

Estudos comparativos entre filtros de fluxo ascendente e descendente com meio filtrante de areia utilizando água decantada como afluente

LUIZ DI BERNARDO

Professor da Escola de Engenharia de São Carlos — Universidade de São Paulo (EESC-USP)

TSUNAO MATSUMOTO

Estudante de Pós-graduação e professor da Universidade do Estado de São Paulo (Unesp)

Através do uso de uma instalação-piloto, constituída de dois filtros, turbidímetros de escoamento contínuo e medidores contínuos de perda de carga, foi realizada uma investigação experimental para verificar em que condições a filtração ascendente pode substituir convenientemente a descendente quando se utilizar água decantada como afluente. Concluiu-se que, do ponto de vista físico e bacteriológico, a filtração descendente é superior à ascendente; em contraposição à conclusão, o volume de água produzido na filtração ascendente é substancialmente maior que na descendente.

A filtração ascendente pode ser usada como (i) pré-filtro para remover parte da matéria suspensa presente na água bruta afluente a filtros lentos de areia; (ii) como único processo de tratamento, recebendo água coagulada como afluente; (iii) como filtro lento, recebendo água bruta de baixa turbidez; (iv) como filtro terminal, recebendo, como afluente, água submetida à coagulação, floculação e sedimentação.

O primeiro caso tem sido objeto de estudos recentes (3, 11) e parece ser uma ferramenta adicional para reduzir o teor de sólidos suspensos de águas brutas submetidas posteriormente à filtração lenta descendente. O segundo caso tem sido uma tecnologia estudada com profundidade nos últimos anos na EESC-USP, cujo resumo dos principais avanços alcançados são apresentados na referência 6. A filtração lenta ascendente foi objeto de um estudo comparativo com a descendente (4). Os principais trabalhos de pesquisa sobre a filtração ascendente e descendente em areia foi conduzida por Ives e colaboradores (5, 7).

Todos esses trabalhos têm mostrado que, sob certas condições, a filtração ascendente, em pedregulho ou em areia, de água bruta ou coagulada, pode resultar superior à descendente. Evidentemente que muitos aspectos devem ser analisados

quando o afluente for a água decantada, principalmente com relação ao desnível necessário entre as unidades de pré-tratamento e os filtros rápidos. Porém, como a água filtrada produzida na filtração ascendente de água decantada pode ser pelo menos, semelhante à que se obtém nos filtros de areia de fluxo descendente, e serem obtidas carreiras de filtração mais longas, torna-se imprescindível conhecer com maior profundidade o desempenho de filtros de areia de fluxo ascendente, recebendo água decantada como afluente.

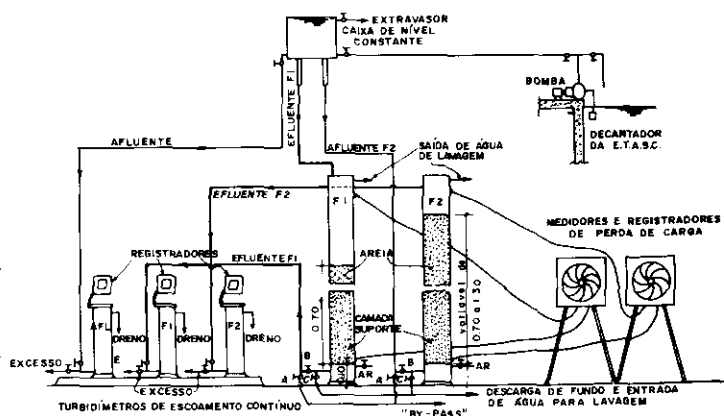
O presente trabalho foi realizado com o objetivo de comparar o desempenho de dois filtros de areia, um de fluxo descendente e outro, descendente, recebendo água decantada como afluente. Especificamente, foi variada a taxa de filtração entre 120 e 280 m³/m² dia e a espessura da camada de areia do filtro de fluxo ascendente (entre 0,7 e 1,3m), comparada a qualidade dos efluentes e duração das carreiras de filtração.

INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL Descrição da Instalação

A Figura 1 apresenta um esquema geral da instalação-piloto utilizada. A água decantada era bombeada de um dos decantadores da Estação de Tratamento de Água de São Carlos (E-TASC) até uma caixa, provida de extravasor. Como a vazão de recalque era superior à soma daquelas filtradas, uma parte retornava, mantendo o nível constante. Por intermédio de dois sífoes, com altura variável (carga hidráulica) e descarga livre, era ajustada a vazão afluente a cada filtro, correspondente à taxa de filtração desejada.

Os filtros foram construídos com tubo de acrílico transparente, com 91mm de diâmetro interno e altura total de 3,5m. Nos dois filtros, a camada suporte apoiava-se em uma placa perfurada, sob a qual, com altura de 0,1m, tinha-se uma câmara de coleta de água filtrada (filtro descendente), entrada de

FIGURA 1
Esquema geral da instalação piloto



água afluyente (filtro ascendente), entrada de água para lavagem e distribuição de ar para lavagem auxiliar.

As canalizações que veiculavam água decantada aos filtros possuíam derivações, que permitiam desviar o afluyente sem perturbar o funcionamento de um dos filtros. A entrada de água decantada ao filtro descendente era feita com descarga livre, no interior do filtro. Através da regulagem da altura da canalização de saída de água filtrada, ajustava-se o nível mínimo de operação a 0,2m acima do topo da camada de areia.

