

## I-039 - AVALIAÇÃO TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL VISANDO A IMPLANTAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE EM COMUNIDADES DE PEQUENO PORTE

**Lyda Patricia Sabogal Paz** <sup>(1)</sup>

Professora Doutora do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - SHS/EESC/USP, São Carlos/SP. Brasil.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av. Trabalhador São-Carlense, 400; CEP: 13566-590. São Carlos /SP. Brasil. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Tel.: (55)(16) 33739548; Fax: (55) (16) 33739550. e-mail: [lysaboga@sc.usp.br](mailto:lysaboga@sc.usp.br)

### RESUMO

Os aspectos técnicos, econômicos e ambientais que devem ser avaliados na seleção da tecnologia de filtração direta ascendente – FDA, em comunidades brasileiras de até 20000 habitantes, são apresentados neste artigo. A análise econômica da FDA é realizada utilizando modelos de quantitativo, para sistemas com vazões de projeto entre 10 e 40 L/s, envolvendo os resíduos gerados. Os modelos são facilmente transformados em *software*, programando as fórmulas matemáticas desenvolvidas, utilizando *Excel* ou outra base de programação. As equações matemáticas apresentadas são válidas somente para sistemas que possuam os mesmos critérios de projeto indicados neste artigo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Filtração direta ascendente – FDA, resíduos de estações de tratamento de água, avaliação econômica de projetos, seleção de tecnologia, modelos de quantitativo.

### INTRODUÇÃO

A filtração direta ascendente - FDA é uma tecnologia simplificada, que dependendo da qualidade da água e das características locais, pode ser até mais eficiente quando comparada à filtração direta descendente – FDD. Esse fato se deve, principalmente, ao funcionamento do filtro rápido ascendente. Na FDA, a filtração é realizada no sentido da redução do tamanho dos grãos do meio filtrante, utilizando todo o leito para remoção de impurezas, isto gera carreiras de filtração mais longas porque se aproveita melhor a carga hidráulica disponível. No caso do filtro rápido descendente, utilizado na FDD, a unidade precisa de lavagens frequentes porque a maior parte das impurezas é retida em suas primeiras camadas, onde estão os menores grãos, posicionados ali após a lavagem. Dentre as tecnologias simplificadas (filtração em múltiplas etapas, filtração direta descendente, filtração direta ascendente e dupla filtração), a FDA pode ser uma excelente alternativa em comunidades de pequeno porte – quando existam recursos locais e capacitação da mão-de-obra que será utilizada na operação, manutenção e administração do sistema. Neste contexto, o presente artigo pretende avaliar os aspectos técnicos, econômicos e ambientais a serem considerados na implantação da tecnologia de FDA em comunidades brasileiras de até 20000 habitantes.

### METODOLOGIA

#### Avaliação de aspectos técnicos

Os aspectos técnicos foram analisados em função da eficiência da tecnologia na remoção do risco presente na água bruta, conforme recomendações de vários autores, orientando, deste modo, a escolha da alternativa em função das características do manancial.

#### Avaliação de aspectos econômicos

Os aspectos econômicos foram analisados em função de modelos de quantitativo de investimento e de funcionamento. Os modelos de quantitativo são equações matemáticas (geralmente do tipo polinomial) que relacionam a vazão da ETA com cada item de investimento ou de funcionamento. Os modelos de quantitativo

permitem o cálculo dos custos dos itens multiplicando o quantitativo pelo preço unitário, para qualquer FDA com estação de tratamento do resíduo – ETR, para vazões de projeto entre 10 L/s e 40 L/s.

As unidades envolvidas na FDA foram: i) mistura rápida por injetor com malha de fios (mecanismo de coagulação por adsorção-neutralização de cargas) e; ii) filtração com filtros rápidos ascendentes em areia grossa. A definição dos modelos de quantitativo requereu do projeto hidráulico, em *AutoCAD*, das estações de tratamento de água – ETA de FDA, com ETR, para os parâmetros de projeto adotados que estão nas Tabelas 1 e 2. Os parâmetros foram selecionados em função dos trabalhos de Pinto (1994), Issac (1997), Castillo (1997) e Cruz (1993) e dos resultados das visitas às ETA das cidades brasileiras de Sacramento/MG e Descalvado/SP.

