



I-024 - EFICIÊNCIA E RISCO NA SELEÇÃO DA TECNOLOGIA DE DUPLA FILTRAÇÃO

Lyda Patricia Sabogal-Paz⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista. Doutoranda em Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação Área Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Luiz Di Bernardo

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São Carlense, 400 - São Carlos/SP - Brasil. CEP: 13566-590. Tel: 55 (16) 33739528. Fax: 55 (16) 33739550 - e-mail: lysaboga@yahoo.com.br ou dibernardo@sc.usp.br

RESUMO

O conhecimento do risco presente na fonte de abastecimento e da eficiência da técnica na sua remoção são fatores importantes na seleção de tecnologias de tratamento de água para consumo humano. No entanto, o engenheiro projetista apresenta dificuldades em encontrar literatura que apresente as características gerais da água bruta a ser tratada pelas ETAs. Neste contexto, o presente artigo quer direcionar a escolha da tecnologia de dupla filtração –DF, avaliando a eficiência do sistema na remoção de: turbidez, cor verdadeira, ferro total, manganês total, coliformes totais e *Escherichia coli*.

O risco e a eficiência da tecnologia DF (composta por filtro ascendente em pedregulho - FAP e filtro rápido descendente - FRD) são abordados através da análise da estatística descritiva dos parâmetros em referência. A base de dados foi construída com as informações obtidas em várias pesquisas em instalação piloto.

Verificou-se que a tecnologia pode operar com picos de curta duração de até 200 uT de turbidez, 100 uH de cor verdadeira, 10 mg/L de ferro total, 2 mg/L de manganês total, 5000 NMP /100 mL de coliformes totais e 1500 NMP/100 mL de *Escherichia coli*. Entretanto, para garantir a eficiência do sistema, recomenda-se valores, na água bruta, inferiores a 150 uT, 75 uH, 5 mgFe/L, 1 mgMn/L, 2500 NMP/100 mL e 1000 NMP/100 mL respectivamente, na maior parte do tempo. Constatou-se, no momento de operar com valores máximos das variáveis de risco, a necessidade de trabalhar com as menores taxas de filtração recomendadas (80 a 180 m³/m²dia para FAP e 120 a 240 m³/m²dia para FRD).

A pesquisa permitiu concluir: i) as características gerais da água bruta a ser tratada pela tecnologia DF permitem orientar a seleção da técnica; porém, não eliminam a responsabilidade do engenheiro projetista em avaliar todas as formas de risco presentes na água bruta com intuito de definir a ETA mais conveniente, ii) existe pouca informação disponível para estabelecer, de forma precisa, a eficiência da tecnologia DF na remoção das variáveis de risco; assim, recomendam-se estudos relacionados ao desempenho da técnica na presença de valores máximos, analisando a duração e a frequência do evento e sua influencia na duração da carreira de filtração.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência da tecnologia, risco presente na fonte de abastecimento, dupla filtração e seleção de estações de tratamento de água.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de dupla filtração surge da associação de filtros ascendentes (em pedregulho – FAP ou em areia grossa - FAAG) e descendentes (em areia ou antracito e areia), conforme Foto 1. A coagulação é realizada no mecanismo de neutralização de cargas e, geralmente, a filtração ascendente é operada com descargas de fundo intermediárias. No Brasil existem mais de 60 estações de dupla filtração localizadas nos Estados de: Bahia, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rondônia, Tocantins e São Paulo (PROSAB, 2003).



Foto 1. ETA de DF com FAP das Cidades de Cachoeira Dourada/MG (a) e ETA de DF com FAAG de São Carlos/SP (b)

METODOLOGIA

A eficiência da tecnologia DF foi avaliada conforme estatística descritiva dos dados das instalações piloto de Megda (1999), Gusmão (2001), Kuroda (2002) e Di Bernardo (2004). Os resultados foram comparados às recomendações de Di Bernardo *et al* (2005) e PROSAB (2003). A Tabela 1 indica as características gerais dos sistemas pilotos analisados.