Através de tomadas de pressão, uma executada junto à placa perfurada e outra, acima da areia, ambas conectadas a aparelhos de medida de pressão do tipo diferencial (Bristol Babcock), a perda de carga na camada suporte e areia era continuamente medida e registrada. Parte dos efluentes dos filtros era encaminhada para turbidímetros de escoamento contínuo (Hach Chemical Co-modelo 1720 B) para medida e registro de turbidez das águas filtradas. A turbidez da água decantada era medida de hora em hora na própria Etasc em aparelho modelo 2100 A (Hach Chemical Co).

Meios Filtrantes e Camadas Suportes

Os Quadros 1 e 2 apresentam as características da areia e pedregulho (mesma para os dois filtros).

QUADRO 1
Características da Areia

Filtro	Espessura da Camada (m)	Tamanho dos Grãos (mm)	Tamanho Efetivo (mm)	Coefficiente de Desuniformidade
Descendente	0,7	0,42 - 1,41	0,52	1,5
	0,7	0,59 - 2,00	0,90	1,6
Ascendente	1,0	0,59 - 2,00	0,90	1,6
	1,3	0,59 - 2,00	0,90	1,6

QUADRO 2
Características da Camada Suporte

Posição	Espessura (mm)	Tamanho (mm)
1. ^a	50	2,4 - 4,8
2. ^a	75	4,8 - 9,6
3. ^a	75	9,6 - 15,9
4. ^a	100	15,9 - 25,4
5. ^a	100	25,4 - 31,7

Encerramento da Carreira de Filtração

Considera-se um ensaio encerrado quando ocorria uma das duas seguintes condições:

- aumento progressivo da turbidez do efluente até atingir 1 UT;
- perda de carga nas camadas de areia e suporte igual a 2,4 m.

Taxas de Filtração

O Quadro 3 apresenta as taxas de filtração e respectivas vazões, controladas por método volumétrico várias vezes durante as carreiras de filtração.

QUADRO 3
Taxas de Filtração e Vazões

Taxa de Filtração (m ³ /m ² . dia)	Vazão (l/min)
120	0,53
160	0,71
200	0,89
240	1,07
280	1,25

Programação dos Ensaios de Filtração

O Quadro 4 apresenta os ensaios realizados, identificados pelo número da seqüência com que foram realizados.

QUADRO 4
Programação da Execução dos Ensaios de Filtração

Número do Ensaio	Taxa de Filtração (m ³ /m ² . dia)	Espessura da Camada de Areia (m)	
		Filtro Ascendente	Filtro Descendente
01	280	0,7	0,7
02	160	0,7	0,7
03	240	0,7	0,7
04	120	0,7	0,7
05	200 (*)	0,7	0,7
06	280	0,7	0,7
07	200 (*)	0,7	0,7
08	280	1,0	0,7
09	200	1,0	0,7
10	240	1,0	0,7
11	160	1,0	0,7
12	280	1,0	0,7
13	240 (*)	1,0	0,7
14	280 (*)	1,3	0,7
15	240	1,3	0,7
16	280 (*)	1,3	0,7

(*) Ensaios repetidos para verificar a reprodutibilidade dos resultados

Programação de Coleta de Amostras para a Realização de Exames Bacteriológicos

Os exames bacteriológicos foram executados através do método da fermentação em tubos múltiplos para a determinação do NMP de coliformes totais e em placas de Petri para a contagem do número de colônias de bactérias.

Por se desconhecer os resultados típicos de um filtro de fluxo ascendente, recebendo água decantada como afluyente, foram realizados dois ensaios preliminares (que não constam do Quadro 4) para verificar, principalmente, a evolução das perdas de carga e a variação da turbidez dos efluentes em função do tempo de funcionamento (para o filtro ascendente com camada de areia de 0,7m de espessura) e taxas de filtração iguais a 120 e 240 m³/m². dia. As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados obtidos nessa fase preliminar.

Com base nas Figuras 2 e 3, foram programadas as coletas de amostras para a execução dos exames bacteriológicos, cujos momentos de coleta variaram em função da taxa de filtração e da espessura da camada de areia do filtro ascendente. Porém, em geral, para cada ensaio eram coletadas, no mínimo, três amostras no período T₁ - T₂ e uma ou duas amostras no período T₂ - T₃. Paralelamente, eram coletadas, no mínimo, três amostras da água decantada.