**Tabela 1. Critérios de projeto da FDA**

<b>Mistura rápida</b>	
Gradiente de velocidade médio obtido em Jarteste ( $s^{-1}$ )	1000
Tempo de mistura obtido em Jarteste (s)	10
<b>Filtro rápido ascendente</b>	
Taxa média de filtração ( $m^3/m^2d$ )	180
Carga hidráulica disponível (m)	2
Meio filtrante	
- Espessura do meio filtrante (m)	1,9
- Tamanho dos grãos (mm)	0,59 a 2,00
- Tamanho efetivo - $D_{10}$ (mm)	0,84
- Coeficiente de desuniformidade - CD	1,68
Camada suporte	
- Espessura da camada suporte (m)	0,70
- Número de subcamadas	7
- Tamanho dos grãos (mm)	2,4 a 38,0

**Tabela 2. Qualidade da água para projeto**

Parâmetros	Qualidade da água
Turbidez (uT)	100% $\leq$ 25; 95% $\leq$ 15
Cor Verdadeira (uH)	100% $\leq$ 20; 95% $\leq$ 15
Ferro Total (mg/L)	100% $\leq$ 2; 95% $\leq$ 1,5
Mangânês Total (mg/L)	100% $\leq$ 0,7; 95% $\leq$ 0,5
Coliformes Totais (NMP/100mL)	100% $\leq$ 2500; 95% $\leq$ 1500
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	100% $\leq$ 1000; 95% $\leq$ 750

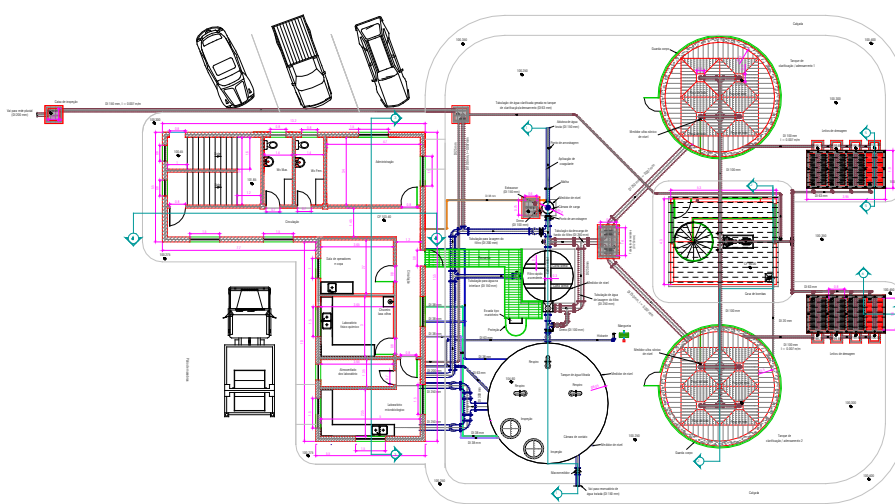
As técnicas de tratamento dos resíduos estudadas foram ETR<sub>1</sub>: tanque de clarificação/adensamento por gravidade e leitos de drenagem; ETR<sub>2</sub>: lagoa de lodo; e ETR<sub>3</sub>: tanque de equalização e regularização de vazão. Alguns dos projetos realizados, em *AutoCAD*, estão na Figura 1. Os modelos de quantitativo de investimento incluíram: terreno, casa de química, escritórios, laboratórios, unidades em concreto, tratamento do resíduo, equipamentos, tubulações, conexões, válvulas e mão-de-obra. Nos modelos de quantitativo de funcionamento foram definidos os requerimentos de energia elétrica, produtos químicos, monitoramento da qualidade da água, pessoal e geração de resíduos. O desenvolvimento dos modelos de quantitativo precisou do dimensionamento, em *AutoCAD*, de seis tipos de FDA, em função da combinação das vazões padrão (10, 20 e 40 L/s) e dos tratamentos dos resíduos (ETR<sub>1</sub>, ETR<sub>2</sub> e ETR<sub>3</sub>).

#### Avaliação de aspectos ambientais

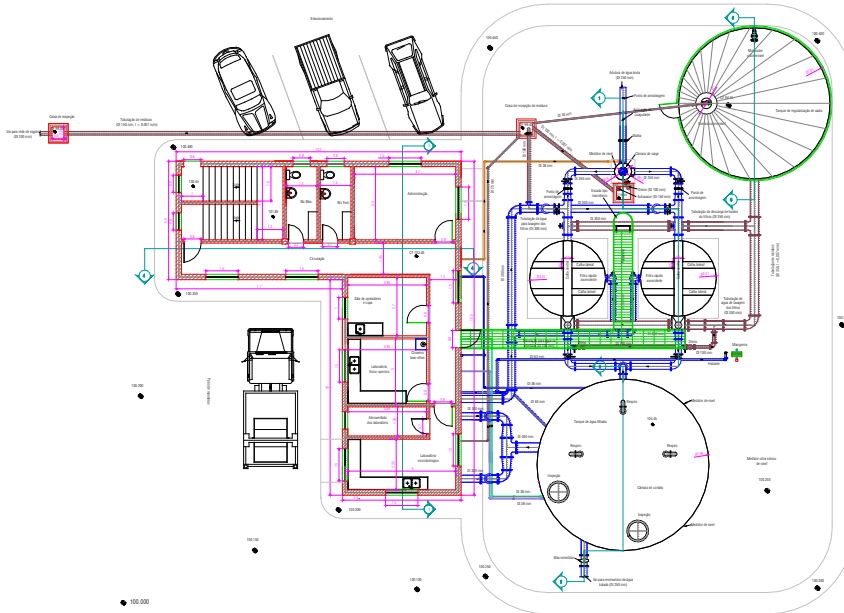
Os aspectos ambientais foram analisados em função da quantidade de resíduos gerados pela tecnologia. As características dos resíduos a serem tratados nas ETR foram fixadas segundo a qualidade da água utilizada para o projeto das ETA (Tabela 2) e o estabelecimento de operações padrão de limpeza (Tabela 3).

