

Avaliação técnico-econômica da tecnologia de tratamento de água de dupla filtração

Technical-economic evaluation of double filtration technology

Lyda Patricia Sabogal-Paz¹, Eduardo Marques²,
Fabiana Butti Abichabki³, Jaqueline Akiko Sakamoto⁴

RESUMO

O artigo avaliou a tecnologia de dupla filtração visando definir os critérios de seleção. A literatura é unânime em afirmar que na dupla filtração é necessário realizar o anteprojeto dos dois tipos de instalações (com filtro ascendente em pedregulho - FAP e com filtro ascendente em areia grossa - FAAG) e, em seguida, fazer um estudo técnico-econômico para determinar a melhor alternativa a ser implantada. No Brasil inexistente literatura que facilite a seleção da tecnologia em questão; assim, o artigo apresenta diretrizes que orientam a escolha da dupla filtração, facilitando o trabalho dos engenheiros projetistas. No estudo, os custos de 50 sistemas de dupla filtração foram analisados. Os resultados indicaram que o gerenciamento dos resíduos, a escavação e o consumo de energia elétrica na dupla filtração com FAAG podem incrementar o valor presente em até 33% quando comparado à com FAP; o resultado é válido para sistemas com vazões entre 10 e 100 L.s⁻¹. Os gastos advertem que o engenheiro projetista deve justificar a seleção da dupla filtração com FAAG; portanto, os custos devem ser avaliados e confrontados com o risco microbiológico presente no manancial.

Palavras-chave: custos; dupla filtração; seleção de tecnologia; tratamento de águas de consumo.

ABSTRACT

This study evaluates the double filtration technology for the definition of its selection criteria. According to the literature, double filtration requires the development of a draft of two types of installations (one with a gravel upflow filter - GUF and another with a sand upflow filter - SUF) and then a study for the definition of the best alternative to be employed. As in Brazil the literature lacks studies on such technology selection, this paper propose guidelines for the double filtration selection in an attempt to support the work of design engineers. The costs of 50 systems of double filtration were studied. The results show that the management of sludge, excavation and energy consumption in double filtration with SUF can increase the costs up to 33% in comparison to double filtration with GUF; the results are valid for systems with flows between 10 and 100 L.s⁻¹. Design engineers must justify the use of double filtration with SUF, therefore the costs involved must be evaluated and compared with the microbiological risk of supply source.

Keywords: costs; drinking water treatment; double filtration; technology selection.

INTRODUÇÃO

A estação de tratamento de água (ETA) de dupla filtração (DF) surgiu como alternativa para reduzir as limitações das tecnologias de filtração direta ascendente e filtração direta descendente (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

Na DF, a água bruta é coagulada e encaminhada à câmara de carga de cada filtro ascendente. O efluente dessa câmara entra pelo fundo do filtro ascendente para remover parte das impurezas contidas. A água pré-filtrada é coletada e encaminhada ao filtro rápido descendente (FRD), responsável por retirar as impurezas remanescentes. Por fim, a água

filtrada é conduzida às unidades seguintes para desinfecção, fluoreação e estabilização (Figura 1).

O filtro ascendente pode ser em areia grossa ou em pedregulho; assim, a escolha desse filtro define o tipo de sistema de DF (REALI; SABOGAL PAZ; DANIEL, 2012).

A seleção do tipo de tecnologia de DF deve ser analisada com critério, pois existem fatores de projeto e de operação que devem ser considerados em relação ao filtro ascendente a ser utilizado. Ao comparar o filtro ascendente em areia grossa (FAAG) com o filtro ascendente em pedregulho (FAP), verifica-se que a qualidade da

¹Professora da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP) - São Carlos (SP), Brasil.

²Estudante de Engenharia Civil da Escola de Engenharia de São Carlos da USP - São Carlos (SP), Brasil.

³Engenheira Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP - São Carlos (SP), Brasil.