FIGURA 2

Comportamento típico dos filtros para taxas de 280 m³/m² dia

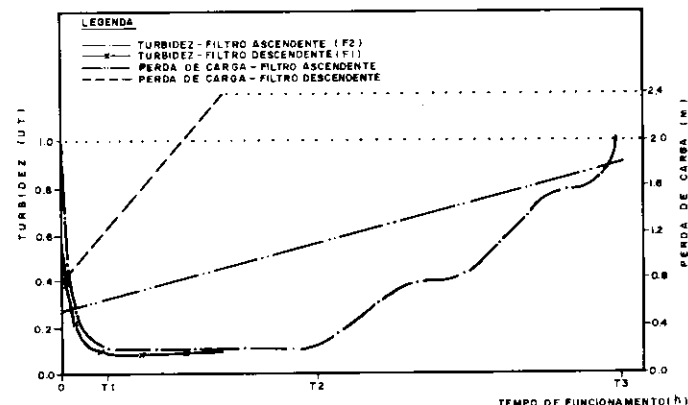


FIGURA 3

Comportamento típico para taxa de filtração de 120 m³/m² dia

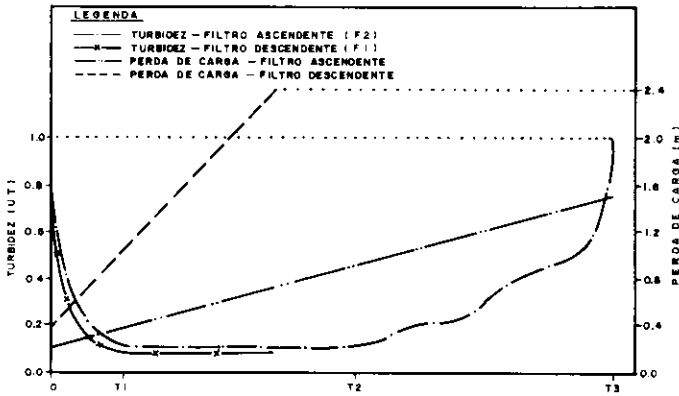


FIGURA 4

Gráfico dos resultados do ensaio 01

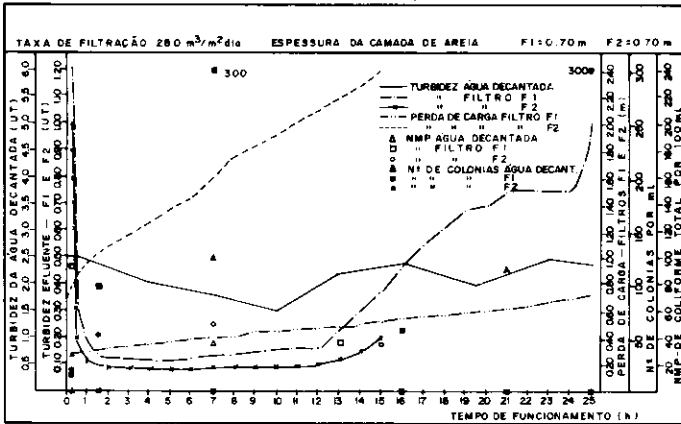
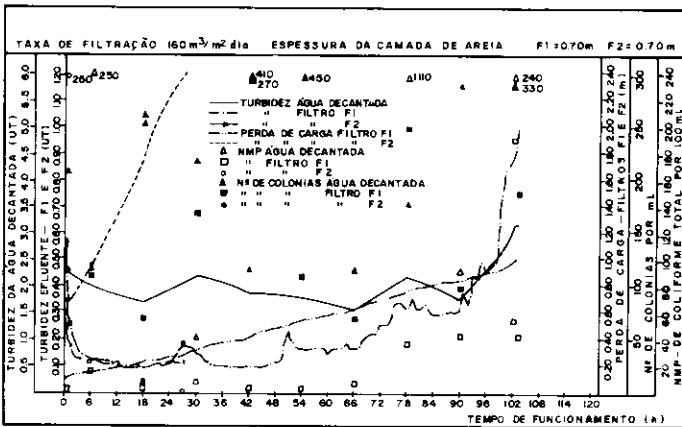


FIGURA 5

Gráfico dos resultados do ensaio 06



Lavagem dos filtros

A lavagem do filtro ascendente diferia da do filtro descendente pelo fato de que, no primeiro, era sempre executada uma descarga de fundo antes de se iniciar a lavagem propriamente dita, cujos passos eram iguais para os dois filtros:

- a) insuflação de ar durante 5 minutos
- b) introdução de água para provocar uma expansão da ordem de 20% na areia
- c) compactação das camadas de areia através de movimentos bruscos nos filtros, procurando-se fazer com que os meios filtrantes ocupassem a posição original.

RESULTADOS

Os Quadros 5 e 6 apresentam um resumo geral do trabalho experimental realizado. Nesses quadros, os ensaios foram ordenados de forma diferente com que foram executados (Quadro 4), somente para facilitar a comparação dos resultados obtidos.

As Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 representam um comportamento típico observado em quase todos os ensaios realizados, onde são mostrados os dados de coliformes totais e colônias de bactérias, além das variações da turbidez da água decantada e efluentes dos filtros e evolução das perdas de carga.

Com base nos dados do Quadro 5, foram preparadas as Figuras 10 e 11. A Figura 10 apresenta as curvas de perda de carga em função da taxa de filtração e tempo de operação, para as três camadas de areia do filtro ascendente, além da curva correspondente ao filtro de fluxo descendente. A Figura 11 mostra a quantidade de água produzida (m³/m²) em função da taxa de filtração e espessura da camada de areia no filtro ascendente, além dos dados referentes ao filtro descendente.