**Tabela 3. Frequência de lavagem dos filtros ascendentes**

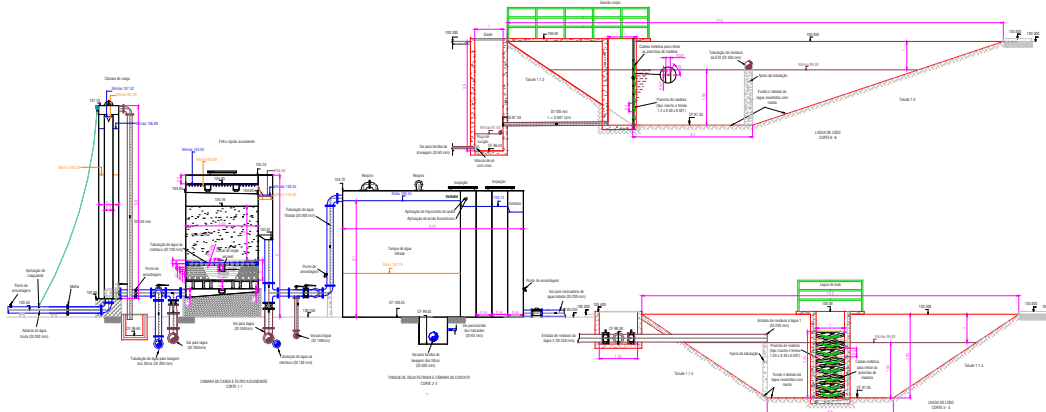
Duração da carreira de filtração	Período para as descargas de fundo intermediárias – DFI	Tempo aproximado da lavagem do filtro e/ou das DFI	Observações
36 h	12 h	10 min para lavagem do filtro. 1,0 min para DFI.	Valores adotados segundo resultados de Pinto (1994), Issac (1997), Castillo (1997) e Cruz (1993), além das experiências das ETA Brasileiras de Sacramento/MG e Descalvado/SP



FDA de 10 L/s com ETR<sub>1</sub> – Planta



FDA de 40 L/s com ETR<sub>3</sub> – Planta



FDA de 20 L/s com ETR<sub>2</sub> – Corte

**Figura 1. Exemplo das ETA de FDA projetadas em AutoCAD**

Uma relação entre a turbidez e o teor de sólidos suspensos totais na água foi definida utilizando a Equação 1, indicada por Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

$$SST = aT \quad \text{Equação 1}$$

Em que, SST: concentração de sólidos suspensos totais gerados na ETA (mg/L), a: coeficiente obtido experimentalmente e T: turbidez (uT).

A massa diária de sólidos retida em cada unidade da ETA foi estabelecida segundo Equação 2, também indicada por Di Bernardo e Sabogal Paz (2008). Os resultados obtidos foram alterados conforme as porcentagens de remoção de sólidos na operação de limpeza de cada unidade. Esse percentual foi definido segundo resultados obtidos em vários trabalhos científicos e/ou consulta com peritos no assunto.

$$MSST = 86,4 Q_{eta} (SST_{u1} - SST_{u2}) \quad \text{Equação 2}$$

Em que, MSST: massa diária de sólidos retida em cada unidade da ETA (kg/d),  $Q_{eta}$ : vazão da ETA ( $m^3/s$ ),  $SST_{u1}$ : sólidos removidos na primeira unidade (mg/L),  $SST_{u2}$ : sólidos removidos na segunda unidade consecutiva (mg/L).

## RESULTADOS

### Eficiência da FDA

As características da água bruta a ser tratada pela tecnologia são indicadas na Tabela 4 conforme PROSAB (2003), Di Bernardo e Dantas (2005) e Sabogal Paz (2007). Destaca-se que o tempo de permanência da água na ETA é curto, aproximadamente, 30 min. Assim sendo, é importante capacitar a mão-de-obra que será responsável pela operação e manutenção para poder tomar decisões em curtos períodos, com o intuito de garantir o fornecimento de água à população conforme a Portaria nº 2914 (2011).

