

## I-037 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FILTROS RÁPIDOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO COMPLETO

**Luiz Di Bernardo<sup>(1)</sup>**

Professor Titular aposentado do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Professor da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP). Diretor da Hidrosan.

**Angela Di Bernardo Dantas**

Engenheira Civil com Mestrado, Doutorado e Pós-doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP. Professora da Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP. Diretora da Hidrosan.

**Paulo Eduardo Nogueira Voltan**

Engenheiro Civil com Mestrado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP. Doutorando em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP. Professor do Centro Universitário UniSEB - Ribeirão Preto. Gerente de Projetos da Hidrosan.

**Adriano Gasparini Vidal**

Engenheiro Ambiental e Mestrando em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP. Engenheiro da Hidrosan.

**Juliana Garcia**

Engenheira Ambiental e Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. São Carlos, 2205 salas 106/107 São Carlos/SP; e-mail: luizdiber@hotmail.com

### RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de contribuir para a compreensão das atividades desenvolvidas visando à avaliação do desempenho de filtros rápidos de uma ETA (estação de tratamento de água) de ciclo completo que terá sua capacidade aumentada em aproximadamente 50 %. O diagnóstico foi fundamental para verificar o funcionamento dos filtros nas condições atuais e subsidiar a tomada de decisões relativas ao aumento de capacidade e otimização da ETA.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estação de Tratamento de Água, Ciclo Completo, Filtros, Meio Filtrante.

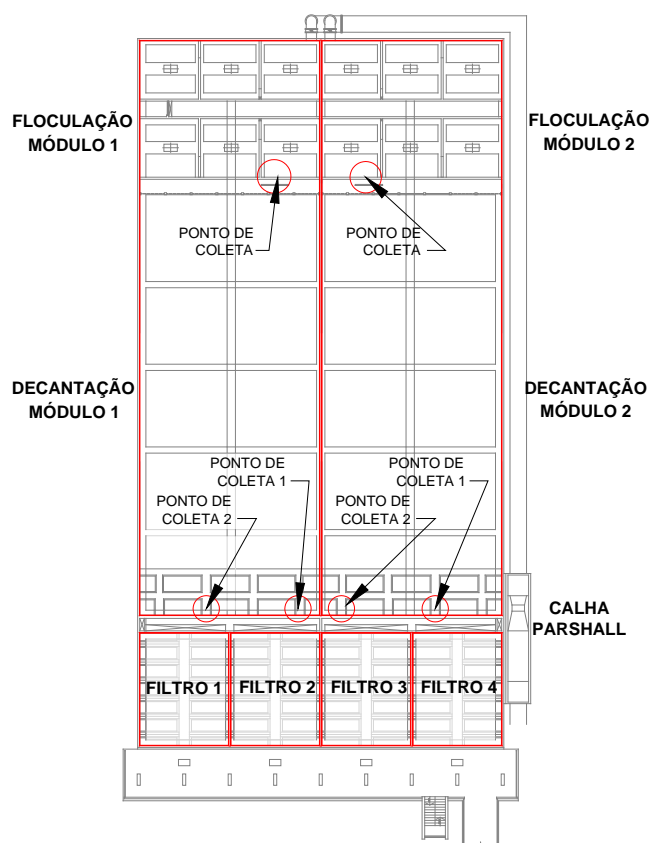
### INTRODUÇÃO

A otimização do desempenho e a obtenção de parâmetros de projeto de filtros rápidos de estações de tratamento de água (ETA) de ciclo completo requerem a realização de um levantamento pormenorizado do funcionamento das unidades filtrantes, englobando vazões afluentes à ETA, características e dosagens dos produtos químicos utilizados, qualidade da água afluente e efluente do ano anterior ao do trabalho a ser feito, projetos existentes, verificação das dimensões, características dos materiais filtrantes (espessura das camadas filtrantes, granulometria, etc) e observação da presença de bolas de lodo, método de controle, taxas de filtração, etc. O trabalho é geralmente feito com os filtros funcionando, o que implica na necessidade do uso de técnicas apropriadas para sua execução conforme indicado por Di Bernardo et al. (2011).

Com o objetivo de contribuir para a compreensão das atividades desenvolvidas visando à avaliação do desempenho de filtros rápidos, foi realizado o presente trabalho em uma ETA de ciclo completo que terá sua capacidade aumentada em aproximadamente 50 %.