FIGURA 6

Gráfico dos resultados do ensaio 11

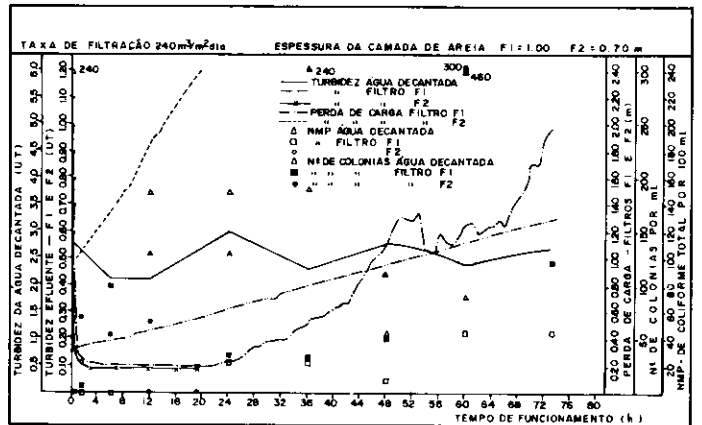
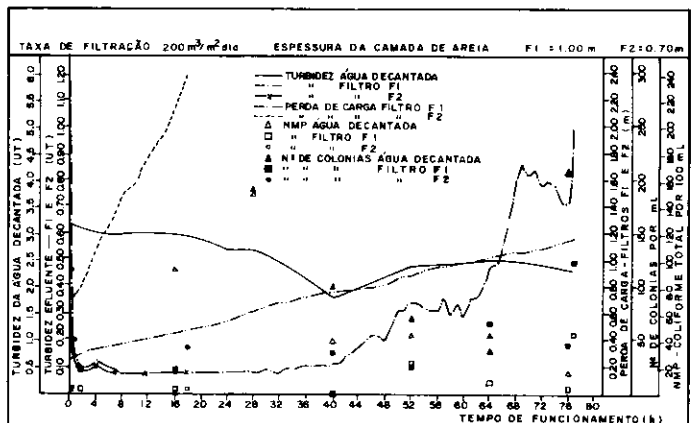


FIGURA 7

Gráfico dos resultados do ensaio 12



Com base nos resultados dos exames bacteriológicos, foi construída a Figura 12, que mostra a correspondência existente entre o NMP de coliformes totais por 100ml e a turbidez da água filtrada e decantada.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O Quadro 5 mostra que, em geral, a turbidez da água filtrada é ligeiramente superior no filtro de fluxo ascendente, independentemente da espessura da camada de areia e da taxa de filtração. Em contraposição, a duração da carreira de filtração é

QUADRO 5

Características físicas e físico-químicas da água bruta, água decantada e efluentes dos filtros, dosagens de sulfato de alumínio na ETASC, duração e perda de carga no final da carreira de filtração para todos os ensaios realizados

E N S A I O	T F A I X L A R A D A C A O (m ² /d)	ESPESSURA DA CAMADA DE AREIA (cm)		DURAÇÃO DA CARREIRA DE FILTRAÇÃO (hr)		PERDA DE CARGA FINAL DA CARREIRA (m)		CARACTERISTICAS FISICAS																					
		Ascendente	Descendente	Ascendente	Descendente	Ascendente	Descendente	DOSAGENS				ÁGUA BRUTA				AFLUENTE				EFLUENTE									
								PRODUTOS QUÍMICOS								ÁGUA DECANTADA				ASCENDENTE				DESCENDENTE					
								Cal (mg/l)		Sulf. de Alumínio (mg/l)		pH	Turbidez (UT)		Cor (UC)		pH		Turbidez (UT)		Cor (UC)		Turbidez (UT)		Turbidez (UT)				
								Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo			
01	280	70	70	24:45	14:50	0,72	2,40	7,5	6,5	12,0	10,0	6,4	9,0	6,0	20	10	6,7	6,5	2,50	2,12	1,50	2,5	2,5	2,00	0,38	0,11	1,00	0,11	0,08
02	280	70	70	27:40	13:15	0,80	2,40	7,3	5,6	11,2	8,7	6,3	7,0	6,0	20	10	6,6	6,5	3,00	2,45	2,00	2,5	2,5	1,35	0,30	0,09	1,30	0,12	0,08
03	240	70	70	46:40	13:00	1,04	2,40	7,5	5,8	11,4	8,9	6,3	8,0	6,0	30	10	6,8	6,5	2,50	2,34	2,00	2,5	2,5	1,00	0,48	0,13	1,30	0,12	0,09
04	200	70	70	69:45	18:45	1,12	2,40	9,8	5,9	15,0	9,1	6,3	9,0	6,0	20	10	6,6	6,5	3,50	2,05	1,30	2,5	2,5	1,35	0,33	0,09	1,00	0,09	0,08
05	200	70	70	53:30	21:15	0,96	2,40	8,0	5,6	12,3	8,7	6,3	8,0	6,0	20	10	6,6	6,5	3,70	2,38	1,50	2,5	2,5	1,00	0,29	0,10	0,60	0,13	0,09
06	160	70	70	103:00	27:00	1,02	2,40	11,8	6,3	18,1	9,7	6,3	34,0	7,0	120	10	6,7	6,5	3,20	2,00	1,60	2,5	2,5	1,00	0,23	0,10	0,65	0,12	0,10
07	120	70	70	126:00	54:30	0,92	2,40	9,3	5,9	14,3	9,1	6,3	10,0	6,0	30	10	6,6	6,5	2,80	1,93	1,70	2,5	2,5	1,50	0,24	0,09	1,70	0,13	0,09
08	280	100	70	46:10	12:30	1,40	2,40	7,5	5,8	11,5	8,9	6,3	18,0	6,0	30	10	6,7	6,5	2,70	2,19	1,70	2,5	2,5	1,10	0,34	0,08	1,20	0,10	0,07
09	280	100	70	49:45	9:15	1,28	2,40	8,3	6,2	12,8	9,6	6,3	11,0	6,0	40	10	6,6	6,5	3,00	2,69	2,20	2,5	2,5	1,40	0,34	0,11	2,40	0,13	0,08
10	240	100	70	75:00	12:30	1,40	2,40	8,1	5,8	12,5	8,9	6,3	9,0	6,0	20	10	6,7	6,5	3,20	2,31	2,10	2,5	2,5	2,20	0,43	0,10	1,30	0,13	0,10
11	240	100	70	73:10	19:15	1,30	2,40	11,1	5,5	17,1	8,5	6,3	24,0	7,0	90	10	6,7	6,5	3,00	2,53	2,10	2,5	2,5	1,60	0,36	0,10	1,30	0,11	0,09
12	200	100	70	76:40	18:00	1,16	2,40	7,5	5,4	11,5	8,3	6,3	8,0	6,0	20	10	6,6	6,5	3,20	2,52	1,80	2,5	2,5	1,30	0,26	0,08	0,45	0,09	0,08
13	160	100	70	145:00	25:50	1,44	2,40	7,0	5,3	10,7	8,1	6,3	11,0	6,0	20	10	6,6	6,5	3,50	2,37	1,90	2,5	2,5	3,70	0,35	0,10	0,50	0,12	0,09
14	280	130	70	72:45	10:15	2,22	2,40	9,2	5,3	14,1	8,1	6,3	9,0	6,0	30	10	6,7	6,6	2,90	2,37	2,00	2,5	2,5	1,00	0,39	0,11	0,77	1,13	0,09
15	280	130	70	81:30	8:30	2,40	2,40	11,4	6,2	17,6	9,5	6,3	11,0	6,0	30	10	6,7	6,5	2,60	2,21	2,00	2,5	2,5	1,40	0,33	0,11	0,76	0,13	0,10
16	240	130	70	103:00	14:15	2,40	2,40	7,0	5,6	10,8	8,6	6,3	25,0	6,0	70	10	6,6	6,5	3,20	2,57	2,00	2,5	2,5	4,50	0,31	0,09	0,90	0,12	0,10

