

Análise racional do desempenho de sistemas de filtração direta descendente

LUIZ DI BERNARDO

Docente do Depto. de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos-USP

JOSÉ M.M. HENRIQUEZ

Engenheiro Civil e Mestre em Hidráulica e Saneamento

A filtração direta descendente é uma tecnologia que pode ser empregada com sucesso para tratamento de águas de abastecimento quando a qualidade da água bruta apresenta determinadas características. Mesmo assim, outros fatores podem influir consideravelmente no desempenho de um sistema de filtração direta descendente e que somente podem ser apropriadamente avaliados através da realização de uma investigação experimental. No presente trabalho é apresentada uma metodologia para analisar os resultados de uma investigação experimental onde foram variadas as características do meio filtrante e taxa de filtração, de modo que seja possível selecionar os parâmetros mais adequados. Tal metodologia foi aplicada na análise dos resultados de um trabalho experimental sobre a filtração direta descendente em areia, contendo 108 combinações distintas de tamanho dos grãos do meio filtrante, espessura da camada e taxa de filtração.

Conclui-se que a porcentagem da água gasta na lavagem, em relação ao volume de água produzido

numa carreira de filtração, é um parâmetro preliminar, que deve ser utilizado somente para uma seleção das combinações das variáveis. O parâmetro mais apropriado é o volume líquido de água filtrada, produzido num dia de operação, pois leva em conta aquele parâmetro anterior e o tempo em que o filtro permanece fora de operação, deixando de produzir água com uma certa taxa de filtração.

O uso da filtração direta possibilita a eliminação da sedimentação e, muitas vezes, também da floculação. Quando isso ocorre, tem-se a filtração direta em linha, que depende, basicamente, da qualidade da água bruta.

Quando a água bruta apresenta qualidade adequada para ser submetida à filtração direta descendente em linha (FDDL), resultam custos de construção, operação e manutenção bem menores que aqueles referentes às estações de tratamento completas, onde se tem pré-tratamento com coagulação, floculação e sedimentação antes da filtração.

Além da qualidade da água bruta, outros fatores influem consideravelmente no desempenho de um sistema de filtração direta descendente, com ou sem pré-floculação. A seguir, são apresentados aqueles considerados como os principais.

a) Qualidade da Água Bruta

- turbidez
- cor verdadeira
- carbono orgânico total
- tamanho e distribuição de tamanhos das partículas em estado coloidal ($<1 \mu$) e em suspensão ($>1 \mu$)
- alcalinidade (pH)
- teor de ferro manganês
- grau de contaminação microbiológica
- tipos de íons em solução (fosfatos, sulfetos, cloretos, fluoretos, etc.)
- concentração de algas

b) Pré-Tratamento Físico-Químico

- mistura rápida: gradiente de velocidade, tempo de mistura, tipo de reator
- coagulação: tipo de coagulante primário, ajudante de coagulação, pH de coagulação, potencial zeta, mecanismo preponderante de coagulação, temperatura, etc.
- pré-floculação: gradiente de velocidade, tempo de agitação, ajudante de floculação, tipo de reator, etc...

c) Meio Filtrante

- simples ou de dupla camada
- tamanho dos grãos
- distribuição granulométrica (coeficiente de desuniformidade)
- forma dos grãos
- espessura do meio filtrante

d) Operação

- taxa de filtração
- taxa constante ou declinante
- carga hidráulica disponível
- turbidez (cor verdadeira) máxima do efluente produzido
- lavagem do meio filtrante

Considerando-se todas essas variáveis, a serem levadas em conta quando se pretende utilizar a filtração direta descendente como uma tecnologia para tratamento de águas de abastecimento, é fundamental que seja realizada uma investigação experimental com a água bruta, procurando-se variar, sempre que possível, todas aquelas características mencionadas anteriormente e, assim, investigar em que condições se consegue o desempenho ótimo de uma instalação de filtração direta descendente.