### MATERIAL E MÉTODOS

A ETA é constituída de unidade de mistura rápida hidráulica, 2 conjuntos de câmaras de floculação mecanizadas (6 câmaras em série), 2 decantadores de alta taxa e 4 filtros duplos com meio filtrante de areia e funcionamento com taxa declinante variável (com caixas individuais de saída providas de vertedor retangular). A Figura 1 mostra o esquema geral da ETA.



**Figura 1: Esquema geral da ETA estudada (Hidrosan, 2011)**

As atividades desenvolvidas para a avaliação do desempenho dos filtros foram:

- i) inspeção geral;
- ii) posição das cristas das calhas de coleta de água de lavagem;
- iii) posição do topo do meio filtrante em relação às calhas de coleta de água de lavagem;
- iv) medição da espessura do meio filtrante;
- v) extração de amostra do meio filtrante com uso de trado para execução de ensaios granulométricos dos materiais filtrantes e verificação da presença de bolas de lodo;
- vi) observação da estratificação do meio filtrante;
- vii) ensaios para determinação da perda de carga no meio filtrante limpo;
- viii) acompanhamento durante 44 horas da carreira de filtração do Filtro 1 com levantamento da perda de carga no meio filtrante;
- ix) observação da variação do nível de água no filtro durante a lavagem dos demais da bateria;
- x) medição da vazão em cada câmara dos filtros ao longo da carreira de filtração;
- xi) leitura dos valores de turbidez da água filtrada durante 1,5 horas após a lavagem do filtro e reinício de operação;
- xii) acompanhamento dos procedimentos de lavagem de filtros utilizados pelos operadores na ETA.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na inspeção geral observou-se que a caixa de saída do Filtro F1 não possuía as placas de madeira para que todos os filtros tivessem a mesma carga hidráulica disponível, fazendo com que o mesmo funcionasse com taxa de filtração muito elevada e produzisse água de pior qualidade que os demais da bateria (ver Figura 2).



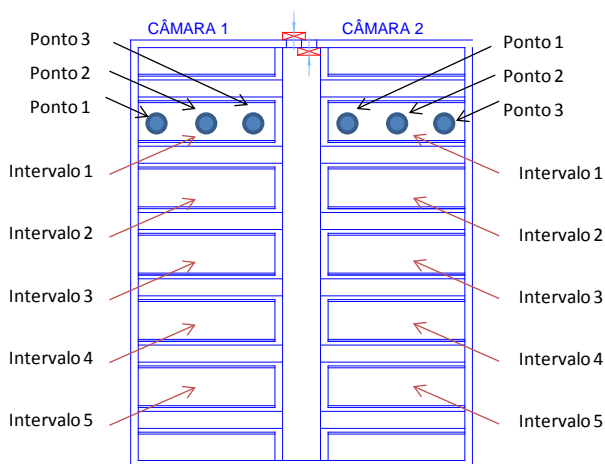
a) Situação dos vertedores da caixa de saída



b) Placas de madeira instaladas

**Figura 2: Caixa de saída do filtro F1**

A medição das cristas das calhas de coleta de água de lavagem em relação a um referencial único para os quatro filtros revelou que se encontravam praticamente alinhadas. Dessa forma, procedeu-se à medição do topo do meio filtrante a partir das calhas conforme esquema da Figura 3. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos. Com auxílio de um trado, foram obtidas as espessuras da camada filtrante (areia) em cada filtro, apresentadas na Tabela 2. É evidente nessas tabelas que há diferenças consideráveis entre as câmaras filtrantes de um mesmo filtro e entre os quatro filtros da bateria.



**Figura 3: Locais de medição do topo do meio filtrante de cada filtro**

**Tabela 1 – Distâncias do topo do meio filtrante em relação às cristas das calhas de coleta de água de lavagem (cm)**

Intervalo	Filtro 1		Filtro 2		Filtro 3		Filtro 4	
	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 1	Câmara 2
1	102	88	80 a 81	76	78 a 79	78 a 80	83 a 84	81
2	102	88 a 90	80	76	78	78 a 79	83 a 84	81 a 82
3	102	88 a 90	80 a 81	76	80	79	84 a 85	81 a 82
4	102	88	80	75 a 76	80 a 81	78 a 79	84 a 85	82 a 83
5	102	86 a 88	79 a 81	75 a 76	80	78 a 79	84 a 85	81 a 82

**Tabela 2 – Espessura das camadas filtrantes**

Espessura (m)	Filtro 1		Filtro 2		Filtro 3		Filtro 4	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	0,55	0,65	0,77	0,74	0,77	0,78	0,80	0,90

A Figura 4 mostra a remoção de amostras do meio filtrante por meio de trado e a medição da espessura da camada, além de aspectos do material filtrante coletado com o trado, observando-se a presença de pedaços de argila expandida, mas ausência de bolas de lodo.