QUADRO 6

Características bacteriológicas da água bruta, água decantada e afluentes dos filtros para todos os ensaios realizados

E N S A I O	T F A I X L A R A D A C A O (m ² /d)	ESPESSURA DA CAMADA DE AREIA (cm)		DURAÇÃO DA CARREIRA DE FILTRAÇÃO (hr)		PERDA DE CARGA FINAL DA CARREIRA (m)		CARACTERISTICAS BACTERIOLÓGICAS															
		Ascendente	Descendente	Ascendente	Descendente	Ascendente	Descendente	ÁGUA BRUTA				AFLUENTE				EFLUENTE							
												ÁGUA DECANTADA				ASCENDENTE				DESCENDENTE			
								NMP Coliformes Totais por 100 ml		Contagem de Colônias de Bactérias em Placa		NMP Coliformes Totais por 100 ml		Contagem Colônias Bactérias em Placa		NMP Coliformes Totais por 100 ml		Contagem Colônias Bactérias em Placa		NMP Coliformes Totais por 100 ml		Contagem Colônias Bactérias em Placa	
								Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
01	280	70	70	24:45	14:50	0,72	2,40	150 - 460	1.200	0	91	34	300	0	91	15	300	0	36	15	62		
02	280	70	70	27:40	13:15	0,80	2,40	460 - 1.100	1.300 - 1.400	4	93	10	220	4	43	1	61	0	93	29	300		
03	240	70	70	46:40	13:00	1,04	2,40	460 - 1.100	1.200 - 1.500	73	150	19	260	0	230	24	83	0	36	44	94		
04	200	70	70	69:45	18:45	1,12	2,40	1.100	1.400 - 1.500	23	240	40	120	0	43	5	64	0	0	2	53		
05	200	70	70	53:30	21:15	0,96	2,40	460 - 1.100	1.300 - 1.400	23	240	70	150	0	15	7	87	0	23	4	57		
06	160	70	70	103:00	27:00	1,02	2,40	1.100 - 2.400	1.200 - 1.700	43	1.100	180	450	0	75	3	250	0	23	0	250		
07	120	70	70	126:00	54:30	0,92	2,40	460 - 1.100	1.200 - 1.500	0	230	19	350	0	230	0	300	0	36	0	300		
08	280	100	70	46:10	12:30	1,40	2,40	1.100	1.200 - 1.400	75	460	40	170	0	23	3	54	0	9	3	56		
09	280	100	70	49:45	9:15	1,28	2,40	1.100 - 2.400	1.300 - 1.400	23	460	10	410	0	460	27	180	0	9	4	220		
10	240	100	70	75:00	12:30	1,40	2,40	1.100	1.200 - 1.300	23	460	40	200	0	75	5	84	0	4	6	67		
11	240	100	70	73:10	19:15	1,30	2,40	460 - 2.400	1.400 - 1.700	43	460	40	190	0	23	2	120	0	23	10	71		
12	200	100	70	76:40	18:00	1,16	2,40	1.100	1.200 - 1.400	15	150	10	210	0	43	5	120	0	4	6	52		
13	160	100	70	145:00	25:50	1,44	2,40	1.100 - 2.400	1.300 - 1.400	23	460	50	200	0	43	0	350	0	9	10	70		
14	280	130	70	72:45	15:10	2,22	2,40	460 - 2.400	1.400 - 1.700	23	460	10	270	3	460	0	150	0	15	1	70		
15	280	130	70	81:30	8:30	2,40	2,40	460 - 1.100	1.200 - 1.700	43	460	80	300	0	43	6	230	0	43	0	200		
16	240	130	70	103:00	14:15	2,40	2,40	460 - 2.400	1.400 - 1.700	15	460	0	370	0	93	0	190	0	23	0	30		

