

I-162 - JAR TEST E TEMPO ÓTIMO DE LAVAGEM DE FILTROS COMO SUBSÍDIOS PARA ECONOMIA DE RECURSOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Marcos Paulo Lallo Sartori⁽¹⁾

Analista Especializado em Regulação e Fiscalização da Agência Reguladora dos Serviços Públicos de Saneamento Básico do Município de Guarulhos (AGRU) e Estudante de Doutorado na Área de Recursos Hídricos da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Mariza Fernanda da Silva⁽²⁾

Técnica em Sistemas de Saneamento da Divisão de Gestão e Desenvolvimento Operacional de Recursos Hídricos Metropolitanos da SABESP e Graduada em Geociências e Educação Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Otávio Forghieri, 72, 5º andar, salas 51/54 - Jd. Gumerindo, Guarulhos – SP – CEP: 07090-070 – Brasil – Tel: + 55 (11) 2409-5455 - e-mail: marcos.sartori@agru.sp.gov.br

RESUMO

O trabalho propõe subsídios para possível revisão de procedimentos operacionais da ETA Mairiporã, diante do cenário de diminuição da disponibilidade hídrica e redução de receitas financeiras, observado no ano de 2015. Para tanto, foram realizados os ensaios *Jar Test* e Tempo Ótimo de Lavagem dos Filtros. O primeiro com objetivo de sugerir o coagulante mais adequado e econômico para a ETA, entre o Sulfato de Alumínio e Policloreto de Alumínio (PAC). O segundo com objetivo de verificar a validade dos tempos utilizados para a lavagem dos filtros. Como resultados operacionais destacam-se a substituição do coagulante Sulfato Férrico por PAC e o indicativo de possível redução dos tempos utilizados para a lavagem dos filtros.

PALAVRAS-CHAVES: *Jar Test*, coagulante, lavagem de filtros.

INTRODUÇÃO

A ETA Mairiporã, situada na Rua Fernão Lopes, 206, na cidade de Mairiporã, São Paulo, produz em média 400 m³ de água potável por hora. Atualmente é constituída por um sistema de quatro ETA's, sendo uma CONVENCIONAL e três compactas. As três ETA's compactas são denominadas segundo os nomes dos fabricantes: SOLANIL, CFA e FG.

A ETA Mairiporã foi inaugurada em 1976, sendo constituída por apenas quatro filtros russos, não havendo decantadores e nem floculadores, que juntos tratavam apenas 14 m³/h.

Em 1979 a estação foi concedida à Sabesp, que desde então gerencia e opera as instalações.

Em 1988 a ETA passou a tratar aproximadamente 100 m³/h, após reforma dos filtros e a construção de um floculador e um decantador de alvenaria (ETA CONVENCIONAL).

Ainda em 1988 foi adquirida uma ETA compacta (SOLANIL), com capacidade para tratar 100 m³/h.

Em 1997 foi adquirida outra ETA compacta (CFA), também com capacidade para tratar 100 m³/h, contudo com o sistema de tratamento de flotação.

Em 2008 foi adquirida outra ETA compacta (FG), com capacidade para tratar 235 m³/h, perfazendo um total de 535 m³/h, que representa a capacidade máxima de tratamento da ETA Mairiporã.

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais características de cada módulo da ETA Mairiporã.

Tabela 1. Características da ETA Mairiporã.

MÓDULO	CONVENCIONAL	SOLANIL	FG	CFA
Ano de Instalação	1988	1988	2008	1997
Capacidade (m ³ /h)	100	100	235	100
Tipo de Sistema	Decantação			Flotação
Área do Floculador - Mistura Rápida (m ²)	12	9,07	9,62	7,56
Área do Floculador - Mistura Lenta (m ²)			9,62	
Área do Flotador (m ²)	Inexistente			10,31
Área do Decantador (m ²)	48	26,25	14,8	Inexistente
Nº de Filtros (un)	4	2	2	2
Área dos Filtros (m ²)	4,45	5,04	5,1	7,56
Composição do Leito Filtrante	Areia e Antracito			

A ETA Mairiporã capta água da represa Paiva Castro. A captação é feita por meio de três bombas, centrífugas, com vazão total de até 600 m³/h de água, porém opera com duas bombas ligadas e uma reserva.

- **Coagulação**

Era utilizado o coagulante Sulfato Férrico em solução líquida e por tratar-se de um produto com pH ácido, utilizava-se o Carbonato de Sódio (barrilha) para controle de pH e alcalinidade de coagulação. De acordo com a água bruta captada pela ETA e literaturas disponíveis, o pH ideal de floculação do Sulfato Férrico era em torno de 6,0.

A adição de coagulante é feita na própria tubulação de captação de água bruta, adicionava-se além do sulfato férrico, o agente oxidante e barrilha. Segundo Meneghello (2010), o gradiente de velocidade aplicado na mistura rápida é maior que 300s⁻¹.

- **Floculação**

A ETA Convencional possui como mecanismo de mistura um floculador hidráulico de fluxo vertical constituído por 18 chicanas, já as ETAs Solanil, CFA e FG possuem floculadores mecânicos de pás. De acordo com Meneghello (2010), o tempo de detenção no floculador da ETA Convencional foi estimado em 13 minutos.

- **Sedimentação**

Segundo Meneghello (2010), a ETA Convencional possui taxa de sedimentação de 50,00 m³/m² dia.