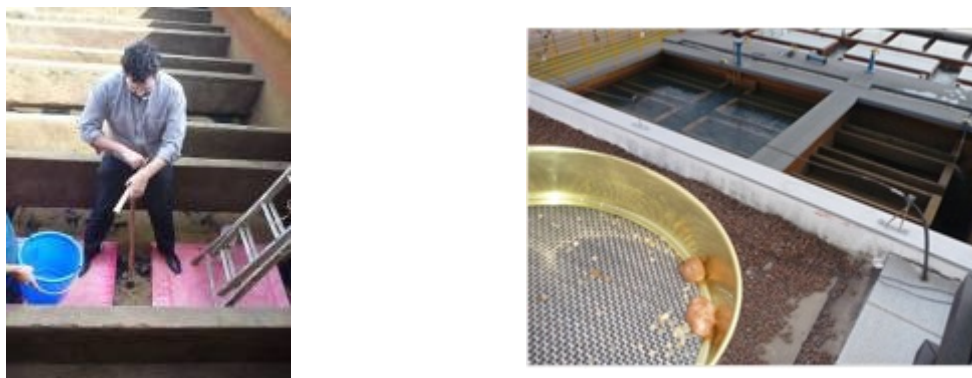


Figura 4 – Medição da espessura da camada filtrante e verificação da presença de bolas de lodo

A Figura 5 mostra as curvas granulométricas do material filtrante das câmaras de cada filtro. Observa-se nessa figura que há diferença considerável entre o  $D_{10}$  e  $D_{60}$  (e consequentemente do coeficiente de desuniformidade como visto na Tabela 3).

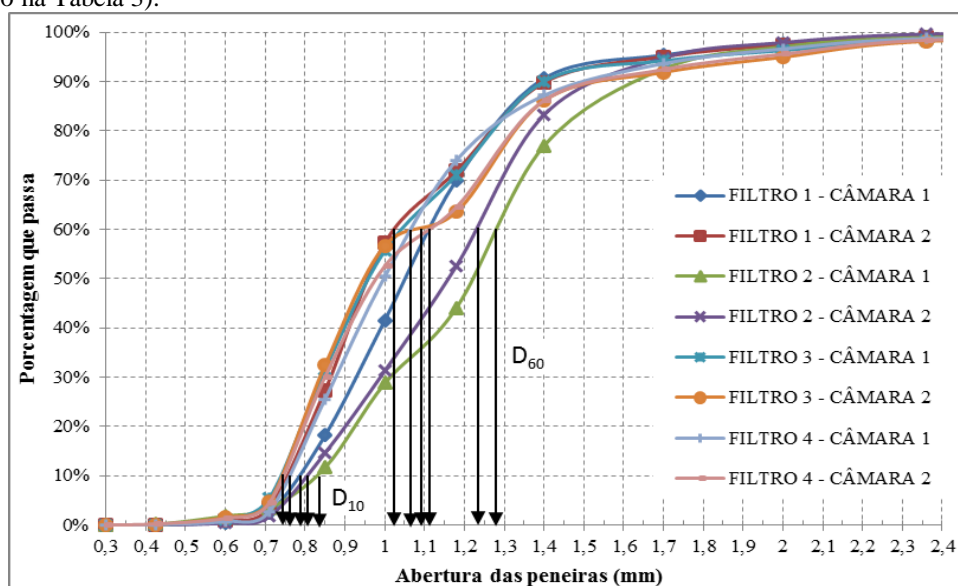


Figura 5: Curvas de distribuição granulométrica dos materiais filtrantes dos filtros

Tabela 3: Coeficiente de desuniformidade dos materiais filtrantes

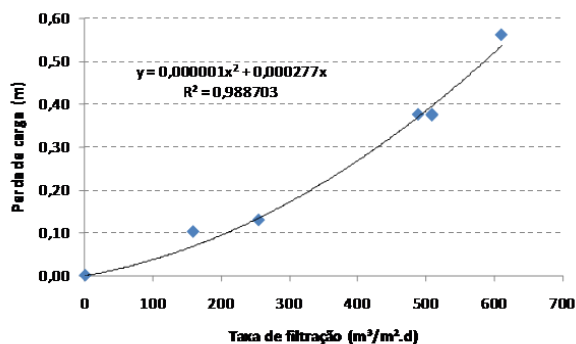
Coeficiente de desuniformidade	Filtro 1		Filtro 2		Filtro 3		Filtro 4	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	1,40	1,38	1,52	1,54	1,42	1,45	1,41	1,49