⁴Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP - São Carlos (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Lyda Patricia Sabogal-Paz - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento - Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 - São Carlos (SP), Brasil - E-mail: lysaboga@sc.usp.br

Recebido: 31/01/14 - **Aceito:** 10/03/15 - **Reg. ABES:** 129909

água filtrada do primeiro é, geralmente, melhor, e é maior a taxa de filtração com conseqüente redução da área requerida pela unidade. No entanto, a carga hidráulica disponível necessária à filtração é maior e a limpeza é complexa, pela introdução de água na interface pedregulho/areia grossa. Igualmente, a duração da carreira de filtração é menor e são maiores a vazão e o tempo de bombeamento na lavagem, com aumento considerável na geração de resíduos. Por outra parte, ao comparar o FAP como o FAAG, constata-se que a carga hidráulica disponível necessária à filtração e a espessura do meio filtrante do primeiro são menores, a limpeza é mais simples e a duração da carreira de filtração é mais longa. Entretanto, o FAP é sensível às mudanças de parâmetros de qualidade na água bruta e as unidades requerem maior área devido às menores taxas adotadas (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008; REALI; SABOGAL PAZ; DANIEL, 2012).

Autores como Di Bernardo e Dantas (2005), Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) e Reali, Sabogal Paz e Daniel (2012) são unânimes em afirmar que é necessário realizar um anteprojeto com os dois tipos de instalações (DF com FAAG e DF com FAP) e, posteriormente, realizar um estudo técnico-econômico para definir a melhor alternativa.

A inexistência de literatura que oriente a seleção do tipo de DF (com FAAG ou com FAP) motivou a elaboração deste artigo, o qual fornece diretrizes para a escolha da tecnologia, para sistemas com vazões de projeto entre 10 e 100 L.s⁻¹, considerando o tratamento do resíduo.

METODOLOGIA

A avaliação dos custos considerou o estudo de 50 projetos de DF com estações de tratamento dos resíduos (ETRs). Os projetos foram extraídos de Sabogal Paz (2010) e Sakamoto (2013), para sistemas com vazões de projeto entre 10 e 100 L.s⁻¹ (Tabela 1).

O cálculo dos quantitativos de investimento, nos 50 projetos, envolveu os requerimentos de área, serviços iniciais, infraestrutura, chapa de aço, meio filtrante e camada suporte, passarela, alvenaria, fechamentos e divisórias, coberturas, esquadrias, revestimentos primários e de superfície, forros, pisos, pintura e equipamentos. Os quantitativos de funcionamento consideraram os consumos de energia elétrica e produtos químicos, a produção de resíduos (líquidos e sólidos), o volume de água para limpeza das unidades, o volume de água captado do manancial e as despesas com pessoal (operação e administração).

A avaliação econômica da dupla filtração (DF1 e DF2 com ETRs) considerou o método do valor presente (VP), o qual foi calculado usando as Equações 1 e 2.

$$VP_T = C_{inv} + VP_{fun} \quad (1)$$

em que:

VP_T = valor presente da tecnologia (R\$)

C_{inv} = investimento inicial (R\$)

VP_{fun} = valor presente dos gastos com operação e administração (R\$)