Considerando as informações disponíveis, foi necessária a análise, em conjunto, dos dados das instalações piloto, admitindo-se: i) os dados comparados devem corresponder à mesma tecnologia (igual combinação de processos e operações); ii) os parâmetros devem ser quantificados pelos mesmos métodos, iii) os dados da variável de risco avaliada devem corresponder ao mesmo dia e, aproximadamente, à mesma hora, simultaneamente, na água bruta e na água filtrada (na análise não é considerado o tempo de residência da água no sistema e, iv) no cálculo da eficiência, admite-se que a água filtrada pode apresentar até 100 NMP/100mL de coliformes totais ou *Escherichia coli*, considerando posterior desinfecção eficiente na ETA e inexistência de microrganismos resistentes à desinfecção como protozoários e vírus na água bruta.

Os dados que atendiam as anteriores exigências foram utilizados para avaliar o risco da água bruta afluenta ao sistema, gerando, na ETA, água de consumo conforme Portaria nº 518 (2004) e OMS (2004), determinando a eficiência da DF.

A metodologia foi desenvolvida considerando a falta de informação científica relacionada ao desempenho das ETAs na remoção das variáveis de risco (considerando frequência de ocorrência do parâmetro); no entanto, o método foi uma aproximação à solução e não a solução em si, considerando as diferenças operacionais das estações em escala real e em escala piloto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva que estabelece a eficiência da tecnologia DF na remoção das variáveis de risco, segundo o estudo em conjunto dos dados obtidos nas ETAs piloto. Na referida tabela se indica um resumo de alguns parâmetros de projeto e de operação dos sistemas avaliados. As Figuras 1 e 2 mostram a distribuição dos valores dos parâmetros e sua frequência acumulada. Segundo PROSAB (2003) e Di Bernardo *et al* (2005) as ETAs de DF, com filtro ascendente em pedregulho, são eficientes ao tratar água bruta com as características indicadas na Tabela 3.



Tabela 1. Características Gerais das Pesquisas em Instalação Piloto de DF com FAP

Pesquisa	Dados de operação e projeto
Megda (1999)	Fonte: Rio Vazão_{mo}: 0,2 L/s Coagulante: sulfato de alumínio Tfm_{FAP}: 12 a 115 m³/m²/dia Tfm_{FRD}: 250 m³/m²/dia Tam_{FAP}: 2,4 a 50,0 mm Tam_{FRD}: 0,42 a 1,41 mm Tef_{FRD}: 0,54 mm CD_{FRD}: 1,57 Esp_{FAP}: 1,20 m Esp_{FRD}: 0,70 m Lavagem: água
Gusmão (2001)	Fonte: Rio Coagulante: sulfato de alumínio Tfm_{FAP}: 82 a 189 m³/m²/dia Tfm_{FRD}: 115 a 250 m³/m²/dia Tam_{FAP}: 2,40 a 31,70 mm Tam_{FRD}: 0,42 a 1,41 mm Tef_{FRD}: 0,54 mm CD_{FRD}: 1,57 Esp_{FAP}: 0,60 m Esp_{FRD}: 0,70 m Lavagem: água
Kuroda (2002)	Fonte: Rio Vazão_{mo}: 0,13 L/s Coagulante: sulfato de alumínio Tfm_{FAP}: 60 a 240 m³/m²/dia Tfm_{FRD}: 100 a 240 m³/m²/dia Tam_{FAP}: 1,41 a 19,1 mm Tam_{FRD}: 0,30 a 1,41 mm Tef_{FRD}: 0,42 a 0,45 mm CD_{FRD}: 1,70 Esp_{FAP}: 1,2 m Esp_{FRD}: 0,70 m Lavagem: água
Di Bernardo (2004)	Fonte: Rio Vazão_{mo}: 0,03 L/s Coagulante: sulfato de alumínio Tfm_{FAP}: 120 a 180 m³/m²/dia Tfm_{FRD}: 180 a 300 m³/m²/dia Tam_{FAP}: 2,4 a 25,4 mm Tam_{FRD}: 0,3 a 1,41 mm Tef_d: 0,42 mm CD_{FRD}: 1,69 Esp_{FAP}: 1,40 m Esp_{FRD}: 0,70 m Lavagem: água

FAP: filtro ascendente em pedregulho

Esp: espessura da camada filtrante.