Os ensaios de perda de carga em meio filtrante limpo foram realizados para levantar a perda de carga total (meio filtrante limpo, camada suporte, sistema de drenagem, tubulações e acessórios), em função da taxa de filtração (esta obtida pelo rebaixamento do nível de água no interior de cada câmara e sua área em planta). Os filtros analisados estudados na ETA foram os filtros F1 e F3. Para realizar este estudo foi necessário instalar um piezômetro na tubulação de saída de água filtrada (antes da válvula borboleta) e uma régua no interior do filtro. Ao lado do piezômetro foi colocada uma escala graduada para medição dos níveis ao longo dos ensaios. A realização dos ensaios foi feita após a lavagem dos respectivos filtros. Com o meio filtrante limpo, foi fechada a

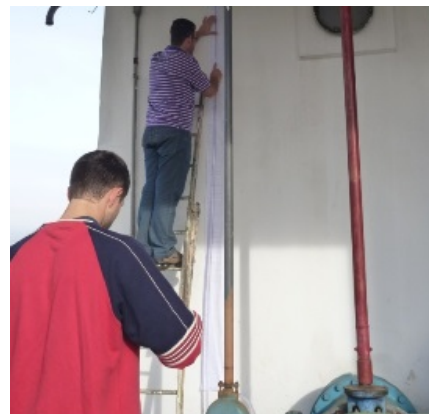
válvula de saída de água de lavagem e ligada a bomba de água para lavagem e encheu-se o filtro até que o nível do piezômetro se aproximasse do máximo. Em seguida, foi aberta a válvula de água filtrada (em ângulos de abertura diferentes) a fim de variar a taxa de filtração. A Figura 6 mostra fotos do levantamento efetuado e as curvas de perda de carga em função da taxa de filtração para as duas câmaras do F1.



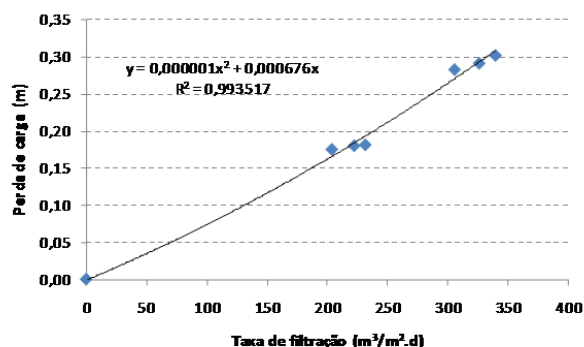
a) Leituras piezométricas de montante



Câmara 1



b) Leituras piezométricas de jusante



Câmara 2

**Figura 6: Curvas de perda de carga total com o meio filtrante limpo – Filtro F1**

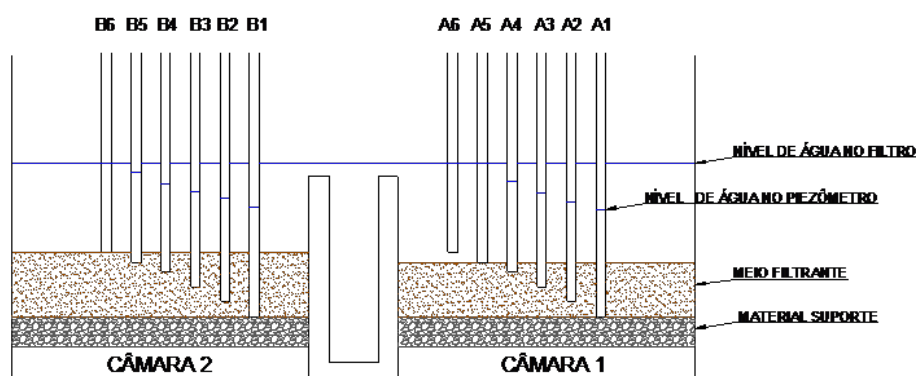
Foram efetuadas medidas das lâminas líquidas nos vertedores retangulares das câmaras de saída e constatou-se que, devido às diferenças nos meios filtrantes e variações de vazão afluyente à ETA (fazendo com que os operadores fechassem ou abrissem manualmente os registros das tubulações de saída de água filtrada), o sistema de filtração com taxa declinante variável fosse prejudicado, com comportamento diferente daquele comumente observado em ETAs que operam os filtros segundo tal método.