significativamente mais longa no filtro de fluxo ascendente, chegando-se a valores da ordem de quatro vezes maior que a duração da carreira no filtro de fluxo descendente, mesmo para a menor espessura, de 0,7m de areia no filtro ascendente. Esse último resultado era esperado, já que, enquanto no filtro descendente a ação superficial é preponderante, no filtro ascendente tem-se uma distribuição uniforme de material retido ao longo da camada de areia, pois a filtração se faz no sentido da diminuição do tamanho dos grãos de areia.

Do ponto de vista bacteriológico, o filtro de fluxo descendente produz resultados também melhores que o filtro ascendente, com os valores máximos do NMP de coliformes totais por 100ml e do número de colônias de bactérias por ml sempre menores. Embora não tenham sido apresentadas as figuras correspondentes a todos os ensaios (como as Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9), normalmente, num determinado momento de coleta dos efluentes, a qualidade bacteriológica do descendente era superior à do ascendente.

A Figura 10 mostra como a perda de carga é mais acentuada no filtro descendente, para todas as taxas de filtração estudadas. Normalmente, quanto maior a taxa de filtração, maior a perda de carga inicial e a taxa de crescimento de perda de carga devido à retenção de impurezas. Com relação ao filtro ascendente, as carreiras de filtração resultaram mais longas à medida que aumenta a espessura do meio filtrante e diminuíam a taxa de filtração. Entretanto, é interessante observar que, para uma

perda de carga total de 0,8m, o filtro com 0,7m de espessura funcionou por um tempo da ordem de 110 horas, para a taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, enquanto que, para uma taxa de $280 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, mesmo com espessura de 1,3m, o tempo de funcionamento é de somente 10 horas. Desse modo, o volume de água produzido por unidade de espessura da camada de areia não é diretamente proporcional à taxa, pois o término da carreira de filtração foi pela turbidez limite de 1 UT no primeiro caso e pela perda de carga limite de 2,4m, no segundo caso. Entretanto, quando se comparam ensaios que foram encerrados pelo mesmo motivo, prevalece o que foi discutido anteriormente, como para a taxas de 240 e $280 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, com espessura de 1,3m, isto é, a carreira de filtração resultou mais longa para a menor taxa de filtração.

Embora os ensaios não tenham terminado devido à ocorrência de uma única condição, a Figura 11 mostra uma relação interessante do que ocorre com o volume de água produzido por metro quadrado de área filtrante, em função da taxa de filtração e espessura da camada de areia (filtro ascendente). Apesar da condição de término dos ensaios não terem sido as mesmas para cada espessura, parece haver uma tendência retilínea da redução do volume de água produzido com o aumento da taxa de filtração. Mesmo que os pontos estejam espalhados, podem-se, para fins de comparação com as diferentes espessuras, traçar retas que reflitam a tendência da variação do volume de água produzido em função da taxa de filtração. Nessas condições,