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma metodologia, que pode ser seguida em outros estudos, para se obter as condições ótimas de desempenho de uma unidade de filtração direta com fluxo descendente.

CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO

Independentemente das demais variáveis envolvidas, uma carreira de filtração deve ser encerrada sempre que uma das seguintes condições ocorrer:

- turbidez máxima ou cor verdadeira máxima do efluente igual a, respectivamente, 1 UT ou 5 UH;
- perda de carga igual à carga hidráulica disponível.

No primeiro caso, Amirtharajah (2) e Mendes (9) mostraram que, em determinadas condições, a remoção de turbidez causa uma redução considerável da cor verdadeira. Para exemplificar, Mendes (9) encontrou as mesmas dosagens ótimas de sulfato de alumínio de 60 mg/l (pH = 6,55) e 10 mg/l (pH = 4,4) respectivamente, para os mecanismos de varredura e adsorção-neutralização, para as seguintes águas: Água 1 — turbidez = 200 UT; cor verdadeira = 5 UH; Água 2 — turbidez = 200 UT; cor verdadeira = 100 UH. Entretanto, a água bruta a ser submetida à filtração direta descendente não deve ter turbidez superior a 25 UT ou cor verdadeira superior a 50 UH (3). Nessas condições, para evitar problemas relacionados com a desinfecção através do uso da cloração, é recomendável que a turbidez máxima do efluente seja igual a 1 UT (7). Considerando a turbidez como parâmetro principal para avaliar a qualidade do efluente produzido, a figura 1 mostra como esse parâmetro varia (genericamente) em função do tempo para filtros de taxa constante, onde são destacadas as seguintes etapas:

etapa 1: amadurecimento do filtro, que depende da taxa de filtração, pré-tratamento, tipo de meio filtrante, qualidade da água bruta, etc;

etapa 2: na qual o efluente pode estar sempre apresentando turbidez bem menor que a máxima de 1 UT;

etapa 3: ocorrência do transpasse, isto é, aumento gradativo da turbidez do efluente com o tempo até atingir a turbidez limite de 1 UT.

No segundo caso, a carga hidráulica disponível é consumida devido à retenção de impurezas no meio filtrante. Se não ocorrer o transpasse, quanto maior a espessura e tamanho dos grãos do meio filtrante, maior poderá ser a taxa de filtração para uma carga hidráulica disponível fixa. Da mesma forma, para uma taxa de filtração fixa, maior será a duração da carreira de filtração para um meio filtrante com espessura maior e grãos de maior tamanho e cargas hidráulicas maiores. A figura 2 mostra, de forma esquemática, como caminha a frente de impurezas

ao longo do meio filtrante. No presente caso, uma perda de carga no meio filtrante da ordem de 1,8 m, cerca de 0,6 m de camada de areia com 1,0 m de espessura, foi efetiva na retenção de impurezas.

A carga hidráulica disponível para retenção de impurezas em um meio filtrante varia com a espessura do mesmo que é efetiva na retenção de impurezas. Em geral, por razões econômicas, tem sido fixada entre 1,5 e 2,5 m, muito embora o uso de polímeros como auxiliares de filtração possam afetar sensivelmente a eficiência de remoção de impurezas, independentemente da carga hidráulica disponível.

ANÁLISE DO DESEMPENHO — PRODUÇÃO DE ÁGUA FILTRADA

Tradicionalmente, a duração da carreira de filtração tem sido o principal parâmetro para estudar o desempenho global do processo de filtração, embora a taxa de filtração e o volume de água utilizado na lavagem possam fornecer dados relevantes para avaliar a produtividade de uma instalação de filtração direta, principalmente pelo fato de existirem muitas variáveis que podem afetar sensivelmente tais unidades.