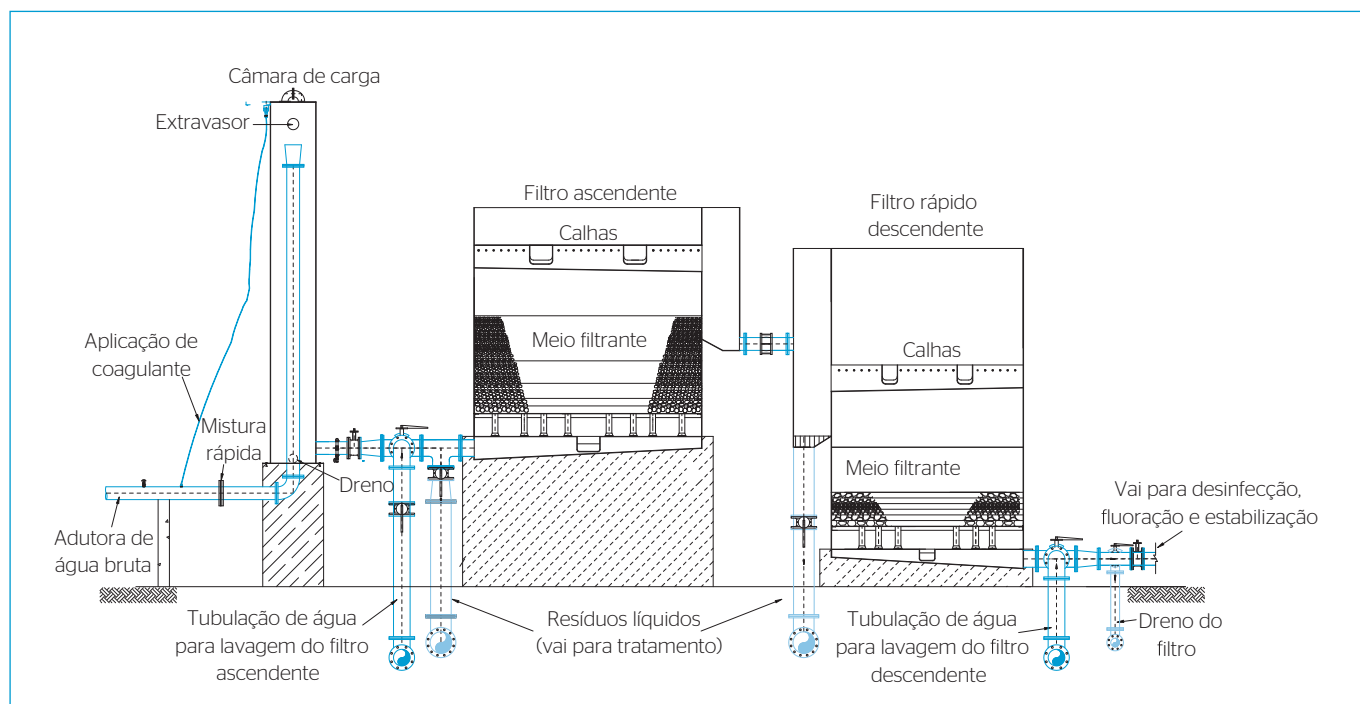


Figura 1 - Esquema da tecnologia de dupla filtração (SABOGAL PAZ, 2010).

$$VP_{fun} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (2)$$

em que:

n = período avaliado correspondente ao horizonte de planejamento (anos)

C_i = custo em $t = i$ (R\$)

i = tempo em que se faz válido o custo C_i (anos)

r = taxa de retorno (%)

O menor VP_T estabeleceu a alternativa mais favorável a ser selecionada pelo engenheiro projetista em função das características da área em estudo. Para calcular o VP_T considerou-se que os custos fossem periódicos e constantes no tempo. Os gastos com financiamento, depreciação e manutenção não foram ponderados.

A análise dos 50 projetos de DF com ETRs permitiu definir os modelos de quantitativos de investimento que foram programados em

planilhas do Microsoft Excel®. Os modelos de quantitativo são equações que relacionam a vazão da ETA ($L.s^{-1}$) com cada item de investimento. As equações foram obtidas após plotar em Microsoft Excel®, por tecnologia, os dados das vazões (10, 20, 40, 70 e 100 $L.s^{-1}$) com seus respectivos quantitativos de investimento (área, concreto, escavação, meio filtrante, etc.). As equações que apresentaram o melhor ajuste aos dados, por sistema (DF com ETRs), foram selecionadas, segundo método indicado na Figura 2.

As fórmulas permitiram o cálculo dos custos dos itens envolvidos multiplicando o quantitativo pelo preço unitário em termos de $R\$.m^{-3}$, $R\$.m^{-2}$, $R\$.kg^{-1}$, etc. para qualquer DF com ETR, com vazão de projeto entre 10 e 100 $L.s^{-1}$.

Os modelos de quantitativos de funcionamento foram extraídos de Sabogal Paz (2010) e Sakamoto (2013).

Ao estimar os custos envolvidos nos sistemas de dupla filtração, as recomendações de qualidade da água bruta estabelecidas em

Tabela 1 - Tecnologias avaliadas de dupla filtração com estações de tratamento dos resíduos.