FRD: filtro rápido descendente

Vazão_{mo}: vazão média de operação

Tfm: taxa média de filtração

Tam: tamanho dos grãos

Tef: tamanho efetivo

CD: coeficiente de desuniformidade



Tabela 2. Estatística Descritiva dos Dados das Variáveis de Risco que Permitem Avaliar a Eficiência da Tecnologia de DF na Remoção de: Ferro Total, Manganês Total, Turbidez, Cor Verdadeira, Coliformes Totais e *Escherichia coli*

Estatística	Manganês Total (mg/L)			Ferro Total (mg/L)			Turbidez (uT)			Cor Verdadeira (uH)			Coliformes Totais (NMP/100Ml)			Escherichia coli (NMP/100Ml)		
	AB	AT	%R	AB	AT	%R	AB	AT	%R	AB	AT	%R	AB	AT	%R	AB	AT	%R
Média	0.05	0.01	56.7	1.26	0.09	92.1	34.7	0.1	99.2	36	2	95.1	1488	10	83.9	100	1	70.7
Moda	0.03	0.01	0.0	0.60	0.01	80.0	11.3	0.0	97.7	35	1	100.0	1	1	0.0	1	1	0.0
Desvio Padrão	0.04	0.01	32.4	0.59	0.07	5.8	67.0	0.1	1.1	21	2	6.4	2314	17	34.4	110	1	45.0
Mediana	0.03	0.01	65.5	1.20	0.09	93.1	12.0	0.0	99.6	30	1	96.7	450	3	99.0	73	1	98.2
Coeficiente de Variação (%)	86	59	57.1	47	79	6.2	192.9	120	1	59	131	6.7	156	171	41.0	110	79	63.6
Mínimo	0.003	0.003	0.0	0.14	0.01	80.0	6.8	0.0	89.6	18	0	64.0	1	0	0.0	1	0	0.0
Frequência de Ocorrência 100 %	0.2	0.03	92.0	2.5	0.23	99.5	384	1.0	100	141	10	100	10462	72	100.0	503	4	100
Frequência de Ocorrência 95 %	0.1	0.03	90.8	2.1	0.20	99.4	176	0.4	99.9	73	7	100	6384	47	100.0	265	3	100
Frequência de Ocorrência 90 %	0.1	0.03	89.7	2.0	0.20	99.4	98	0.3	99.8	48	4	100	4884	35	99.9	229	2	100
Número de Dados Disponíveis	24	24	24	25	25	25	738	738	738	63	63	63	50	50	50	32	32	32
Alguns Parâmetros de Projeto e de Operação das ETAs Avaliadas																		
Taxa de filtração (m³/m².dia)	Filtro ascendente em pedregulho										12 a 240							
	Filtro rápido descendente										82 a 300							
Tamanho dos grãos (mm)	Filtro ascendente em pedregulho										2,4 a 50							
	Filtro rápido descendente										0,3 a 1,41							
Tamanho efetivo (mm)	Filtro rápido descendente										0,42 a 0,54							
Coeficiente de desuniformidade	Filtro rápido descendente										1,57 a 1,70							
Duração média da carreira de filtração (horas)	Filtro ascendente em pedregulho										32							
	Filtro rápido descendente										18							
Descarga de fundo intermediarias no FAP										Com e Sem								
Coagulante utilizado										Sulfato de alumínio								
Mecanismo de coagulação										Neutralização de cargas								
Obs: Valores máximos permissíveis segundo Portaria nº 518 (2004): ferro total: 0,3 mg/L, manganês total: 0,1 mg/L, turbidez: 1,0 uT,, Cor verdadeira de 15 uH, segundo OMS (2004) AB: água bruta, AF: água filtrada, %R: porcentagem de remoção da variável de risco																		