Volume efetivo de água filtrada (V_e)

O volume efetivo de água produzido durante uma carreira de filtração, é dado por:

$$V_e = V_c - V_l \quad (1)$$

onde:

V_c : volume de água, por unidade de área, produzido numa carreira de filtração ($m^3/m^2 \times$ carreira)

V_l : volume de água na lavagem do filtro (m^3/m^2)

V_e : volume efetivo de água produzido numa carreira de filtração ($m^3/m^2 \times$ carreira)

Os valores V_c e V_l são obtidos, respectivamente, por:

$$V_c = qf \times T \quad (2)$$

$$V_l = ql \times tl \quad (3)$$

onde:

qf : taxa de filtração ($m^3/m^2 \cdot d$)

T : duração da carreira de filtração (d)

ql : taxa de água para lavagem ($m^3/m^2 \cdot d$)

tl : tempo de lavagem (d)

Em termos de produção efetiva de água, a eficiência de uma carreira de filtração é dada por:

$$E = \frac{V_e}{V_c} = \frac{V_c - V_l}{V_c} = \frac{qf \times T - V_l}{qf \times T} \quad (4)$$

Combinando as equações (1) e (4), obtém-se:

$$\frac{V_l}{V_c} = (1 - E) \quad (5)$$

Portanto, pode-se relacionar V_c com E para diferentes valores de V_l conforme mostra a figura 3. É evidente na figura 3, que ocorre uma diminuição rápida de produção efetiva de água (E menor) para valores de V_c inferiores a $200 m^3/m^2 \times$ carreira, que corresponderia, por exemplo, a uma carreira de filtração com T inferior a 0,67 d e utilizando $8 m^3/m^2$ para lavagem. Entretanto, a mesma condição poderia ocorrer para outra taxa de filtração e outro volume de água para lavagem, razão pela qual deve-se realizar uma análise mais profunda do desempenho das unidades de filtração direta descendente quando muitas variáveis estão envolvidas.

Um critério inicial para reduzir o número de possibilidades é limitar a porcentagem de água gasta na lavagem por carreira de filtração, isto é, E deverá ser superior a um determinado valor. Quando se trata de filtração de água decantada, o desempenho de um filtro tem sido considerado satisfatório quando $E > 0,95$. No caso da filtração direta descendente, pode-se considerar como razoável, uma condição de $E \geq 0,90$, isto é, um volume máximo de água gasto na lavagem em relação ao produzido

numa carreira, igual a 10%. Da equação (5), pode-se escrever que V_l em porcentagem de V_c , será:

$$\frac{V_l}{V_c} = \left[1 - \frac{(qf \cdot T - V_l)}{qf \cdot T} \right] \times 100 \quad (6)$$

Para $\frac{V_l}{V_c} = 10\%$, resulta:

$$1 - \frac{qf \cdot T - V_l}{qf \cdot T} \leq 0,1 \quad \text{ou}$$

$$T \geq 10 \cdot \frac{V_l}{qf} \quad \text{ou} \quad (7)$$

$$T > 240 \cdot \frac{V_l}{qf} \quad (8)$$

onde:

T: duração da carreira de filtração (h)

V_l : volume de água gasto na lavagem por carreira de filtração (m^3/m^2 x carreira)

qf: taxa de filtração ($m^3/m^2 \cdot d$)

A figura 4 foi preparada utilizando-se da equação 8 e apresenta, para cada taxa de filtração, o valor mínimo de T para diferentes valores de V_l para que resulte $V_l = 10\% V_c$. Com base nessa figura, pode-se selecionar ensaios de filtração que tenham sido efetuados sob diferentes condições e que cumpram o requisito de $V_l \leq 10\% V_c$. Porém, se for efetuado um estudo que leve em conta diversas variáveis da filtração direta descendente, é possível que, para muitas condições, essa condição seja obedecida. Assim, é recomendável determinar o volume líquido de água produzido num determinado período de funcionamento (1, 2, 3... dia, 1 semana, 1 mês, 1 ano).