Tecnologia	Variações da tecnologia	Processos e operações	Vazões de projeto ($L.s^{-1}$) avaliadas por Sabogal Paz (2010) e Sakamoto (2013)
Estações de tratamento de água			
Dupla filtração	DF1	MRHIM (1) + FAP (1) + FRD (1) + DES (1) + FLU (1)	10
		MRHIM (1) + FAP (2) + FRD (2) + DES (1) + FLU (1)	20
		MRHIM (1) + FAP (2) + FRD (2) + DES (1) + FLU (1)	40
		MRHIM (1) + FAP (3) + FRD (3) + DES (1) + FLU (1)	70
		MRHIM (1) + FAP (4) + FRD (4) + DES (1) + FLU (1)	100
	DF2	MRHIM (1) + FAAG (1) + FRD (1) + DES (1) + FLU (1)	10
		MRHIM (1) + FAAG (2) + FRD (2) + DES (1) + FLU (1)	20
		MRHIM (1) + FAAG (2) + FRD (2) + DES (1) + FLU (1)	40
		MRHIM (1) + FAAG (3) + FRD (3) + DES (1) + FLU (1)	70
		MRHIM (1) + FAAG (4) + FRD (4) + DES (1) + FLU (1)	100
Estações de tratamento dos resíduos			
Tecnologias para tratamento dos resíduos	ETR1	TCA (2) + DLD (8)	
	ETR2	DLL (2)	
	ETR3	TER (1)	
	ETR4	ADH (1) + CEN (1)	
	ETR5	TCA (1) + GEO (1) - para DF com vazões de projeto de 10 e 20 $L.s^{-1}$	
TCA (1) + GEO (2) - para DF com vazões de projeto de 40, 70 e 100 $L.s^{-1}$			
Disposição dos resíduos tratados	Aterro classe II, segundo NBR 10004 (ABNT, 2004), para resíduos tratados em ETR1, ETR2, ETR4 e ETR5		
	Estação de tratamento de esgoto para resíduos tratados em ETR3		
Total de projetos avaliados	$(5DF1 + 5DF2) \times 5$ ETRs = 50 projetos		

DF: dupla filtração; MRHIM: mistura rápida hidráulica com injetor e malha de fios; FAP: filtração ascendente em pedregulho, a taxa constante; FRD: filtração rápida descendente em areia, a taxa constante; DES: desinfecção com hipoclorito de sódio; FLU: fluoreação com ácido fluorsilícico; FAAG: filtração ascendente em areia grossa, a taxa constante; ETR: estação de tratamento dos resíduos; TCA: tanque de clarificação/adensamento por gravidade; DLD: desaguamento por leito de drenagem; DLL: desaguamento por lagoa de lodo; TER: tanque de equalização/regularização de vazão; ADH: adensador dinâmico helicoidal; CEN: centrífuga; GEO: filtração em geotêxtil; (): número de unidades de cada processo ou operação.

Di Bernardo (2003), Di Bernardo e Dantas (2005) e Abichabki (2012) foram ponderadas visando orientar a seleção da tecnologia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os gastos para uma ETA de DF de 50 L.s⁻¹ em função das combinações da Tabela 1. Os valores foram calculados utilizando os modelos de quantitativos com preços unitários válidos para o estado de São Paulo em junho de 2013.

A DF1 com ETR3 apresentou o menor valor presente (R\$ 8.899.089) e a DF2 com ETR3 foi a mais cara (R\$ 11.797.644), conforme a Figura 3. A discrepância entre as ETAs de DF, para a mesma ETR, foi ocasionada pelo elevado consumo de água de lavagem na DF2, encaminhado à ETR3, com posterior disposição na estação de tratamento de esgoto (ETE). O fato pode ser entendido ao avaliar os preços

unitários associados ao gerenciamento dos resíduos que foram adotados neste estudo:

1. água utilizada na limpeza das unidades (R\$ 0,8.m⁻³);
2. retirada e disposição dos resíduos sólidos das ETR1, ETR2, ETR4 e ETR5 incluindo o transporte (R\$ 20,0.m⁻³); e
3. disposição dos resíduos líquidos da ETR3 na ETE (R\$ 0,8.m⁻³).

Neste contexto, o engenheiro projetista deve ter consciência que esses valores representam mudanças significativas na seleção da tecnologia; portanto, os montantes devem ser adotados com critério.