**Tabela 4 – Características gerais da água bruta a ser tratada pela tecnologia de FDA**

Parâmetros	Sabogal Paz (2007) <sup>(1) (2) (3)</sup>	PROSAB (2003)	Di Bernardo e Dantas (2005) <sup>(1)</sup>
Turbidez (uT)	100% ≤ 50; 95% ≤ 30	100% ≤ 100; 95% ≤ 25	100% ≤ 100; 95% ≤ 50
Cor Verdadeira (uH)	100% ≤ 50; 95% ≤ 25	100% ≤ 50; 95% ≤ 25	100% ≤ 100; 95% ≤ 50
Ferro Total (mg/L)	100% ≤ 10; 95% ≤ 5	(-)	(-)
Manganês Total (mg/L)	100% ≤ 2; 95% ≤ 1	(-)	(-)
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100/mL)	100% ≤ 1000; 95% ≤ 750	100% ≤ 500 <sup>(1)</sup>	100% ≤ 1000
Coliformes Totais (NMP/100/mL)	100% ≤ 2500; 95% ≤ 1500	100% ≤ 1000 <sup>(1)</sup>	100% ≤ 5000
Taxa de filtração ( $m^3/m^2d$ )	120 a 240	160 a 240	120 a 240

<sup>(1)</sup> 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.  
<sup>(2)</sup> Limites válidos para FDA sem uso de oxidação, adsorção, pré-desinfecção ou outras técnicas consideradas avançadas.  
<sup>(3)</sup> Os valores-limite máximos (100%) não podem acontecer simultaneamente. (-) Limites não estabelecidos

Na Tabela 4 os parâmetros de qualidade da água publicados por PROSAB (2003) e Di Bernardo e Dantas (2005) são resultado das experiências práticas dos autores em relação ao estudo da tecnologia – por tanto, as recomendações indicam as opiniões desses pesquisadores. Os valores sugeridos por Sabogal Paz (2007) são o resultado do estudo estatístico de dados registrados em ETA brasileiras em escala real e piloto. Neste contexto, fica a critério de o engenheiro projetista selecionar as recomendações mais convenientes em função das características da área de estudo (tipo de comunidade, mão-de-obra disponível, qualidade da água, etc.).

### Modelos de Quantitativo de Investimento e de Funcionamento

As Tabelas 5 e 6 apresentam uma parte dos modelos de quantitativo gerados após a avaliação dos sistemas projetados em AutoCAD (FDA + ETR). Depois da introdução dos preços unitários de cada item poderão ser estimados os gastos da tecnologia para vazões de projeto entre 10 e 40 L/s (considerando o tratamento do

resíduo). Os gastos permitirão, posteriormente, fornecer bases aos engenheiros para realizar a avaliação econômica do projeto, empregando, por exemplo, valor presente ou amortização.

**Tabela 5. Alguns modelos de quantitativo de investimento da FDA para vazões de projeto entre 10 L/s e 40 L/s (Sabogal Paz, 2007; Sabogal Paz, 2010)**