Tomando-se como base 24 horas de operação, tem-se:

$$V_lq: N \cdot V_e \quad (9)$$

$$N = \frac{24}{T + tp} \quad (10)$$

onde:

V_lq : volume líquido de água produzido num dia de operação (m^3/m^2)

tp: tempo em que o filtro permanece parado (h)

N: número de carreiras de filtração em 24 horas

Combinando as equações (1), (9) e (10), resulta:

$$V_lq = \frac{24 (V_c - V_l)}{T + tp} \quad (11)$$

Se a qualidade do efluente produzido (turbidez ≤ 1 UT) para todos os ensaios selecionados com $V_l \leq 0,1 V_c$, aquele para o qual V_lq resultar maior, corresponderá à escolha final. Entretanto, é bem provável que o valor de V_lq resulte próximo para algumas condições, o que irá exigir uma análise econômica para se decidir pela escolha definitiva dos parâmetros de projeto.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O Quadro 1 apresenta as características de seis meios filtrantes constituídos unicamente de areia, de um estudo de filtração direta descendente em linha. Foram utilizadas as seguintes taxas de filtração: 180, 240, 300, 360, 420 e 480 $m^3/m^2 \cdot d$, resultando, portando, 108 condições diferentes. O encerramento de um ensaio ocorria por uma das duas seguintes situações: (1) turbidez do efluente igual a 1 UT; (2) perda de carga total no meio filtrante igual a 2 m.

A lavagem do meio filtrante, após o encerramento de uma carreira de filtração, obedeceu à seguinte metodologia: (i) insuflação de ar durante 2 minutos, com taxa da ordem de 20 l/s m^2 ; (ii) lavagem com água no sentido ascensional de modo a produzir uma expansão da ordem de 20% na areia durante um tempo variável, entre 1 e 2 minutos; (iii) lavagem simultânea com ar (taxa da ordem de 5 l/s m^2) e água

no sentido ascensional (taxa aproximadamente igual a 900 $m^3/m^2 \cdot d$), durante um período de tempo até que se obtivesse água de lavagem com turbidez igual a 5 UT (o tempo gasto nesta etapa variou de 5 a 10 minutos); (iv) repetição da segunda etapa. O Quadro 2 apresenta os tempos gastos na lavagem dos filtros e respectivos volumes gastos segundo a metodologia empregada.

Utilizando o critério $V_l \leq 0,1 V_c$ foram selecionados 39 ensaios, que encontram-se apresentados no Quadro 3. Na primeira coluna é caracterizado o número do filtro (granulometria), espessura da camada de areia e taxa de filtração. Assim, o ensaio F2-85-180 corresponde ao filtro 2 (tamanho efetivo de 0,80 mm), espessura da camada de areia igual a 85 cm, operado com taxa de filtração igual a 180 $m^3/m^2 \cdot d$.

É evidente no Quadro 3 a influência das diversas variáveis envolvidas num sistema de filtração direta, pois alguns ensaios foram encerrados pela ocorrência da turbidez limite de 1 UT, enquanto que, em outros, a turbidez do efluente produzido era às vezes bem menor que 1 UT, porém, a perda de carga igualava a carga hidráulica disponível de 2 m.

Se fosse considerado somente o volume de água produzido numa carreira de filtração (V_c), o ensaio F6 - 125 - 180, com $V_c = 273,75 m^3/m^2$ seria o escolhido, isto é, seria usada areia com tamanho efetivo de 1,8 mm, camada com espessura de 125 cm e taxa de filtração igual a 180 $m^3/m^2 \cdot d$. Coincidentemente, para estas condições, obteve-se a menor relação V_l/V_c , igual a 2,72%. Entretanto, quando se considera um dia de operação e calcula-se o volume líquido (V_lq), seria escolhido o ensaio F3 - 125 - 480, com $V_lq = 410 m^3/m^2$, tamanho efetivo de 1,0 mm, camada com espessura de 125 cm e taxa de filtração igual a 480 $m^3/m^2 \cdot d$.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