A DF2 apresenta um alto consumo de água de lavagem, principalmente, no FAAG. O fato acontece porque a velocidade ascensional (V_a) deve ser elevada para fluidificar o D_{60} do meio granular. Uma V_a alta gera, como consequência, maior vazão de lavagem que, em função do

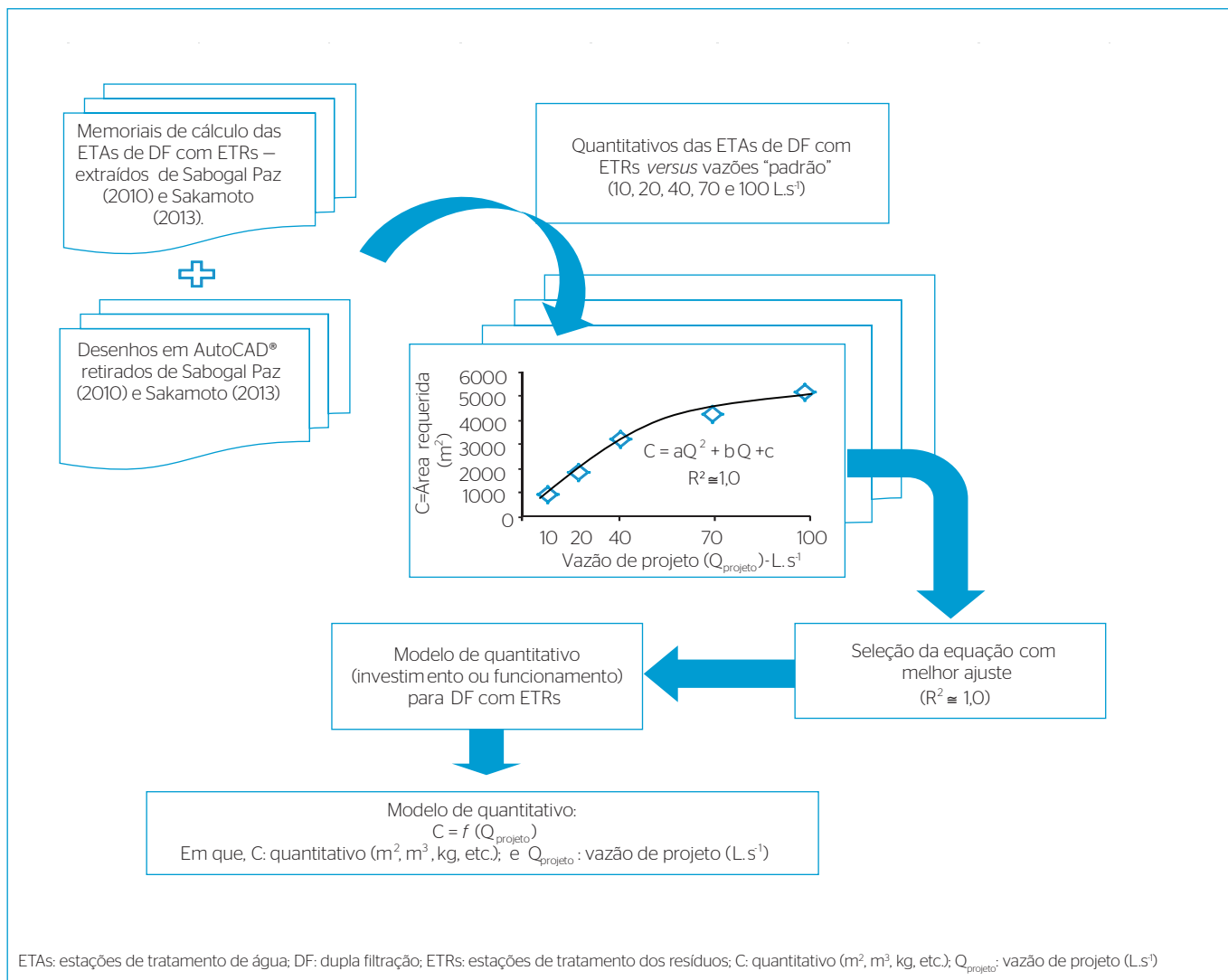


Figura 2 - Método de obtenção dos modelos de quantitativos.