Foi realizado o monitoramento da perda de carga ao longo do meio filtrante nas câmaras 1 e 2 durante a carreira de filtração do Filtro F1 por meio da instalação de piezômetros especiais nas câmaras 1 e 2. Estes piezômetros foram instalados de modo que as extremidades dos tubos ficassem em diferentes profundidades do meio filtrante como se pode observar na Figura 7. A Tabela 4 mostra as profundidades dos piezômetros no interior do meio filtrante.

**Tabela 4: Profundidades do piezômetros em relação ao topo do meio filtrante do Filtro 1**

Piezômetros na Câmara 1 (m)					Piezômetros na Câmara 2 (m)					
A1	A2	A3	A4	A5/A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
0,55	0,40	0,25	0,10	0,00	0,65	0,50	0,35	0,20	0,10	0,00





**Figura 7: Instalação de piezômetros nas câmaras do filtro F1**

Os resultados do monitoramento da perda de carga ao longo do meio filtrante nas câmaras 1 e 2 durante a carreira de filtração do Filtro F1 são apresentados nas Figuras 8 e 9, respectivamente, as quais mostram comportamento diferente em cada uma delas configurando uma situação indesejável em qualquer tipo de filtro rápido.

A Figura 10 e a Tabela 5 mostram, respectivamente, a lavagem do filtro F1 e os tempos utilizados em tal operação. Foi observado o aparecimento de bolhas de ar ao se remexer o meio filtrante do filtro F1, resultado atribuído à não vedação completa das válvulas de acesso de água para lavagem fazendo com que ocorresse a formação de vácuo na tubulação de entre a bomba e a entrada do filtro.

**Tabela 5: Tempos de lavagem dos filtros da ETA**

Filtro	F3	F4	F2	F3	F1	F4
Duração (min)	18	20	16	17	23	17

A Tabela 6 apresenta as lâminas líquidas nos dois vertedores (um de cada câmara filtrante) das caixas individuais de saída dos filtros. Não existe repetitividade das lâminas líquidas nos vertedores de diferentes filtros e tampouco nos vertedores das duas câmaras de um mesmo filtro, tornando inadequada a operação com taxa declinante variável, a qual é caracterizada pelo processo repetitivo, ou seja, um filtro substitui outro da bateria assim que for lavado e recolocado em operação, conforme Di Bernardo e Dantas (2005). Certamente a causa dessas diferenças são decorrentes das diferenças dos meios filtrantes, da variação de vazão afluente à ETA, das interferências dos operadores com o fechamento ou abertura das válvulas localizadas nas tubulações de água filtrada de cada câmara filtrante, da eficiência da lavagem, etc.