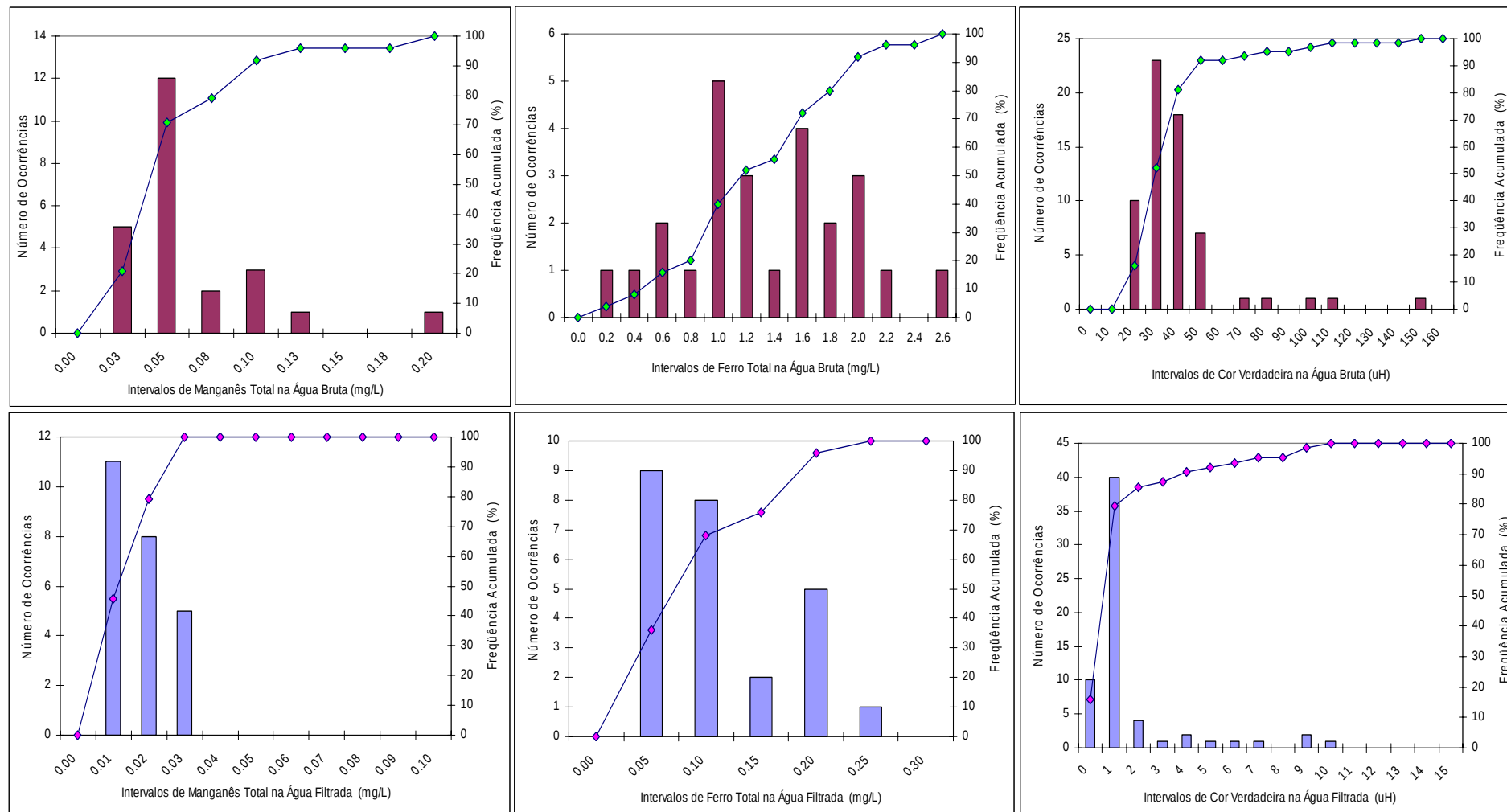


Figura 1. Distribuição dos Valores e da Frequência Acumulada do Ferro Total, do Manganês Total e da Cor Verdadeira na Água Bruta e na Água Filtrada, que Permitem Avaliar a Eficiência da Tecnologia de DF, Segundo Dados Obtidos em 4 ETAs em Escala Piloto