Figura 3 - Gastos da dupla filtração com estação de tratamento de resíduos para vazão de projeto de 50 L.s¹.

tempo da operação, pode elevar notavelmente o volume de resíduos líquidos. Neste contexto, os resultados sugerem a necessidade de lavar o FAAG com água e ar, mesmo em ETAs de pequeno porte, visando reduzir o volume de resíduos e, conseqüentemente, o investimento no sistema DF2.

Outro aspecto importante é que o FAAG precisa de água na interface pedregulho/areia grossa no momento de realizar as descargas de fundo intermediárias (DFIs). A execução de DFIs gera, como resultado, o rápido escoamento da água pela camada suporte com a possibilidade de formação de bolsões de ar no interior do meio granular e, após o reinício da operação, existe o risco de o ar retido sair, causando prejuízo à qualidade da água filtrada, pela formação de caminhos preferenciais. Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), explosões têm sido observadas, no início da operação de FAAG, por causa do ar preso no interior do meio granular, decorrente da realização de DFIs sem a aplicação de água na interface. Evidentemente, a introdução de água na interface aumenta, ainda mais, a produção de resíduos na ETA. Portanto, segundo a Figura 3, é esperado que a DF2 apresente os maiores gastos de investimento (entre 17 e 84%) e funcionamento (entre 5 e 189%) em relação às ETRs, quando comparadas à DF1.

Ao ponderar o investimento inicial da DF1 *versus* DF2, sem implantação imediata da ETR, verificou-se que a DF1 com instalação futura da ETR5 era a alternativa mais econômica (R\$ 1.218.116), seguida da DF1 com ETR1 (R\$ 1.229.093). A oscilação dos custos aconteceu, principalmente, pelos requerimentos de área e escavação entre tecnologias. As ETRs supracitadas são recomendadas para sistemas de pequeno e médio porte, segundo Sabogal Paz (2010), portanto, constata-se coerência dos resultados.

A DF2 apresentou o maior investimento quando era prevista a implantação futura da ETR2 (R\$ 1.415.053). Os valores elevados da ETR2 ocorreram pelos altos requerimentos de área e de escavação visando armazenar a água de lavagem dos filtros para tratamento e posterior disposição do resíduo sólido em aterro Classe II.

A Figura 3 indica que a ETA de DF2 apresentou sempre o maior investimento inicial quando comparada à DF1, entre 8 e 11%, em função do tipo de ETR a ser instalada no futuro.

Ao avaliar as ETRs, verificou-se que a ETR3 para DF1 apresentou o menor investimento (R\$ 322.696) e a ETR2 para DF2 expressou um elevado custo (R\$ 1.944.198). Ao contrário da DF2, a DF1 possui o filtro ascendente em pedregulho, que requer menor volume de água de lavagem, além disso, apresenta maior duração da carreira de filtração e carece de água na interface; assim, é lógico que o custo da ETR3, para DF1, seja o menor.

Ao comparar o montante dos investimentos das ETRs *versus* ETAs (DF1 e DF2), os gastos foram superiores quando a DF2

utilizava ETR1 ou ETR2 ou ETR4 e inferiores quando foram previstas a ETR3 ou ETR5. No caso da DF1, o investimento somente foi superior quando a ETR2 era selecionada. Desse modo, o engenheiro projetista deve ter conhecimento que o tratamento do resíduo é oneroso; portanto, a DF1 deve ser considerada como primeira opção e existe necessidade de justificar, criteriosamente, o emprego da ETR2 (lagoas de lodo).

Ao ponderar os gastos com funcionamento nas ETAs, constatou-se que a DF2 apresentava os maiores valores anuais: 18% superiores aos da DF1, independentemente do tipo de ETR a ser implantado. Os consumos de energia elétrica e de água necessária à lavagem foram os itens que mais pesaram nos gastos com DF2.

Nas ETRs, os gastos anuais com funcionamento foram maiores para a DF2 em até 189% quando comparados aos da DF1. Novamente, o consumo de energia elétrica e o volume de resíduos incrementaram os custos.

A DF2, independentemente do tipo de ETR, apresentou o maior valor presente (entre 17 e 33%) quando comparada à DF1. O resultado é válido para sistemas com vazões de projeto entre 10 e 100 L.s⁻¹.