Item	U	FDA- ETR <sub>1</sub>	FDA-ETR <sub>2</sub>	FDA- ETR <sub>3</sub>
		Modelos de quantitativo de investimento		
<b>1. Terreno para implantação da ETA + ETR</b>				
Terreno da ETA + ETR	m <sup>2</sup>	$C = 0,04Q^2 + 18Q + 1496$	$C = 0,4633Q^2 + 5,7Q + 1820,7$	$C = 0,0933Q^2 + 4,2Q + 1278,7$
<b>2. Implantação da ETA + ETR</b>				
Limpeza manual do terreno	m <sup>2</sup>	$C = 0,04Q^2 + 18Q + 1496$	$C = 0,4633Q^2 + 5,7Q + 1820,7$	$C = 0,0933Q^2 + 4,2Q + 1278,7$
Nivelamento mecanizado do terreno	m <sup>3</sup>	$C = 0,012Q^2 + 5,4Q + 448,8$	$C = 0,139Q^2 + 1,71Q + 546,2$	$C = 0,028Q^2 + 1,26Q + 383,6$
Fôrma de madeira para fixação do alambrado	m <sup>2</sup>	$C = -0,0013Q^2 + 0,44Q + 62,133$	$C = 0,008Q^2 + 0,08Q + 69,6$	$C = 0,0013Q^2 + 0,12Q + 57,067$
Tela para alambrado (malha 2" x 2") de 2m de altura	m <sup>2</sup>	$C = -0,0067Q^2 + 2,2Q + 310,67$	$C = 0,04Q^2 + 0,4Q + 348$	$C = 0,0067Q^2 + 0,6Q + 285,33$
Concreto de 20 MPa	m <sup>3</sup>	$C = -0,0001Q^2 + 0,044Q + 6,2133$	$C = 0,0008Q^2 + 0,008Q + 6,96$	$C = 0,0001Q^2 + 0,012Q + 5,7067$
Concreto para calçada interna 20 MPa (e = 6 cm)	m <sup>3</sup>	$C = 0,1Q + 19$	$C = 0,0033Q^2 + 20,667$	$C = -0,0017Q^2 + 0,15Q + 15,667$
Pedra britada nº 2 para espalhamento na área livre	m <sup>3</sup>	$C = Q + 74$	$C = 0,0267Q^2 + 0,1Q + 93,333$	$C = 0,0067Q^2 + 0,1Q + 65,333$
Portão ferro galvanizado basculante (1,00 m x 2,00 m)	pç	C = 1	C = 1	C = 1
Locação de obra	m <sup>2</sup>	$C = 0,025Q^2 + 11,75Q + 972$	$C = 0,3033Q^2 + 3,6Q + 1184,7$	$C = 0,0633Q^2 + 2,6Q + 832,67$
Caixas de inspeção considerando mão-de-obra	vb	C = 4000	C = 4000	C = 4000
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	$C = 0,0006Q^2 + 2,407Q + 310,63$	$C = 0,0554Q^2 + 0,628Q + 353,21$	$C = 0,0109Q^2 + 0,578Q + 282,38$
Mão-de-obra de serventes gerais	h	$C = 0,0006Q^2 + 7,009Q + 817,32$	$C = 0,1827Q^2 + 1,001Q + 944,72$	$C = 0,012Q^2 + 2,7875Q + 718,45$
<b>3. Misturador rápido</b>				
Misturador rápido (flange, soldagem e instalação)	vb	$C = 0,0225Q^2 + 6,603Q + 213,62$	$C = 0,0225Q^2 + 6,603Q + 213,62$	$C = 0,0225Q^2 + 6,603Q + 213,62$
<b>4. Filtro rápido ascendente, câmara de carga e passarela.</b>				
Chapa de aço 6,30 mm	kg	$C = -0,6667Q^2 + 60Q - 133,33$	$C = -0,6667Q^2 + 60Q - 133,33$	$C = -0,6667Q^2 + 60Q - 133,33$
Chapa de aço 4,75 mm	kg	$C = -2,6667Q^2 + 250Q - 33,333$	$C = -2,6667Q^2 + 250Q - 33,333$	$C = -2,6667Q^2 + 250Q - 33,333$
Accessórios metálicos (patamares, bocais, etc)	vb	$C = -2,8Q^2 + 224Q - 560$	$C = -2,8Q^2 + 224Q - 560$	$C = -2,8Q^2 + 224Q - 560$
Passarela metálica considerando instalação	vb	$C = 1,6667Q^2 + 9333,3$	$C = 1,6667Q^2 + 9333,3$	$C = 1,6667Q^2 + 9333,3$
Epóxi sumador 194 DF (marca Sumaré tintas)	L	$C = -0,0667Q^2 + 6,5Q - 13,33$	$C = -0,0667Q^2 + 6,5Q - 13,33$	$C = -0,0667Q^2 + 6,5Q - 13,33$
Mão-de-obra para construção do filtro	kg	$C = -4,3333Q^2 + 390Q - 366,67$	$C = -4,3333Q^2 + 390Q - 366,67$	$C = -4,3333Q^2 + 390Q - 366,67$
Meio filtrante e camada suporte	vb	$C = 1,008Q^2 + 607,2Q + 201,6$	$C = 1,008Q^2 + 607,2Q + 201,6$	$C = 1,008Q^2 + 607,2Q + 201,6$
Concreto de 25 MPa para fundação	m <sup>3</sup>	$C = -0,0117Q^2 + 1,25Q - 2,3333$	$C = -0,0117Q^2 + 1,25Q - 2,3333$	$C = -0,0117Q^2 + 1,25Q - 2,3333$
Armadura para a fundação (Ø 12,50 mm)	kg	$C = -0,4667Q^2 + 50Q - 93,333$	$C = -0,4667Q^2 + 50Q - 93,333$	$C = -0,4667Q^2 + 50Q - 93,333$
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	$C = -0,1107Q^2 + 9Q - 32,133$	$C = -0,1107Q^2 + 9Q - 32,133$	$C = -0,1107Q^2 + 9Q - 32,133$
Mão-de-obra de serventes gerais	h	$C = 0,161Q^2 + 3,45Q + 100,2$	$C = 0,161Q^2 + 3,45Q + 100,2$	$C = 0,161Q^2 + 3,45Q + 100,2$
<b>9. Lagoa de Lodo</b>				
Escavação mecanizada de vala - H > 2,0 m / Locação	h	(-)	$C = -0,01Q^2 + 2,4Q + 17$	(-)
Apiloamento com nivelamento do terreno	m <sup>2</sup>	(-)	$C = -0,0583Q^2 + 11,75Q + 288,33$	(-)
Geomembrana de PVC 290 g/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	(-)	$C = -0,0583Q^2 + 11,75Q + 288,33$	(-)
Fôrma de madeira	m <sup>2</sup>	(-)	$C = -0,0017Q^2 + 0,15Q + 8,6667$	(-)
Concreto para rampa e = 20 cm, 20 MPa	m <sup>3</sup>	(-)	$C = -0,0083Q^2 + 0,55Q + 12,333$	(-)
Concreto de 25 MPa - (e = 25 cm)	m <sup>3</sup>	(-)	$C = -0,0017Q^2 + 0,25Q + 17,667$	(-)
Fôrma de madeira	m <sup>2</sup>	(-)	$C = -0,0167Q^2 + 2,5Q + 176,67$	(-)
Armadura (Ø 10 mm - Aço CA 50)	kg	(-)	$C = -0,0667Q^2 + 10Q + 706,67$	(-)
Tábua de 30 cm - Tipo cedrinho	m	(-)	C = 30	(-)
Guarda-corpo - tubo 2" galvanizado	m'	(-)	$C = -0,0167Q^2 + 1,5Q + 46,667$	(-)
Grade (1,20m x 1,20m, e= 6,30 mm)	pç	(-)	C = 2	(-)
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	(-)	$C = -0,086Q^2 + 11,458Q + 511,05$	(-)
Mão-de-obra de serventes gerais	h	(-)	$C = -0,186Q^2 + 19,458Q + 805,05$	(-)