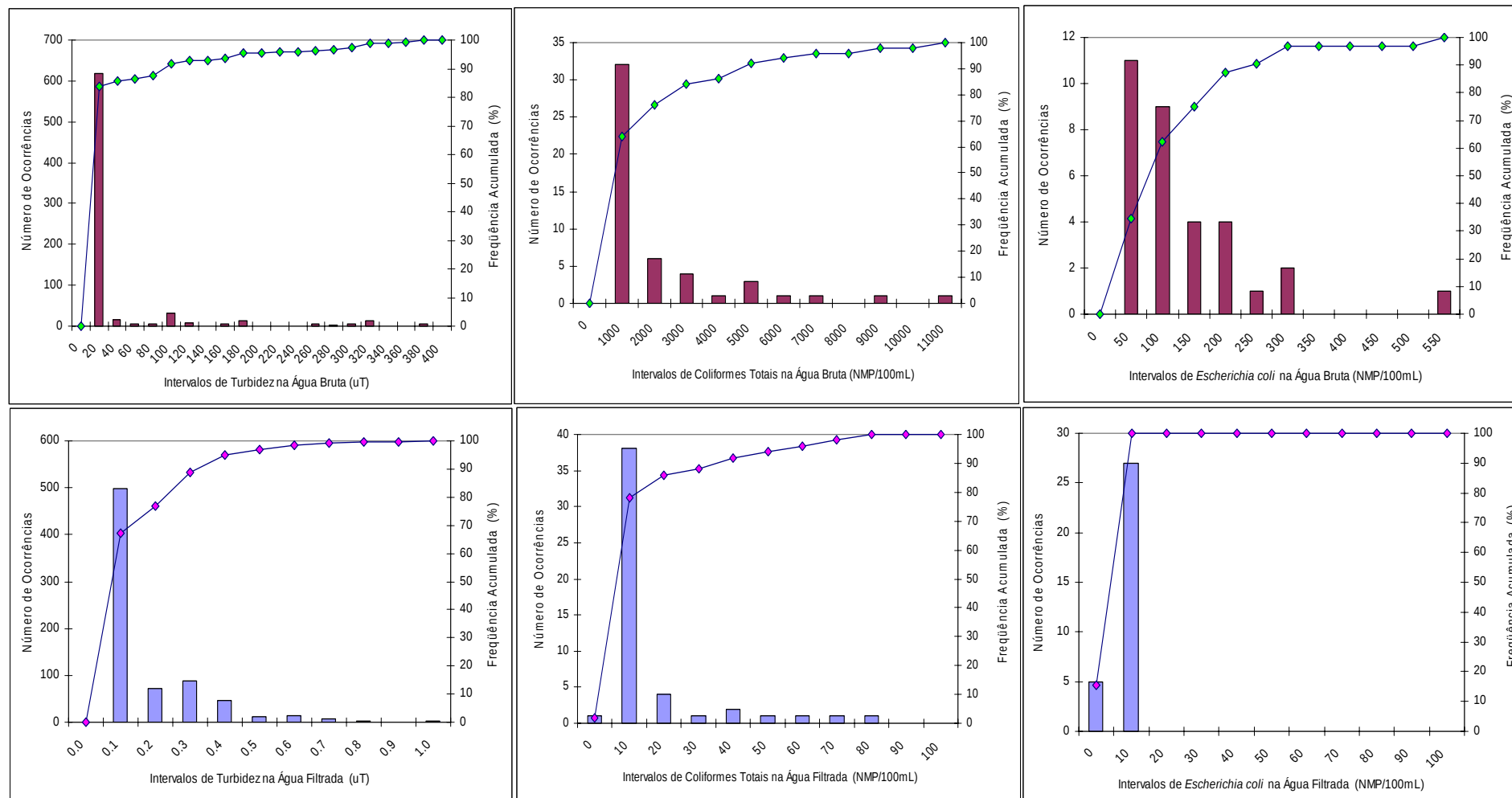


Figura 2. Distribuição dos Valores e da Frequência Acumulada da Turbidez, dos Coliformes Totais e da *Escherichia coli* na Água Bruta e na Água Filtrada, que Permite Avaliar a Eficiência da Tecnologia de DF, Conforme Dados Obtidos em 4 ETAs em Escala Piloto

**Tabela 3. Características Gerais da Água Bruta a Ser Tratada pela Tecnologia de Dupla Filtração**

Variáveis e indicador de risco de Risco	PROSAB (2003)	DI BERNARDO <i>et al</i> (2005)
	FAP + FRD	
Ferro Total (mg/L)	(-)	(-)
Manganês Total (mg/L)	(-)	(-)
Turbidez (uT)*	100% ≤ 200	100% ≤ 200
	95% ≤ 150	95% ≤ 150
	90% ≤ 100	90% ≤ 100
Cor Verdadeira (uH)**	100% ≤ 100	100% ≤ 100
	95% ≤ 75	95% ≤ 75
	90% ≤ 50	90% ≤ 50
Coliformes Totais (NMP/100mL)***	100% ≤ 5000	100% ≤ 5000
Escherichia coli (NMP/100mL)***	100% ≤ 1000	100% ≤ 1500
Taxa de filtração (m ³ /m ² dia)	FAP: 180 a 600 FRD: 80 a 180	FAP: 180 a 600 FRD: 120 a 240