FIGURA 8

Gráfico dos resultados do ensaio 14

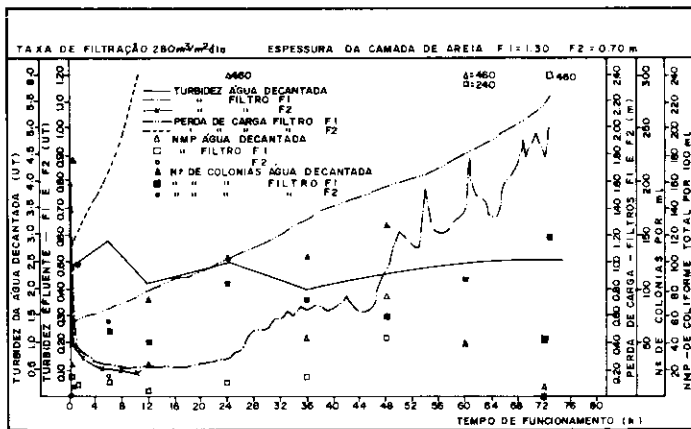


FIGURA 9

Gráfico dos resultados do ensaio 16

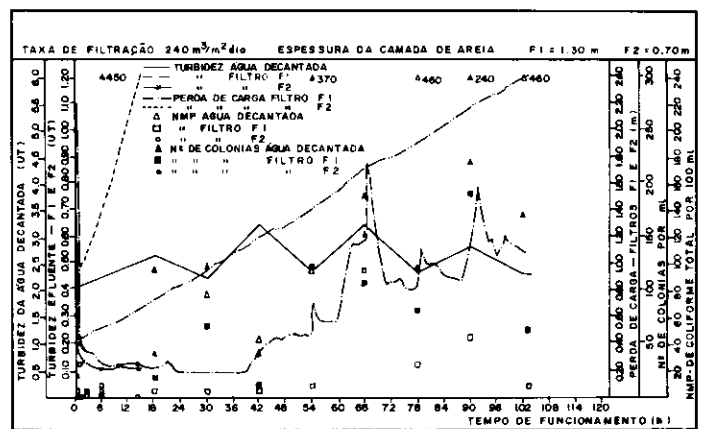


FIGURA 10

Variação da perda de carga em função do tempo de operação para diferentes taxas de filtração

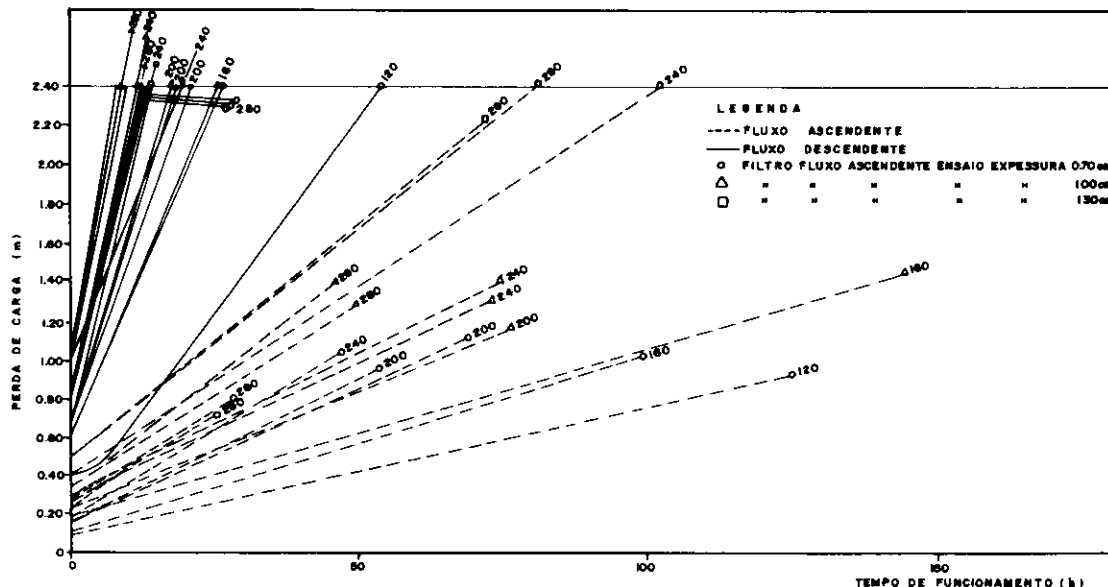
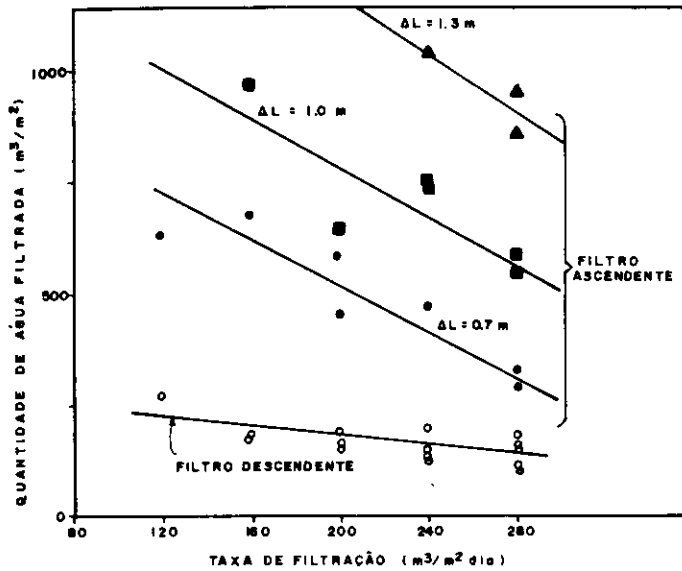


FIGURA 11

Quantidade de água produzida em função da taxa de filtração



para uma taxa de 240 m³/m² . dia, resultariam os seguintes valores aproximados:

- a) filtro de fluxo descendente: 160 m³/m²
- b) filtro de fluxo ascendente:
 - espessura de 0,7 m: 450 m³/m²
 - espessura de 1,0 m: 750 m³/m²
 - espessura de 1,3m: 1.050 m³/m²

Outro resultado interessante, que pode ser observado na Figura 12, é a relação entre turbidez e NMP de coliformes totais. Ultimamente, em outros trabalhos (8, 10, 11), tem-se observado uma tendência de ocorrer o aumento do NMP de coliformes totais com o aumento de turbidez. Trabalhando com água bruta na filtração direta ascendente, com NMP de coliformes totais variando entre 200 e 15.000, Teixeira (8), Patterniani (10) e Yatsugafu (11) verificaram que, a partir da turbidez de 1 UT, há um aumento aproximadamente exponencial do NMP de coliformes totais, o que justifica, como no presente trabalho, fixar uma turbidez limite de 1 UT.