Ao estimar o valor presente para um período de projeto de 30 anos, constatou-se a influência dos gastos com funcionamento na seleção da ETR. Nesse caso, para os mesmos dados de entrada que geraram a Figura 3, a tecnologia viável foi a DF1 com ETR1 (R\$ 9.459.295), seguida da DF1 com ETR3 (R\$ 9.473.064). Nesse contexto, cuidados devem ser tomados ao selecionar o período de projeto na dupla filtração.

Ao avaliar as características da água bruta a ser tratada pela tecnologia, Di Bernardo e Dantas (2005) e Abichabki (2012) indicaram relativa robustez da DF2 quando comparada à DF1 na remoção de coliformes totais e *Escherichia coli*; contudo, em Di Bernardo (2003), o desempenho dos dois sistemas foi idêntico (Tabela 2).

Segundo Di Bernardo (2003) e Di Bernardo e Dantas (2005), a DF1 possui capacidade de suportar afluentes com maiores valores de turbidez, sólidos suspensos totais e densidade de algas e, além disso, advertem que a DF1 e a DF2 não apresentam diferenças na remoção de cor verdadeira, carbono orgânico total e demanda bioquímica de oxigênio.

Ao ponderar nove sistemas de DF em escala piloto e cinco em escala real, Abichabki (2012) constatou a dificuldade da DF1 e DF2 em tratar água bruta com turbidez superior a 100 uT por longos períodos. Ao mesmo tempo, não foi possível estabelecer o real desempenho da DF na remoção de cor verdadeira, pois um número reduzido de dados foi processado.

Neste contexto, ao avaliar os custos e o desempenho da DF, estima-se que a DF2 seja mais apropriada na remoção de microrganismos; portanto, esse fato deve ser estudado criteriosamente ao decidir pelo investimento.

Tabela 2 - Água bruta a ser tratada pela tecnologia de dupla filtração.

Parâmetros	FAP com FRD (DF1)			FAAG com FRD (DF2)		
	Di Bernardo (2003)	Di Bernardo e Dantas (2005)	Abichabki (2012)	Di Bernardo (2003)	Di Bernardo e Dantas (2005)	Abichabki (2012)
<i>Escherichia coli</i> (NMP:100 mL ⁻¹)	≤ 1000 ^a	≤ 1500 ^a	100% ≤ 1500 ^f 95% ≤ 1000	≤ 1000 ^a	≤ 2500 ^a	100% ≤ 4000 ^f 95% ≤ 1800
Coliformes totais (NMP:100 mL ⁻¹)	≤ 5000 ^a	≤ 5000 ^a	100% ≤ 5000 ^f 95% ≤ 4000	≤ 5000 ^a	≤ 10000 ^a	100% ≤ 9000 ^f 95% ≤ 7500
Cor verdadeira (uH)	100% ≤ 100 ^b 95% ≤ 75 90% ≤ 50	100% ≤ 100 ^b 95% ≤ 75 90% ≤ 50	100% ≤ 50 ^f 95% ≤ 40	100% ≤ 100 ^b 95% ≤ 75 90% ≤ 50	100% ≤ 100 ^b 95% ≤ 75 90% ≤ 50	100% ≤ 60 ^f 95% ≤ 40
Carbono orgânico total (mg.L ⁻¹)	≤ 5	≤ 5	-	≤ 5	≤ 5	-
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	100% ≤ 200 95% ≤ 150	100% ≤ 200 95% ≤ 150	-	100% ≤ 150 95% ≤ 100	100% ≤ 150 95% ≤ 100	-
Turbidez (uT)	100% ≤ 200 ^c 95% ≤ 150 90% ≤ 100	100% ≤ 200 ^c 95% ≤ 150 90% ≤ 100	100% ≤ 100 ^f 95% ≤ 75	100% ≤ 150 ^c 95% ≤ 100 90% ≤ 50	100% ≤ 150 ^c 95% ≤ 100 90% ≤ 50	100% ≤ 100 ^f 95% ≤ 75
Densidade de algas (UPA.mL ⁻¹)	≤ 1000	≤ 2500	-	≤ 1000	≤ 1000	-
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	≤ 10	≤ 10	-	≤ 10	≤ 10	-
Taxa de filtração (m ³ .m ⁻² .d ⁻¹)	FAP: 80 a 180 ^d FRD: 180 a 400	FAP: 80 a 180 ^d FRD: 120 a 240	FAP: 80 a 180 FRD: 120 a 240	FAAG: 120 a 240 FRD: 200 a 400 ^e	FAAG: 120 a 240 FRD: 200 a 400 ^e	FAAG: 120 a 240 FRD: 150 a 300