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

- um sistema de filtração direta é influenciado por inúmeras variáveis e somente através de um estudo detalhado torna-se possível obter os parâmetros mais adequados;
- a porcentagem de água gasta na lavagem em relação ao volume de água produzido numa carreira de filtração deve ser utilizada somente como um parâmetro de pré-seleção das principais variáveis envolvidas no processo;
- o volume líquido de água produzido num dia de operação deve ser o parâmetro considerado para que se obtenham as condições segundo as quais um sistema de filtração direta descendente apresenta o melhor desempenho;

No presente estudo, os ensaios em que foram produzidos valores de V_lq superiores a 400 m^3/m^2 foram aqueles realizados com taxa de 480 $m^3/m^2 \cdot d$ para os filtros F2, F3 e F4. Assim sendo, sem se levar em conta o custo da camada de areia, foi escolhido o filtro F3, com camada de espessura igual a 125 cm. Porém, esse resultado deve ser encarado com reservas, pois em outros estudos poderiam ocorrer situações para diferentes taxas de filtração onde os valores de V_lq não fossem muito diferentes, sendo recomendável a realização de um estudo econômico.

BIBLIOGRAFIA

- Amirtharajah, A. & Mills, K.M. Rapid Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation *JAWWA*, 74(4), p: 210-216, abril 1982.
- Amirtharajah, A. The Use Chemicals for Coagulation *Memorias del Seminario Internacional sobre Tecnologia Simplificada para Potabilizacion del Agua Cali* — Colombia, Agosto de 1987.
- Cleasby, J.L. Direct Filtration of Surface Waters *Memorias del Seminario Internacional sobre Tecnologia Simplificada para Potabilizacion del Agua Cali* — Colombia, Agosto de 1987.
- Committee Report The Status of Direct Filtration *JAWWA*, 72(7), p: 405-411, July 1980.

5 — Culp, R.L. Direct Filtration *JAWWA*, 69(7), p: 375-378, July 1977.

6 — Di Bernardo, L. Estudos sobre a Filtração Direta Tese de Doutorado Biblioteca da EESC-USP, nov. 1977.

7 — Di Bernardo, L. & Yatsugafu, P.H. Estudos sobre a Influência da Taxa de Filtração, do NMP de Coliformes Totais do Afluente e do Número de Descargas de Fundo Intermediárias na Qualidade do Efluente de Sistemas de Filtração Direta Ascendente *14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*/São Paulo, vol. 2 — Tomo II, p: 402-420, set. 1987.

8 — Mc Cormick, R. & King, P.H. Factors that Affect the Use of Direct Filtration in Treating Surface Waters *JAWWA*, 24(5), p: 233-242, May 1982.

9 — Mendes, C.G.N. Coagulação — Floculação de Águas Superficiais com Turbidez e Cor Variáveis Relatório Apresentado à Fapesp agosto, 1988.

10 — Shea, T.G. *et alii* Experimental Evaluation Operating Variables in Contact Flocculation *JAWWA*, 63(1), p: 41-48, Jan. 1971.

Os autores desejam expressar seus agradecimentos à Fapesp-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo auxílio à pesquisa (Processo 86/3392-8) e ao SAAE de São Carlos por permitir a montagem da instalação piloto nas dependências da estação de tratamento.

Quadro 1 Características Granulométricas dos Meios Filtrantes

Filtro	Espessura da Camada de Areia (cm)	Tamanho do Menor Grão (mm)	Tamanho do Maior Grão (D10 mm)	Tamanho do Efetivo	D60(mm)	Cd.
1	85,125,165	0,43	1,45	0,60	0,96	1,60
2	85,125,165	0,60	1,65	0,80	1,28	1,60
3	85,125,165	0,68	2,08	1,00	1,60	1,60
4	85,125,165	0,83	2,38	1,20	1,92	1,60
5	85,125,165	1,00	2,83	1,50	2,40	1,60
6	85,125,165	1,25	3,36	1,80	2,88	1,60

D_{10} : Tamanho do meio granular = tamanho que corresponde a 10% em peso do material que passa no peneiramento.