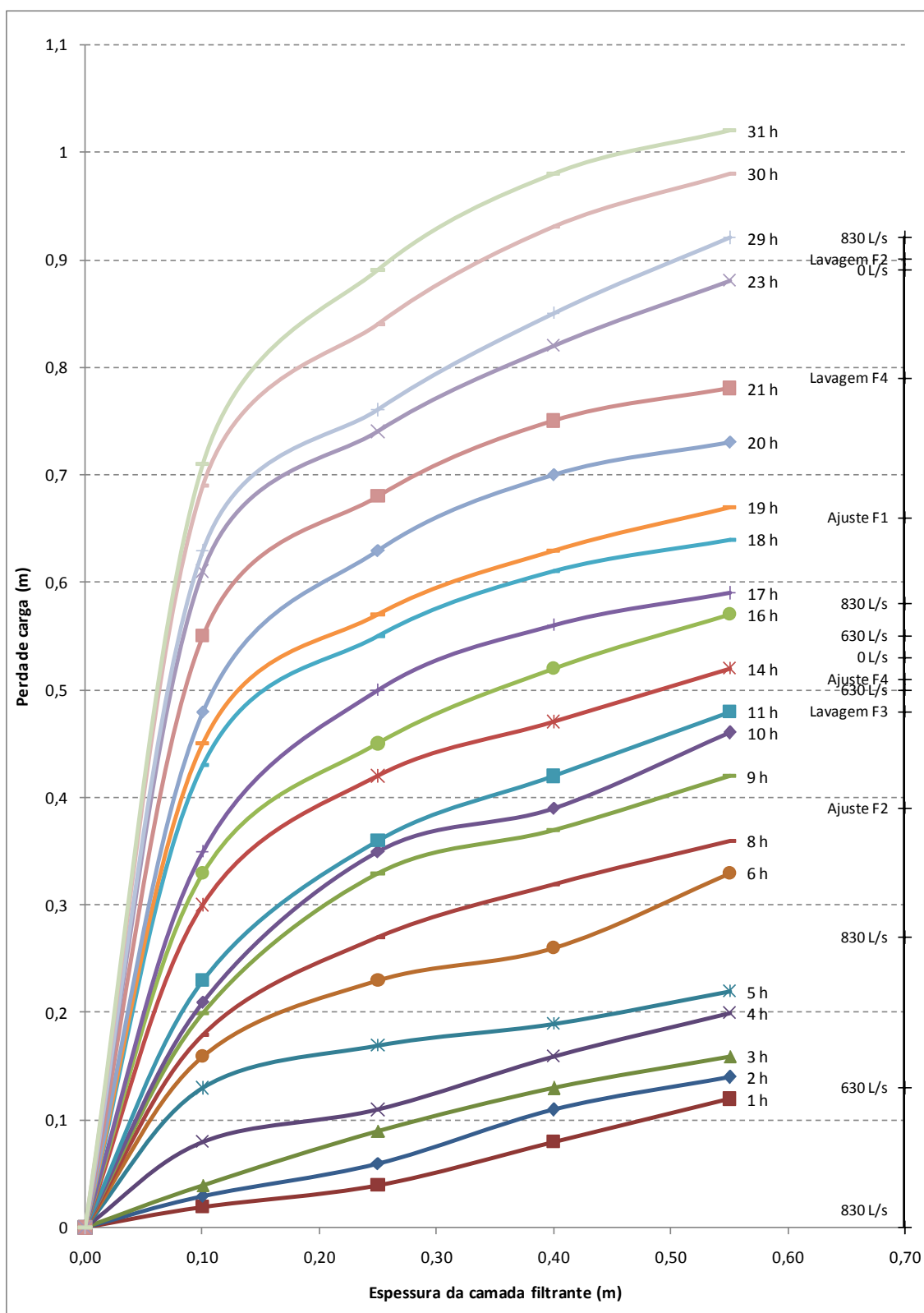


Figura 8: Variação da perda de carga no meio filtrante da câmara 1 do filtro F1 em função do tempo

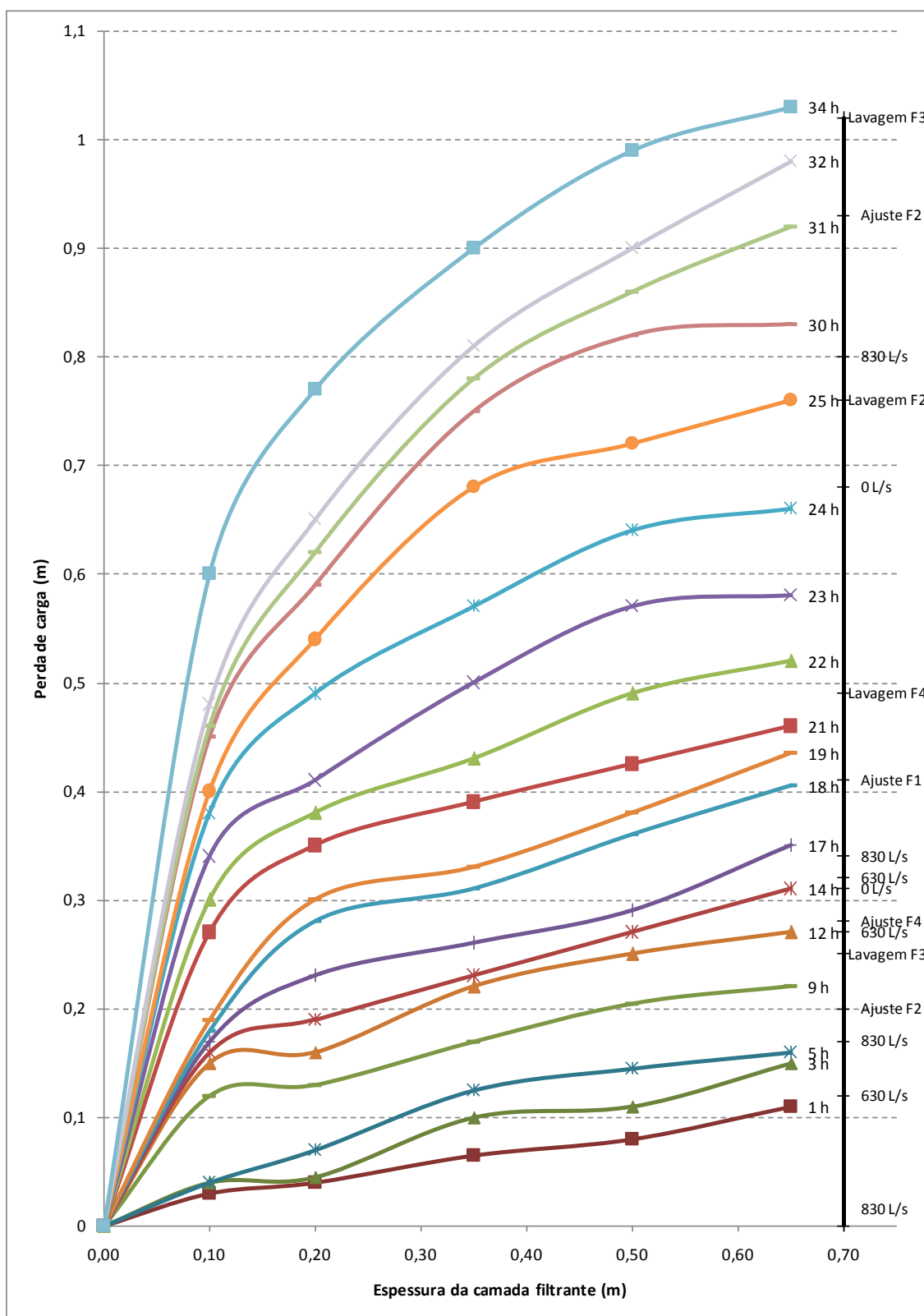
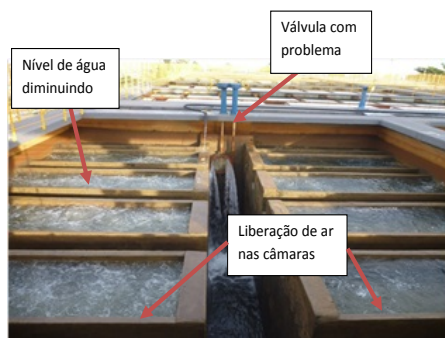