FAP: filtração ascendente em pedregulho, a taxa constante; FRD: filtração rápida descendente em areia, a taxa constante; DF: dupla filtração; FAAG: filtração ascendente em areia grossa, a taxa constante; NMP: número mais provável; UPA: unidade padrão de área; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; ^alimites mais elevados podem ser adotados com pré-desinfecção; ^bpicos de até 150 uH com duração inferior a 12 h podem ocorrer na água bruta; ^cpicos de até 300 uT com duração inferior a 12 h podem ocorrer na água bruta; ^dtaxas de filtração maiores deverão ser pesquisadas em instalações piloto; ^etaxa de filtração de até 300 m³.m⁻².d⁻¹ em unidades com camada única de areia; ^fvalores superiores poderão acontecer na tecnologia, porém o evento deverá ter curta duração (até 2 horas); -: limites não estabelecidos; 90, 95 e 100%: frequência de ocorrência do parâmetro.

CONCLUSÕES

A DF2, independentemente do tipo de ETR utilizada, sempre será mais cara em até 33% em termos de valor presente. O resultado é válido para sistemas com vazões de projeto entre 10 e 100 L.s⁻¹ quando os modelos de quantitativos são utilizados. Os elevados gastos na DF2 com ETRs estão associados aos altos requerimentos de escavação, energia elétrica e água para limpeza das unidades.

A escavação onerou consideravelmente os custos nas ETRs; assim, os gastos com o transporte do material extraído devem ser contabilizados, porque dependendo da distância e do local podem modificar expressivamente os custos da obra e interferir nas vantagens de determinada tecnologia.

A seleção da ETR não deve ser realizada sem considerar as características da ETA, pois existem casos em que o tratamento

do resíduo pode ficar mais caro do que o tratamento da água para fins de consumo.

O engenheiro projetista deve justificar claramente o uso da DF2 em novos projetos. Destaca-se que a DF2 pode ser mais eficiente do que a DF1 na remoção de coliformes; portanto, os custos envolvidos devem ser avaliados em função do risco microbiológico presente na água do manancial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos auxílios (processos nº 2010/19707-9, 2011/10070-0 e 2012/18905-7) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

ABICHABKI, F.B. (2012) *Eficiência e produção de resíduos da tecnologia de dupla filtração em função do tipo de filtro ascendente utilizado*. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) NBR 10004. *Resíduos Sólidos: Classificação*. Rio de Janeiro: ABNT. 71 p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (2013). *Preços de Insumos*: agosto de 2013. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

DI BERNARDO, L. (Coord.) (2003) *Tratamento de água para abastecimento por filtração direta*. Rio de Janeiro: ABES/RIMA. 480 p.

DI BERNARDO L. & DANTAS, A.D. (2005) *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2 ed. São Carlos: RIMA. 1566 p.

DI BERNARDO, L. & SABOGAL PAZ, L.P. (2008) *Seleção de tecnologias de tratamento de água*. v. 1 e 2. São Carlos: LDiBe. 1560 p.

REALI, M.A.P; SABOGAL PAZ, L.P; DANIEL, L.A. (2012) Tratamento de água para consumo humano. *In: CALIJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. v.1. Rio de Janeiro: Elsevier. p. 405-453.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2013) *Banco de preços de obras e serviços de engenharia*. São Paulo: SABESP. 82 p.

SABOGAL PAZ, L.P. (2010) *Seleção de tecnologias de tratamento de água para abastecimento de comunidades de pequeno e médio porte*. Relatório Final (Pesquisa de Pós-doutorado). São Paulo: FAPESP.

SAKAMOTO, J.A. (2013) *Seleção de tecnologias de tratamento de água em comunidades brasileiras de pequeno e médio porte considerando aspectos ambientais*. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

TCPO - TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS. (2012) *Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos 14*. São Paulo: PINI. Versão em CD-ROM.