Obs:

(-) Limite não estabelecido para a variáveis de risco

* Picos de até 300 uT com duração inferior a 12 horas podem ocorrer na água bruta

** Picos de até 150 uH com duração inferior a 12 horas podem ocorrer na água bruta

*** Limites mais elevados podem ser adotados com o emprego de pré-desinfecção

FAP: filtro ascendente em pedregulho, FRD: filtro rápido descendente

• Ferro Total e Manganês Total

A DF pode apresentar remoções médias de 92,1% para ferro total (com teores entre 0,14 a 2,5 mg/L) e de 56,7% para manganês total (com concentrações na faixa de 0,003 a 0,2 mg/L na água bruta), conforme Tabela 2. Verificou-se, na maior parte do tempo, que as ETAs avaliadas funcionavam com manganês total na faixa de 0,03 a 0,13 mg/L, gerando água filtrada com menos de 0,03 mg/L, segundo Figura 1. No caso do ferro, os sistemas operavam com 1,0 a 2,0 mg/L na água bruta, fornecendo filtrado com menos de 0,25 mg/L, atendendo às disposições da Portaria n° 518 (2004).

Constatou-se, na Tabela 2, que a remoção de manganês na água foi baixa, comparada ao ferro total, possivelmente porque a formação do precipitado (MnO₂) acontece a pH relativamente alto, em geral superior a 8, o qual é dificilmente atingido no tratamento por alterar coagulação.

Segundo Di Bernardo *et al* (2005), os precipitados de ferro e de manganês são removidos facilmente pela tecnologia de filtração direta descendente –FDD, basicamente na parte superior do filtro (primeiros 20 cm), contribuindo no crescimento acentuado da perda de carga, por isso, o autor recomenda teores máximos de 10 mg/L para o ferro total e de 2 mg/L para o manganês total. Considerando que a tecnologia de DF possui coagulação e filtração rápida descendente (processos utilizados na FDD), poder-se-ia admitir que a dupla filtração seja eficiente com os teores indicados pelo autor, para as frequências de 100% e 95%. O valor-limite equivalente a 90% para o ferro total, corresponde ao obtido na Tabela 2. No caso do manganês total, a frequência de 90% foi estabelecida conforme sugestões de peritos na área, conforme resultados obtidos nesta pesquisa.

• Turbidez

Verificou-se que a tecnologia DF pode apresentar remoção média de turbidez de 99,2%, com teores entre 6,8 uT e 384 uT no afluente, segundo Tabela 2. No entanto, observa-se na Figura 2, que na maior parte do tempo, os sistemas operavam com turbidez ao redor de 20 uT que gerou filtrado em torno de 0,1 uT.

A DF foi eficiente com pico de 384 uT na água bruta, com duração de até 3 horas, funcionando com taxas de 120 m³/m²dia no FAP e 180 m³/m²dia no FRD, conforme Kuroda (2002). O valor máximo foi sustentado pela tecnologia mediante a aplicação e o controle adequados das condições de coagulação obtidas em laboratório. É importante ressaltar que o pico foi obtido quantificando-se a turbidez da água coagulada e não da água bruta. Segundo Di Bernardo (2004), o sistema pode ser eficientemente com turbidez de 300 uT na água bruta por até 30 horas, operando com taxas de 180 m³/m²dia, simultaneamente, no FAP e no FRD.

Possivelmente valores elevados de turbidez por longos períodos (mais de dois dias) podem comprometer o desempenho da tecnologia, pela ocorrência de transpasse. Outro inconveniente seria o incremento da perda de



carga nos filtros que gera aumento das atividades de limpeza, reduzindo a produção efetiva de água e incrementando a produção diária de resíduos. A restrição da turbidez máxima obtida nas pesquisas de Kuroda (2002) e Di Bernardo (2004) deve ser considerada porque os dados foram obtidos em instalações piloto, com água bruta produzida em laboratório. Em escala real, as variáveis envolvidas na operação e na manutenção do sistema podem restringir o uso de água com valores elevados de turbidez ($> 200 \text{ uT}$), por longos períodos, considerando as dificuldades no controle da coagulação química, especialmente pelo pouco tempo de detenção da água na estação.