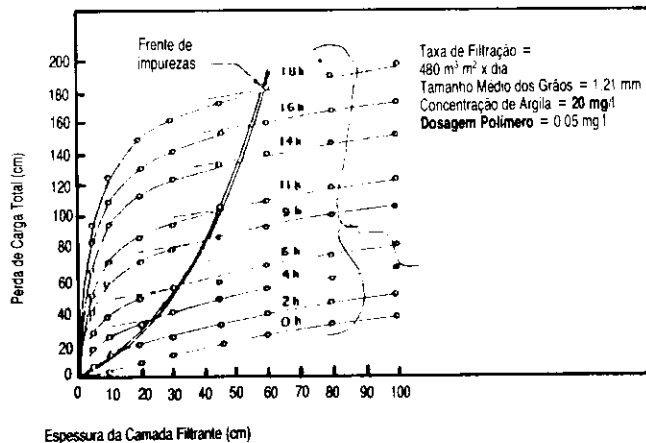
D_{60} : Tamanho equivalente ao 60% em peso do material que passa no peneiramento.

Cd : Coeficiente de desuniformidade do meio filtrante = D_{60}/D_{10} .

Quadro 2 Volume de água gasto na lavagem de cada filtro

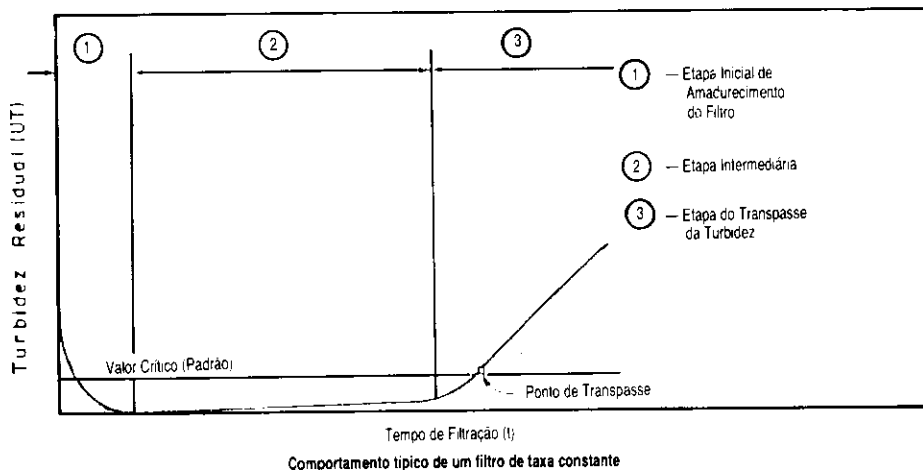
Espessura do meio filtrante (cm)	Filtro	Tempo total de lavagem (min)	Volume gasto numa lavagem (m^3/m^2)
85	F1	20	8,13
	F2	18	7,83
	F3	17	7,36
	F4	16	7,09
	F5	14	6,60
	F6	14	7,02
125	F1	21	9,17
	F2	19	8,76
	F3	18	8,20
	F4	17	8,06
	F5	15	7,50
	F6	14	7,44
165	F1	20	8,82
	F2	19	9,07
	F3	16	7,92
	F4	15	8,47
	F5	15	7,92
	F6	14	7,92

Figura 2



Desenvolvimento da perda de carga no meio filtrante

Figura 1



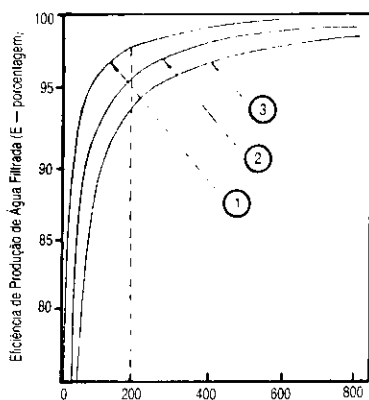
Comportamento típico de um filtro de taxa constante