Observação: C= Quantitativo, Q = vazão de projeto da ETA (L/s), (-) não aplica; U: unidade.

**Tabela 5. Alguns modelos de quantitativo de investimento da FDA para vazões de projeto entre 10 L/s e 40 L/s (Sabogal Paz, 2007; Sabogal Paz, 2010)**

Item	Unidade	FDA- ETR <sub>1</sub>	FDA-ETR <sub>2</sub>	FDA- ETR <sub>3</sub>
		Modelos de quantitativo de investimento		
<b>10. Tanque de regularização de vazão</b>				
Chapa de aço 6,30 mm	kg	(-)	(-)	$C = -Q^2 + 75Q + 500$
Chapa de aço 4,75 mm	kg	(-)	(-)	$C = -2Q^2 + 170Q + 1400$
Acessórios metálicos (patamares, bocais, etc)	vb	(-)	(-)	$C = -0,8213Q^2 + 72,8Q + 754,13$
Epóxi sumadur 194 DF (marca Sumaré tintas)	L	(-)	(-)	$C = -0,0917Q^2 + 9,25Q + 91,667$
Mão-de-obra para construção do tanque	kg	(-)	(-)	$C = -1,1333Q^2 + 163Q + 3033,3$
Concreto de 25 MPa para fundação	m <sup>3</sup>	(-)	(-)	$C = 0,0017Q^2 + 0,25Q + 7,3333$
Armadura para a fundação (φ 12,50 mm)	kg	(-)	(-)	$C = 0,0667Q^2 + 10Q + 293,33$
Escavação mecanizada de terra para H > 2 m / Locação	h	(-)	(-)	$C = 0,0067Q^2 + 0,6Q + 11,333$
Guarda-corpo - tubo 2" galvanizado	m'	(-)	(-)	$C = 0,0017Q^2 + 0,35Q + 28,333$
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	(-)	(-)	$C = 0,0103Q^2 + 1,65Q + 66,467$
Mão-de-obra de serventes gerais	h	(-)	(-)	$C = 0,027Q^2 + 4,15Q + 139,8$
<b>11. Leitões de Drenagem</b>				
Fôrma de madeira	m <sup>2</sup>	$C = 0,1Q + 5$	(-)	(-)
Concreto para fundação (tipo radiar; e = 20 cm) 25 MPa	m <sup>3</sup>	$C = 0,3Q + 1$	(-)	(-)
Armadura para a fundação (φ 10 mm - Aço CA 50)	kg	$C = 12Q + 40$	(-)	(-)
Concreto de 20 MPa ( e = 0,15 m)	m <sup>3</sup>	$C = -0,0033Q^2 + 0,3Q + 1,3333$	(-)	(-)
Fôrma de madeira	m <sup>2</sup>	$C = -0,0333Q^2 + 3Q + 13,333$	(-)	(-)
Armadura (φ 10 mm - Aço CA 50)	kg	$C = -0,1333Q^2 + 12Q + 53,333$	(-)	(-)
Estrutura metálica - perfil de 3"x2" - 9 kg / m'	kg	$C = 0,0033Q^2 + 11,9Q + 580,67$	(-)	(-)
Cobertura plástica (e=150μ)	m <sup>2</sup>	$C = -0,0333Q^2 + 4Q + 53,333$	(-)	(-)
Manta geotêxtil - Mactex ® da Macaferri, de 600g/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	$C = 0,05Q^2 - 0,5Q + 70$	(-)	(-)
Placa metálica de sustentação da manta geotêxtil (3 kg/m <sup>2</sup> )	kg	$C = 0,1Q^2 - Q + 80$	(-)	(-)
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	$C = -0,0307Q^2 + 12,95Q + 97,967$	(-)	(-)
Mão-de-obra de serventes gerais	h	$C = -0,104Q^2 + 14,35Q + 75,3$	(-)	(-)

Observação: C= Quantitativo, Q = vazão de projeto da ETA (L/s), (-) não aplica.

