 44(139): 340-345, dez., 1984.
- DI BERNARDO, L. & MENDES, C.G.N. — "Coagulação e Filtração Direta Ascendente". XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Maceió, AL, ago., 1985.
- DI BERNARDO, L. — "Comparação entre a Filtração Realizada em Panel de Filtro e em Instalação-Piloto de Filtração Direta Ascendente". *Rev. DAE*, São Paulo, 45(142): 298-301, set., 1985.
- DIAPER, W. J. & IVES, K. J. — "Filtration Through Size-Graded Media". *Proc. ASCE - Journal San. Eng. Div.*, 91 (SA3): 89-114, jun., 1965.
- GRINPLASTCH, B. S. — "Novos Conceitos sobre Clarificação e Filtração da Água". *Rev. SESP*, Rio de Janeiro, 14(2): (71-76), 1969.
- GRINPLASTCH, B. S. — "Nova Técnica de Filtração em Uso no Brasil". VI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. São Paulo, SP, 1971.
- GRINPLASTCH, B. S. & WASNIEWSKI, W. I. — "Clarificadores de Contato para Grandes Comunidades". *Rev. SESP*, Rio de Janeiro, 19(2): 32-46, 1974.
- HAMANN, C. L. & MCKINNEY, R. E. — "Upflow Filtration Process". *Journal A.W.W.A.*, Denver, EUA, 60(9): 1023-1029, sep., 1968.
- HANEY, B. J. & STEIMLE, S. E. — "Potable-Water Supply by Means Upflow Filtration (L'Eau Claire Process)". *Journal A.W.W.A.*, Denver, EUA, 66(2): 117-123, feb., 1974.
- HARRIS, H. S., KAUFMAN, W. J. & KRONE, R. B. — "Orthokinetic Flocculation in Water Purification". *Proc. ASCE - Journal San. Eng. Div.*, 92(SA6): 95-111 dec., 1966.
- IVES, K. J. — Discussion: "Russian Water Supply and Treatment Practices". *Proc. ASCE - Journal San. Eng. Div.*, 86(SA4): 101-103, jul., 1960.
- IVES, K. J. — "New Concepts in filtration. Part 1: Introduction and Practical Concepts". *Wat. & Water Eng.*, London, GB, 65(7): 307-309, jul., 1961.
- LING, J. T. — "Progress in Technology of Water Filtration". *Wat. & Sew. Wks* 109: 315-319, aug., 1962.
- MENDES, C. G. N. — "Determinação das Dosagens Ótimas de Produtos Químicos na Filtração Direta Ascendente". São Carlos, 1985, 117 p. (Dissertação de Mestrado, apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos- USP.)
- MILLER, D. G. — "Experiences with Upflow Filtration". Symposium on New Methods of Water Treatment. Assunción, Paraguay, aug., 1972.
- NAYLOR, A. E., EVANS, S. C. & DUNSCOMBE, K. M. — "Recent Developments on the Rapid Sand Filters at Luton". *Journal Inst. Wtr. Poll. Contr.*, GB, 66: 309-315, 1967.
- OEBEN, W., HAINES, H. P. & IVES, K. J. — "Comparison of Normal and Reverse-Graded Filtration". *J.A.W.W.A.*, Denver, EUA, 60(4): 429-439, apr., 1968.
- ORTIZ, F., SUÁREZ, L. E. & CASTILLA, A. — "Planta de Potabilización para Buenaventura, Filtración Ascendente". *Rev. ACODAL*, Colômbia, 97: 35-48, dec., 1980.
- RICHTER, C. A. — "Filtração Ascendente e Descendente: Aspectos Operacionais". 9.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Belo Horizonte, MG, 1977, vol. 3, p. 118-141.
- RICHTER, C. A. — "Fundamentos Teóricos da Floculação em Meio Granular". In: *Estação de Tratamento para Pequenas Comunidades — Estudo em uma Estação-Piloto*. Sanepar, s.n.t.
- RICHTER, C. A. & MOREIRA, R. B. — "Floculadores de Pedras: Experiências em Filtro-Piloto". In: *Estação de Tratamento para Pequenas Comunidades — Estudo em uma Estação-Piloto*. Sanepar, s.n.t.
- ROEDEL, O. O. — "Abastecimento de Água de Pequenas Comunidades — 4 Trabalhos realizados nas áreas de Tratamento e Captação". *Rev. SESP*, Rio de Janeiro, 24(1): 14-25, 1979.
- SMIT, P. — "Upflow Filter". *Journal A.W.W.A.*, Denver, EUA, 55(6): 804-805, junho, 1963.
- VALENCIA, J. A. — "Filtros de Fluxo Ascendente. Aspectos de Proyecto". 9.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. B. Horizonte, MG, 1977, vol. 3, p. 108-117.
- VALENCIA, J. A. & RICHTER, C. A. — "Filtración Ascendente y Descendente: Aspectos Operacionales y de Proyecto". *Rev. ACODAL*, Bogotá, Colômbia, 94: 21-57, junho, 1980.
- WEIGERT, W. & RICHTER, C. A. — "Evaluation of the Flocculation System". In: *Water Treatment Plant for Small Communities — Evaluation of the Araucaria Water Treatment Plant*. Sanepar, s.n.t.