Quadro 3 Características Gerais dos Ensaio Selecionados com VI < 0.1 Vc

Ensaio	Água Coagulada					Turbidez do efluente (UT)		Dosagem de Sulfato de Alumínio (mg/l)	T (h)	Perda de Carga Final (m)	Condição de Término	Vc (m³ m⁻² eq. 2)	VI(%) Vc	Vlq. (m³ m⁻² eq. 11)
	Turbidez (UT)		pH		Cor aparente (UC)	max.	min.							
	max.	min.	max.	min.										
F2- 85-180	16	13	6,2	6,0	50- 60	0,30	0,16	6,29	12,58	2,00	PC	44,35	8,28	161
F3- 85-180	16	13	6,2	6,0	50- 60	0,29	0,10	6,29	13,75	2,00	PC	103,13	7,14	164
F4- 85-180	16	13	6,2	6,0	50- 60	0,34	0,12	6,29	14,50	2,00	PC	108,75	6,52	165
F5- 85-180	16	13	6,2	6,0	50- 60	1,00	0,23	6,29	19,43	0,92	TL	145,73	4,53	170
F6- 85-180	16	13	6,2	6,0	50- 60	1,00	0,38	6,29	19,08	0,80	TL	143,10	4,91	169
F2- 85-240	16	12	6,4	6,0	30- 40	0,52	0,17	6,28	12,15	2,00	PC	121,50	6,43	219
F3- 85-240	16	12	6,4	6,0	30- 40	0,70	0,35	6,28	12,31	2,00	PC	123,10	6,86	218
F4- 85-240	16	12	6,4	6,0	30- 40	1,00	0,36	6,28	13,30	1,25	TL	133,30	5,32	223
F2- 85-300	15	12	6,1	6,0	20- 30	0,65	0,40	4,35	7,14	2,00	PC	89,25	8,75	163
F3- 85-300	15	12	6,1	6,0	20- 30	0,75	0,52	4,35	8,05	2,00	PC	100,63	7,31	268
F4- 85-300	15	12	6,1	6,0	20- 30	1,00	0,62	4,35	7,12	1,23	TL	89,00	7,97	266
F4- 85-360	9,0	7,1	7,1	6,8	20- 30	0,57	0,26	5,47	5,51	2,00	PC	82,65	8,58	314
F5- 85-360	9,0	7,1	7,1	6,8	20- 30	0,88	0,35	5,47	5,87	2,00	PC	88,05	7,50	320
F6- 85-360	9,0	7,1	7,1	6,8	20- 30	1,00	0,65	5,47	6,42	1,08	TL	96,30	7,29	322
F2- 85-480	15	13	6,2	6,1	—	0,49	0,20	5,96	4,07	2,00	PC	81,40	9,59	404
F3- 85-480	15	13	6,2	6,1	—	1,00	0,29	5,96	4,00	1,80	TL	80,00	9,20	405
F2-125-180	15	12	6,1	5,9	50	0,27	0,14	6,31	15,25	2,00	PC	114,38	7,66	163
F3-125-180	15	12	6,1	5,9	50	0,33	0,14	6,31	17,75	2,00	PC	133,13	6,16	166
F4-125-180	15	12	6,1	5,9	50	0,38	0,14	6,31	21,50	2,00	PC	161,25	5,00	169
F5-125-180	15	12	6,1	5,9	50	0,55	0,16	6,31	31,25	2,00	PC	234,38	3,20	173
F6-125-180	15	12	6,1	5,9	50	1,00	0,23	6,31	36,50	1,84	TL	273,75	2,72	174
F3-125-240	17	12	6,6	6,1	50	0,29	0,11	6,06	14,00	2,00	PC	140,00	5,86	221
F4-125-240	17	12	6,6	6,1	50	0,29	0,17	6,06	16,00	2,00	PC	160,00	5,04	224
F5-125-240	17	12	6,6	6,1	50	1,00	0,16	6,06	21,00	1,45	TL	210,00	3,57	229
F6-125-240	17	12	6,6	6,1	50	1,00	0,28	6,06	18,50	0,78	TL	185,00	4,02	227
F2-125-300	15	13	6,1	5,9	50	0,32	0,18	6,02	6,92	2,00	PC	86,50	10,13	258
F3-125-300	15	13	6,1	5,9	50	0,49	0,22	6,02	7,92	2,00	PC	99,00	8,28	265
F4-125-300	15	13	6,1	5,9	50	0,50	0,26	6,02	9,25	2,00	PC	115,63	6,97	271
F5-125-300	15	13	6,1	5,9	50	1,00	0,35	6,02	9,12	0,77	TL	114,00	6,38	273
F3-125-480	14	14	6,0	5,9	50- 60	1,00	0,34	10,40	4,57	1,79	TL	91,40	8,97	410
F4-125-480	14	14	6,0	5,9	50- 60	1,00	0,38	10,40	4,12	1,61	TL	82,40	9,78	405
F4-165-180	42	25	6,0	5,7	100-120	0,55	0,17	11,02-9,74	17,25	2,00	PC	133,12	6,36	166
F5-165-180	42	25	6,0	5,7	100-120	1,00	0,27	11,02-9,74	17,33	1,25	TL	129,98	6,09	167
F6-165-180	42	25	6,0	5,7	100-120	1,00	0,35	11,02-9,74	16,40	0,92	TL	123,00	6,44	166
F5-165-240	16	12	6,1	5,9	40	0,65	0,27	6,41	9,33	2,00	PC	93,30	8,49	214
F6-165-240	16	12	6,1	5,9	40	1,00	0,34	6,41	13,00	1,05	TL	130,00	6,09	221
F4-165-300	18	16	6,1	6,0	40- 50	0,39	0,23	6,36	7,25	2,00	PC	90,63	9,35	262
F5-165-300	18	16	6,1	6,0	40- 50	1,00	0,35	6,36	6,32	1,19	TL	79,00	10,03	260
F5-165-360	18	15	6,0	5,9	60	1,00	0,45	6,72	5,38	1,45	TL	80,70	9,81	310