Figura 9: Variação da perda de carga no meio filtrante da câmara 2 do filtro F1 em função do tempo



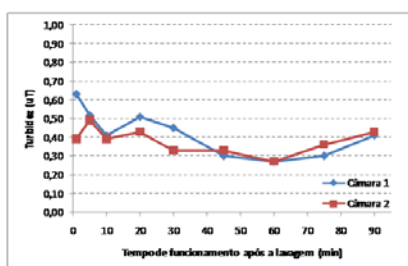


**Figura 10: Início da lavagem das duas câmaras do filtro F1 (expulsão de bolhas de ar retidas durante a carreira de filtração)**

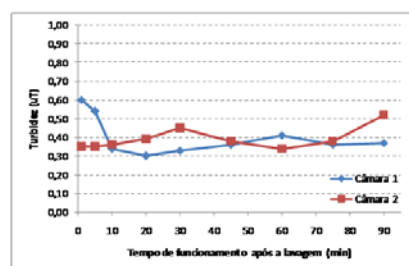
**Tabela 6: Altura da lâmina líquida nos vertedores das caixas de saída de água filtrada**

		Altura do nível de água acima da crista do vertedor (m)					
		Filtro Lavado					
		F3	F4	F2	F3	F1	F4
F1	C1	0,23	0,21	0,14	0,13		0,18
	C2	0,13	0,12	0,10	0,08		0,13
F2	C1	0,22	0,17		0,22	0,17	0,17
	C2	0,19	0,15		0,20	0,15	0,14
F3	C1		0,22	0,19		0,21	0,21
	C2		0,18	0,155		0,18	0,17
F4	C1	0,15		0,19	0,17	0,13	
	C2	0,14		0,17	0,16	0,12	

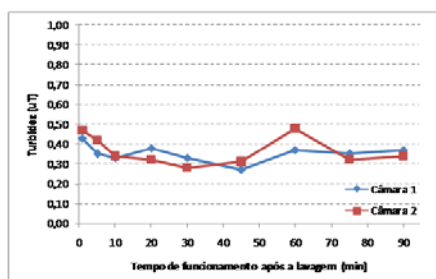
A Figura 11 mostra a variação da turbidez da água filtrada após a lavagem de cada filtro da ETA. A Figura 12 mostra a variação da concentração de SST na água de lavagem de cada câmara do filtro F3, observando-se que os picos de SST são muito diferentes. Também foi medida a expansão do meio filtrante de cada câmara dos quatro filtros, tendo-se observado valores diferentes em cada câmara.