**Tabela 6. Alguns modelos de quantitativo de funcionamento da FDA para vazões de projeto entre 10 L/s e 40 L/s (Sabogal Paz, 2007; Sabogal Paz, 2010)**

Item	Unidade	FDA- ETR <sub>1</sub>	FDA-ETR <sub>2</sub>	FDA- ETR <sub>3</sub>
		Modelos de quantitativo de funcionamento		
<b>1. Energia Elétrica</b>				
Energia Elétrica da ETA (mensal)	kWh	$C = 0,4273Q^2 - 12,821 Q + 825,83$	$C = 0,4273Q^2 - 12,821 Q + 825,83$	$C = 0,4273Q^2 - 12,821 Q + 825,83$
Energia Elétrica da ETR (mensal)	kWh	$C = 276,88$	(-)	$C = 888,0$
<b>2. Produto químico</b>				
Hipoclorito de sódio (mensal)	kg	$C = 0,1Q^2 + 33Q + 80$	$C = 0,1Q^2 + 33Q + 80$	$C = 0,1Q^2 + 33Q + 80$
Sulfato de alumínio (mensal)	L	$C = 0,1Q^2 + 45Q + 80$	$C = 0,1Q^2 + 45Q + 80$	$C = 0,1Q^2 + 45Q + 80$
Cloreto férrico (mensal)	L	$C = 36Q + 60$	$C = 36Q + 60$	$C = 36Q + 60$
Ácido fluossilícico (mensal)	kg	$C = -0,1Q^2 + 21Q - 20$	$C = -0,1Q^2 + 21Q - 20$	$C = -0,1Q^2 + 21Q - 20$
<b>3. Controle da qualidade da água</b>				
Controle da qualidade da água bruta (anual)	vb	Somatório do valor de cada análise indicada pela Portaria 2914 (2011) e Resolução CONAMA 357 (2005) conforme frequência sugerida pela legislação.		
Controle da qualidade da água tratada (anual)	vb			
<b>4. Tratamento e disposição dos resíduos da ETA</b>				
Água utilizada na limpeza das unidades - (mensal) - ETR	m <sup>3</sup>	$C = -0,4989Q^2 + 168,25Q - 132,67$	$C = -0,4989Q^2 + 168,25Q - 132,67$	$C = -0,4989Q^2 + 168,25Q - 132,67$
Retirada e disposição dos resíduos da ETA - (anual) - ETR	m <sup>3</sup>	$C = 0,0022Q^2 + 3,335Q + 0,4333$	$C = 0,0022Q^2 + 3,335Q + 0,4333$	(-)
Retirada e disposição dos resíduos da ETA - (mensal) - ETR	m <sup>3</sup>	(-)	(-)	$C = -0,4989Q^2 + 168,25Q - 132,67$

Observação: C= Quantitativo, Q = vazão de projeto da ETA (L/s), (-) não aplica.

Nas Tabelas 5 a 6, os modelos de quantitativo que indicam verba (vb) foram calculados em maio de 2007 e devem ser atualizados para o ano de interesse aplicando a seguinte equação: reajuste = índice do ano em análise/índice de maio de 2007. Nessas Tabelas verifica-se, também, a existência de valores constantes, essa situação acontece quando não há mudança do quantitativo em função da vazão de projeto da ETA.

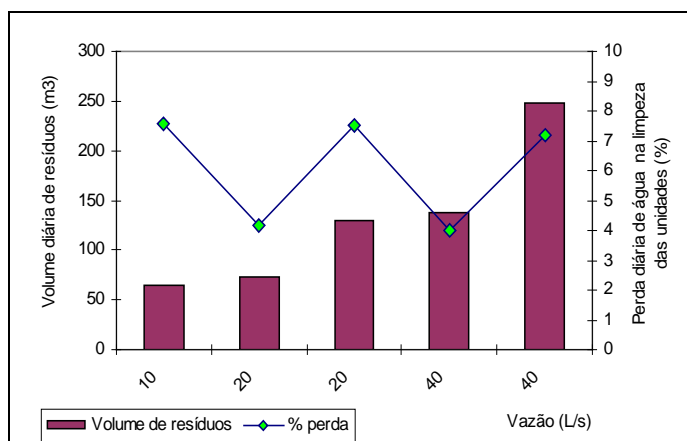
### Produção de Resíduos

Conforme as atividades padrão de operação das unidades indicadas na Tabela 3, os volumes diários de resíduos gerados nas ETA foram calculados e apresentados na Tabela 7. Na Figura 2 verifica-se que a FDA apresentam pouca variação do volume diário de resíduos. Essa situação acontece porque a maior parte dos lodos é produzida em uma única unidade (filtro).