Para a filtração de água decantada, como no presente trabalho, concluiu-se que:

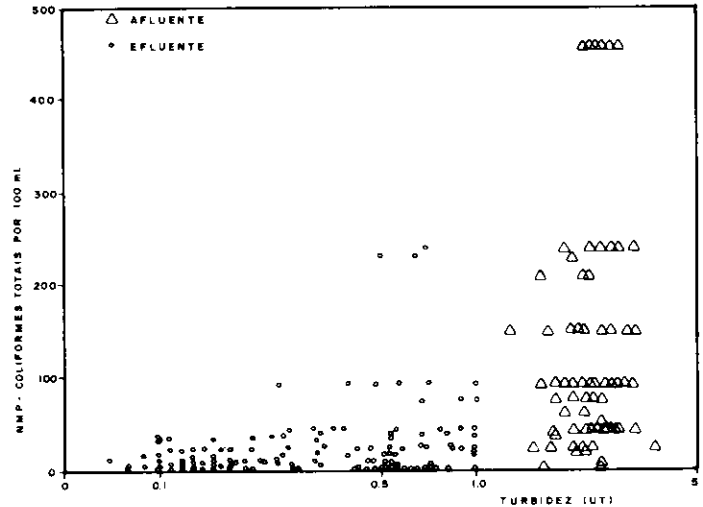
- a) para taxas de filtração entre 120 e 280 m³/m² . dia, a filtração descendente em areia (com grãos de tamanho compreendidos entre 0,42 e 1,41mm e camada de espessura igual a 0,7m) produz água filtrada superior à descendente em areia (com grãos de tamanho compreendidos entre 0,59 e 2,00m e camadas com espessuras variando entre 0,7 e 1,3m) tanto do ponto de vista físico quanto bacteriológico;
- b) a filtração ascendente produz maiores volumes de água filtrada quando comparada à descendente, mesmo com camadas de areia de espessuras iguais a 0,7m;
- c) quanto maior a espessura da camada de areia maior o volume de água filtrada produzido na filtração ascendente para uma mesma taxa de filtração;
- d) quanto maior a taxa de filtração menor o volume de água produzido na filtração ascendente para camada de areia de mesma espessura;
- e) qualquer que seja o sentido da filtração, ascendente ou descendente, a qualidade bacteriológica do efluente piora à medida que aumenta a turbidez, principalmente para valores superiores a, aproximadamente, 0,2 UT e se acentua a partir de 0,5 UT.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — Arboleda, J. V. *Filtros de Fluxo Ascendente* — As-

FIGURA 12

NMP de coliformes totais do afluente e efluentes dos filtros em função da turbidez



pectos de Proyecto — IX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária — Vol. 3, p: 108-117, Belo Horizonte — MG, 1977.

2 — Calise, V. L. & Holmer, W. A. *Russian and Eastern European Water Treatment Practices* — 19th Annual Water Conference of the Engineers Society of Western Pennsylvania Pittsburgh — USA, dec. 1958.

3 — Carrion, J. M. P. et alii *Informe Preliminar de la Investigación sobre Pre-filtros de Grava* — CEPIS — Lima, Peru, Mayo 1985.

4 — Costa, R. H. R. *Estudos Comparativos da Eficiência de Filtros Lentos de Areia Convencionais e de Fluxo Ascendente* — Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia de São Carlos — USP, maio de 1980.

5 — Diaper, E. W. J. & Ives, K. J. *Filtration Through Size-Graded Media* — J. ASCE, SA 3, p: 84-114, june 1965.

6 — Di Bernardo, L. *Considerações Hidráulicas sobre o Funcionamento de Sistemas de Filtração Direta Ascendente* — Publicado no Boletim n.º 10 — Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, 1985.

7 — Oeben, R. W. et alii *Comparison of Normal and Reverse Graded Filtration* — J. AWWA, n.º 4, p: 429-439, novembro de 1967.

8 — Patterniani, J. E. S. *Estudo da Influência de Descarga de Fundo na Eficiência de Remoção de Microrganismos em Sistemas de Filtração Direta Ascendente* — Dissertação de Mestrado — EESC-USP, setembro de 1986.

9 — Richter, C. A. *Filtração Ascendente e Descendente — Aspectos Operacionais* - IX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária — vol. 3, p: 118-141, Belo Horizonte, MG, 1977.

10 — Teixeira, E. A. N. *Influências das Características da Camada Suporte e da Areia na Eficiência da Filtração Direta Ascendente* — Dissertação de Mestrado — EESC-USP, julho de 1986.

11 — Wegelin, M. *Horizontal Flow Roughing Filtration — An Appropriate Pretreatment for Slow, Sand Filters in Developing Countries* — IRCWD News, n.º 20, Aug. 1984, Switzerland.

12 — Yatsugafu, P. H. *Influência da Taxa de Filtração e do Número de Descargas de Fundo Intermediárias na Eficiência de Remoção de Microrganismos em Sistemas de Filtração Direta Ascendente* — Dissertação de Mestrado — EESC-USP — redação final.

Os autores expressam seus agradecimentos à Fapesp pelo auxílio à pesquisa, à EESC-USP e ao SAAE de São Carlos.