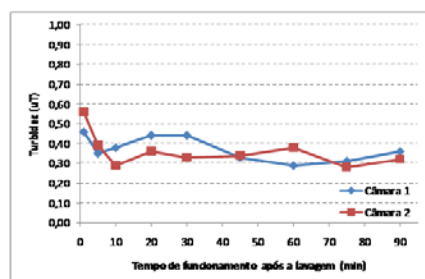
Filtro F1



Filtro F2



Filtro F3



Filtro F4

**Figura 11: Variação da turbidez da água filtrada após a lavagens dos filtros da ETA**

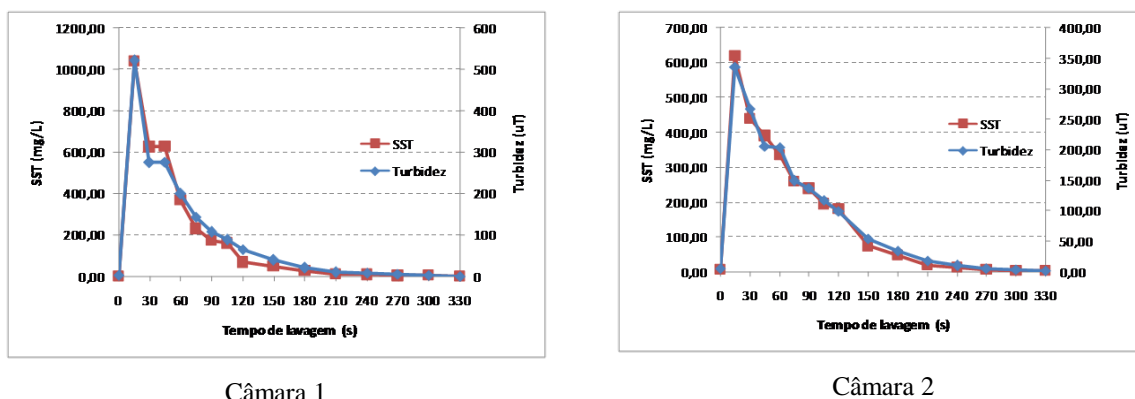


Figura 12: Variação da concentração de SST na água de lavagem do filtro F3

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho realizado foi fundamental para a identificação e o diagnóstico dos problemas operacionais da ETA, concluindo-se, principalmente, que:

- i) as cristas dos vertedores das caixas de saída dos filtros devem estar igualmente posicionadas, pois caso contrário, como observado na estação estudada, a operação com taxa declinante variável resulta comprometida, podendo ocorrer a piora da qualidade da água filtrada, especialmente no filtro com maior carga hidráulica disponível;
- ii) a inexistência de válvula automatizada na tubulação de saída de água filtrada ocasiona problemas operacionais quando há diminuição da vazão afluente à estação, como o abaixamento do nível de água nas câmaras filtrantes fazendo com que os filtros deixem de funcionar com taxa declinante variável;
- iii) a abertura e/ou fechamento das válvulas das tubulações de saída durante a carreira de filtração não pode ocorrer em um sistema de filtração com taxa declinante variável, ou seja, as taxas de filtração neste sistema de controle são decorrentes das condições hidráulicas estabelecidas em projeto;
- iv) com as curvas de perda de carga obtidas e a equiparação dos meios filtrantes de todas as unidades filtrantes, os filtros foram redimensionados para não ocorrerem interferências dos operadores durante o funcionamento dos filtros;
- v) as espessuras das camadas nas câmaras filtrantes dos quatro filtros eram diferentes e os resultados dos ensaios granulométricos revelaram a disparidade entre as características do meio filtrante entre os filtros, requerendo que fossem igualadas;
- vi) houve necessidade de adequação dos meios filtrantes, pois suas características resultaram diferentes nos filtros e nas câmaras de um mesmo filtro;
- vii) as características da lavagem dos filtros e principalmente a liberação de ar nas câmaras de um filtro durante a lavagem de outro eram significativamente prejudiciais à qualidade da água produzida na estação;
- viii) embora a estação apresentasse problemas operacionais, ressalta-se que a água produzida atendia ao padrão de potabilidade em vigência.

O projeto de reforma e ampliação da ETA irá facilitar a operação dos filtros, contribuirá para melhorar a qualidade da água produzida, prolongará as carreiras de filtração e reduzirá o índice de perda de água na ETA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B. (2005). Métodos e técnicas de tratamento de água. 2 V., Ed. Rima, São Carlos, Brasil.
2. DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B., VOLTAN, P. E. N. (2011). Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água. Ed. LDiBe, São Carlos, Brasil.
3. HIDROSAN ENGENHARIA SS LTDA(2011). Avaliações do funcionamento dos filtros e das condições hidrodinâmicas do escoamento nas unidades em uma ETA de ciclo completo São Carlos, Brasil.