Considerando os resultados obtidos na Tabela 2 e as restrições da aplicação da DF, sugere-se, na água bruta, valores de turbidez recomendados por PROSAB (2003) e Di Bernardo *et al* (2005), indicados na Tabela 4.

• Cor Verdadeira

Na Tabela 2 verifica-se que a tecnologia de DF pode apresentar remoção de cor verdadeira da ordem de 95.1%, com teores na faixa de 18 a 141 uH na água bruta. Na Figura 1 percebe-se que, na maior parte do tempo, os sistemas funcionavam com cor verdadeira entre 20 e 50 uH, fornecendo água filtrada em torno de 1,0 uH; atendendo às normas da OMS (2004).

Nos dados analisados foi constatado um pico de 141 uH ao operar com taxas de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ no FAP e de $250 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ no FRD, segundo resultados de Megda (1999). No mesmo sistema, a autora também registrou teores ao redor 100 uH, sustentados por menos de 24 horas. Segundo os resultados obtidos por Benini (2003), o tratamento de água com cor verdadeira elevada é viável na dupla filtração; neste caso sua remoção é decorrente, principalmente, do processo de coagulação a pH baixo.

Na Tabela 2, verifica-se que a frequência de ocorrência do parâmetro (100%) foi superior às indicadas por PROSAB (2003) e Di Bernardo *et al* (2005); porém, as pesquisas avaliadas utilizavam instalações piloto que possuem características diferentes se comparadas às ETAs reais. Assim, estima-se conveniente recomendar os valores-limite indicados na Tabela 4.

• Coliformes Totais e *Escherichia coli*

A DF pode ter remoção média de 83,9% de coliformes totais (com teores entre 1 e 10462 NMP/100mL na água bruta) e 70,7% de redução de *Escherichia coli* (com afluentes na faixa de 1 a 503 NMP/100mL), conforme Tabela 2. Verificou-se que, na maior parte do tempo, os sistemas de DF funcionavam com coliformes totais em torno de 1000 NMP/100 mL e *Escherichia coli* na faixa de 50 a 300 NMP/100mL, gerando filtrado com menos de 10 NMP/100mL, segundo Figura 2.

Segundo os resultados obtidos por Kuroda (2002), a DF pode suportar picos de até 10462 NMP/100 mL de coliformes totais na água bruta, após 48 horas de operação do sistema com taxa de filtração de $60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ no FAP e de $100 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ no FRD. Megda (1999) registrou, no início do ensaio, valores de até 8164 NMP/100 mL de coliformes totais com taxas de $36 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ no FAP e de $250 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ no FRD.

Coliformes totais na faixa de 5000 a 7000 NMP/100mL foram quantificados nos afluentes das instalações de Kuroda (2002) e Megda (1999), gerando água filtrada com teor inferior a 100 NMP/100mL. Verificou-se que os menores valores de coliformes totais aconteceram quando o FAP operava com taxas de filtração baixas ($< 60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$). No entanto, PROSAB (2003) e Di Bernardo *et al* (2005), recomendam que as taxas de filtração no FAP sejam superiores a $80 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$. Assim, teores elevados ($> 5000 \text{ NMP}/100\text{mL}$) de coliformes totais na água bruta, registrados por Megda (1999) e Kuroda (2002) poderiam ser inconvenientes.

Na Tabela 2, verifica-se que os sistemas avaliados operavam eficientemente com até 500 NMP/100mL de *Escherichia coli*; entretanto, esse valor é inferior ao indicado na Tabela 3. Conforme os resultados obtidos, admitem-se valores de coliformes totais e de *Escherichia coli* indicados na Tabela 4, utilizando como base as recomendações da Tabela 3. As frequências de 95% e 90% foram fixadas conforme recomendações de peritos área, conforme dados obtidos nesta pesquisa.