**Tabela 7. Volume diário de resíduos gerados nas ETA**

ETA	Vazão (L/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Volume diário de resíduos (m <sup>3</sup> )	Perda diária de água na limpeza (%)
FDA	10	864	65,2	7,55
	20	1728	72,2	4,18
			130,0	7,52
	40	3456	138,6	4,01
			248,1	7,18
			Media: 6,1	

Observação: os volumes dos resíduos mudam em função da operação de limpeza padrão adotada na Tabela 3



**Figura 2. Volume diário de resíduos gerado na ETA em função da vazão**

Segundo os dados da Tabela 7 os sistemas gastam, em média, 6,1% da água tratada na limpeza das unidades. Utilizando a Equação 1 foi calculada a massa de sólidos removida diariamente nas ETA (Tabela 8), considerando o uso de 1,45 como coeficiente "a". O valor foi adotado porque, segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), para águas com baixa cor verdadeira (de conformidade com a Tabela 2), o coeficiente pode variar entre 0,7 e 2,2; nesse caso, adotou-se o valor médio. Entretanto, reconhece-se que esse parâmetro oscila significativamente; assim, recomenda-se ao engenheiro projetista estabelecer a correlação dos SST com a turbidez em cada sistema a ser analisado.

**Tabela 8. Massa de sólidos removida diariamente nas ETA**

ETA	Frequência de ocorrência da turbidez								
	100%	95%	90%	100%	95%	90%	100%	95%	90%
	Massa de SST removida diariamente na ETA (kg/d)								
	10 L/s			20 L/s			40 L/s		
FDA	31	19	13	63	38	25	125	75	50

Na Tabela 9 apresenta-se o volume anual de resíduos, calculado com concentração de SST de 3% m/m no lodo adensado e 20% m/m no desaguado, segundo recomendação de Richter (2001).

**Tabela 7. Volume anual de sólidos do lodo desaguado**

ETA	Frequência de Ocorrência da Turbidez								
	100%	95%	90%	100%	95%	90%	100%	95%	90%
	Volume anual da torta (concentração de sólidos secos na torta de 20% m/m) - m <sup>3</sup>								
	10 L/s			20 L/s			40 L/s		
FDA	≤51	≤29	≤22	≤102	≤62	≤40	≤204	≤124	≤84

## CONCLUSÕES

Na seleção da tecnologia de FDA devem ser avaliadas as características da água 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 da Tabela 4, podem conduzir ao engenheiro projetista à seleção preliminar da possível alternativa de tratamento – verificando a possibilidade de implantação da FDA. Entretanto, somente a partir de estudos de tratabilidade da água e de testes em instalação piloto será possível definir a ETA mais conveniente.

As ETA de FDA com vazões de projeto entre 10 e 40 L/s podem ser avaliadas, economicamente, com modelos de quantitativo de investimento e funcionamento. Eles permitem estabelecer a quantidade de cada item em função de equações matemáticas (geralmente do tipo polinomial de segundo grau).

Os gastos das ETA e ETR dependem dos critérios de projeto e de construção, preços unitários, equipamentos, impostos, leis sociais e taxas. Assim, dificilmente podem ser comparados os resultados obtidos neste artigo com sistemas já existentes.

A seleção da tecnologia foi desenvolvida considerando as particularidades (projeto, construção, operação, manutenção e administração) vigentes no Brasil. Caso o engenheiro projetista pretenda aplicar os aspectos abordados neste artigo em outro país, cuidados devem ser tomados – os resultados devem ser avaliados, verificando sua conveniência no novo contexto.

A avaliação técnica, econômica e ambiental indicada na pesquisa ajuda ao engenheiro projetista na seleção da tecnologia de FDA em função das características locais, quantificando o possível impacto do volume de resíduos gerados e sua possibilidade de tratamento e de disposição no ambiente.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelas bolsas de doutorado e pós-doutorado concedidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CASTILLO, S. J. M. (1997). *Influência dos Grãos de Areia no Desempenho da Filtração Direta Ascendente*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
2. CRUZ V, C. H. (1993). *Filtração Direta Ascendente com Alta Taxa*. São Carlos. 220p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
3. DI BERNARDO L; DANTAS, A. D (2005). *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. ed. RIMA. 2ª Edição.
4. DI BERNARDO, L; SABOGAL PAZ, L. P. (2008). *Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água*. Editora LDiBe. v 1 e v.2. p.1560.
5. ISAAC, L. R. (1997). *Influência da Disposição Inicial dos Grãos da Areia na Eficiência da Filtração Direta Ascendente*. São Carlos. 174p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
6. PINTO, L. D.M.C. (1994). *Influência das Descargas de Fundo Intermediárias na Filtração Direta Ascendente de Alta Taxa*. São Carlos. 194p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
7. PORTARIA 2914 de 12/11/2011. DOU, Seção I, n. 239, 14/12/2011, 39-46. Ministério da Saúde. 2011.
8. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO –PROSAB (2003). *Tratamento de Água Para Abastecimento por Filtração Direta*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa. 480p.
9. RESOLUÇÃO CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Brasil.
10. RICHTER C. A (2001). *Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água*. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 102 p.
11. SABOGAL PAZ. L. P (2007) *Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte*. 509 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. Brasil.

12. SABOGAL PAZ. L. P (2010). *Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno e Médio Porte*. Pesquisa de Pós-Doutorado. Informe Científico Final. FAPESP. São Paulo/SP. Fevereiro.