* PC = Perda de Carga
TL = Turbidez Limite

Figura 3

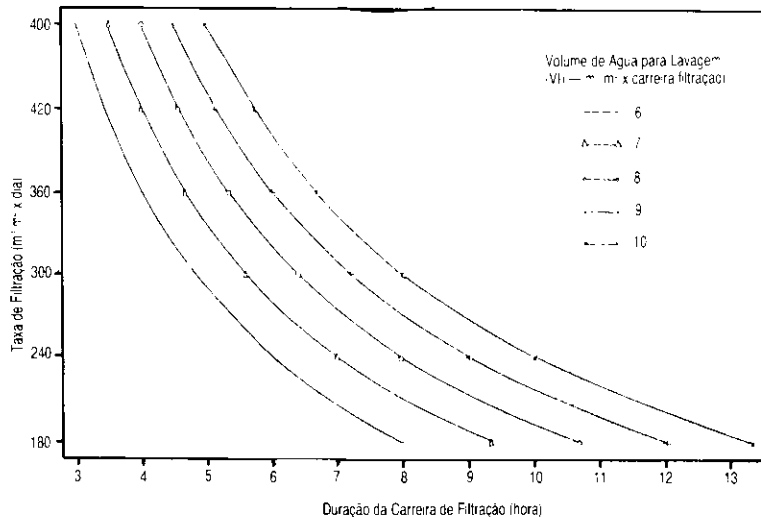


Volume Bruto de Água Filtrada (Vc — m³ m⁻² x carreira)

Relação entre Vc e E para diferentes valores de VI (eq 5)

- ① VI — 4 m³ m⁻² x lavagem
- ② VI — 8 m³ m⁻² x lavagem
- ③ VI — 12 m³ m⁻² x lavagem

Figura 4



Taxa de filtração em função da duração da carreira para diferentes valores de VI de modo que VI = 0,1 Vc