Segundo resultados obtidos e recomendações de vários autores, as características gerais da água bruta a ser tratada pela tecnologia são indicadas na Tabela 4. A eficiência da tecnologia de DF depende do processo de



coagulação, do desempenho do FAP¹ e do período de amadurecimento do FRD². Nessas condições, os valores da Tabela 4 são válidos somente após coagulação eficiente da água bruta, ótimo desempenho do FAP e passado o período de maturação dos filtros.

Tabela 4. Desempenho da Tecnologia DF Sem Pré-Desinfecção, Oxidação ou Adsorção

Parâmetros	Frequência de ocorrência da variável na água bruta		
	100%	95%	90%
Turbidez (uT)	200	150	100
Cor Verdadeira (uH)	100	75	50
Ferro Total (mg/L)	10	5	2
Mangânês Total (mg/L)	2	1	0.5
Coliformes Totais (NMP/100mL)	5000	2500	1500
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	1500	1000	500
Taxa de Filtração (m ³ /m ² dia)	FAP: 80 a 180, FRD: 120 a 240		

Obs: PFD: pré-filtro dinâmico, FLA: filtro lento em areia, PFVA: pré-filtro vertical ascendente em camadas ou em série. Valores superiores aos recomendados poderão ser adotados desde que seja comprovada, experimentalmente, a eficiência do sistema por meio de estudos de tratabilidade da água e pesquisas em instalação piloto.

A qualidade da água bruta influencia diretamente a escolha da taxa de filtração a ser aplicada nas estações; assim, para águas com valores muito próximos aos da Tabela 4 devem ser utilizadas velocidades menores. É importante ressaltar que quase todas as taxas de filtração recomendadas foram definidas conforme recomendações de Di Bernardo *et al* (2005) e resultados obtidos na análise dos dados.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na escolha da tecnologia devem ser avaliadas as características da água (in natura) do manancial. O conhecimento dos dados de qualidade da água ao longo do tempo (pelo menos 1 ano) e o adequado tratamento estatístico das informações, juntamente com as recomendações de aplicações da tecnologia apresentada na Tabela 4, podem conduzir o engenheiro a uma seleção preliminar das possíveis alternativas de tratamento. Entretanto, somente a partir de estudos de tratabilidade da água e de testes em instalação piloto será possível definir a ETA mais conveniente.

Existe pouca informação disponível para estabelecer exatamente a eficiência da tecnologia de DF na remoção das variáveis de risco; assim, recomendam-se estudos relacionados à eficiência da tecnologia que abordem seu desempenho na presença de “valores pico”, analisando a duração e a frequência do evento e sua influência na carreira de filtração.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa concedida.

¹ A ocorrência de carregamento contínuo ou desprendimento de flocos previamente retidos gera deterioro nos efluentes produzidos no FRD (Kuroda, 2002)

² O período de maturação do FRD demora alguns minutos ou até horas, dependendo da qualidade do afluente, da taxa de filtração, das características do meio filtrante e da forma de limpeza dos filtros.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNARDO, A (2004). Desempenho de Sistemas de Dupla Filtração no Tratamento de Água com Turbidez Elevada. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 218 p.
2. DI BERNARDO L; DI BERNARDO, A. D (2005). Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2ª Edição. 1565 p.
3. GUSMÃO, P. T. R. (2001) Utilização de Filtração Direta Ascendente como Pré-tratamento para Tratamento de Água de Abastecimento. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 335 p.
4. KURODA, E. K. (2002) Avaliação da Filtração Direta Ascendente em Pedregulho como Pré-tratamento em Sistemas de Dupla Filtração. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 217 p.
5. MEGDA, C. R (1999) Filtração Direta Ascendente em Pedregulho como Pré-tratamento à Filtração Rápida Descendente. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 170 p.
6. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE – OMS (2004). *Guidelines for Drinking-Water Quality. Recommendation*. Volume 1, Geneva, SW.494 p.
7. PORTARIA Nº 518, de 25 de março de 2004. Padrão de Potabilidade. Ministério da Saúde. Brasil.
8. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO –PROSAB (2003). Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração Direta. Rio de Janeiro: ABES, RiMa. 480p.
9. BENINI, B. D S. (2003) Efeito da pré-oxidação de água contendo substâncias húmicas no desempenho da dupla filtração utilizando pré-filtro de pedregulho. São Carlos. 209 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.