- **Filtração**

A ETA Mairiporã possui um total de 10 filtros. A composição dos leitos filtrantes também é a mesma para todos os filtros: areia e antracito. O número de filtros de cada módulo, bem como suas respectivas áreas podem ser verificados na Tabela 1: Características da ETA Mairiporã.

A retro lavagem com água final é o mecanismo utilizado na lavagem de todos os filtros. Quanto ao tempo de carreira de filtração, o módulo Convencional possui intervalos entre as lavagens de filtro entre 10 e 28 horas; o módulo Solanil entre 15 e 22 horas, o módulo CFA entre 10 e 20 horas e o módulo FG entre 18 e 22 horas.

A lavagem dos filtros é realizada de forma manual nos módulos Convencional, Solanil e FG, ou seja, pela abertura e fechamento de válvulas. Os tempos de lavagem dos filtros são padronizados em 10 minutos, com exceção do módulo CFA, que possui abertura e fechamento de válvulas por dispositivo eletrônico e painel de comando e tempo de lavagem pré-programado de 4 minutos. Vale afirmar que os tempos de carreira, bem como os tempos de lavagem de filtros podem variar em função das características da água bruta.

- **Dosagem de Produtos Químicos**

A ETA Mairiporã utilizava o coagulante Sulfato Férrico, o alcalinizante Carbonato de Sódio (Barrilha), o desinfetante Cloro Gás e o Ácido Fluossilícico para adição de Íons Fluoreto.

As dosagens de Sulfato Férrico variavam entre 3 a 40 mg/L de acordo com as características da água bruta. A média anual de dosagem era de 10 mg/L. O produto era aplicado diluído em uma concentração aproximada de 232 g/L.

O Carbonato de Sódio (Barrilha) era aplicado juntamente com o coagulante na tubulação de entrada de água bruta, para regulagem do pH ideal de floculação, e também aplicado na água final para regulagem de pH conforme a portaria do Ministério da Saúde. As dosagens variavam entre 2 e 90 mg/L, dependendo das características da água bruta e dosagem de coagulante. A dosagem média de barrilha para água floculada era de 10 mg/L e para água final de 20 mg/L.

O Cloro Gás diluído em água era aplicado na entrada de água bruta e na água final, o cloro total aplicado na ETA ficava entre 1,8 e 2,8 mg/L, e a demanda total de cloro em mg/L era de 0,3 a 1,5.

O Ácido Fluossilícico era aplicado na água final, em uma dosagem entre 0,61 e 0,79 mg/L, a média aplicada era de 0,70 mg/L. O produto era aplicado diluído em uma concentração de 132,1 g/L.

- **Produção de Lodo**

A ETA Mairiporã não possui sistema de captação de lodo gerado pela decantação. A produção de lodo gerado no tratamento da água foi estimada segundo o método empírico da *Water Research Center* (WRC) em 132,61 kg/dia.

OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho concentra-se em fornecer subsídios para possível revisão de procedimentos operacionais da ETA Mairiporã, diante do cenário de diminuição da disponibilidade hídrica e redução de receitas financeiras, observado no ano de 2015.

Os objetivos específicos do trabalho são destinados a:

- Avaliar a substituição do coagulante Sulfato Férrico, por Sulfato de Alumínio ou Cloreto de Polialumínio (PAC);
- Avaliar os tempos de lavagem dos filtros.

MATERIAIS E MÉTODOS: COAGULANTE MAIS ADEQUADO PARA A ETA MAIRIPORÃ, ENTRE O SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO DE POLIALUMÍNIO (PAC)

Entre os dias 23/02/2015 e 06/03/2015, foram realizados 06 ensaios *Jar Test*: 01 e 02 respectivamente para definição da melhor dosagem de Policloreto de Alumínio (PAC) e melhor pH de floculação; 03 e 04 para definir os mesmos parâmetros, contudo para o Sulfato de Alumínio; e 05 e 06 para comparar os dois coagulantes nos mesmos testes.

O alcalinizante utilizado no teste foi o carbonato de sódio (barrilha) e para simular a cloração da água utilizou-se o hipoclorito de sódio.

Foram avaliados os resultados e com as dosagens do melhor jarro de cada produto foram calculados os custos aproximados para ambos e definido o mais eficiente, quanto ao critério econômico.

MATERIAIS E MÉTODOS: TEMPO ÓTIMO DE LAVAGEM DOS FILTROS

Para realização dos ensaios de tempo ótimo de lavagem dos filtros, foram selecionados previamente os filtros que seriam amostrados, um de cada módulo aleatoriamente, e fez-se a programação de lavagem de maneira que o tempo de carreira de filtração ficasse o mais próximo do tempo máximo.

A Tabela 02 a seguir resume os filtros amostrados, bem como seu tempo de carreira mínimo e máximo e o tempo de carreira utilizado nos ensaios.

Tabela 02. Filtros x Tempos de carreira.

Filtro amostrado	Tempo recomendado de carreira (h)		Tempo de carreira do ensaio (h)
	Mínimo	Máximo	
7 - Convencional	10	20	14
2 - FG	15	26	22
5 - Solanil	18	26	23
B - CFA	8	15	10

No dia 14/05/2015 procederam-se as lavagens de forma usual dos 04 filtros selecionados. As amostras de água foram coletadas a cada 30 segundos, a partir do momento em que a água de lavagem começou a verter na calha dos filtros. Após a coleta, todas as amostras foram agitadas e analisadas quanto ao parâmetro de turbidez. Os resultados foram compilados e na sequência foram construídos os gráficos de tempo de lavagem x turbidez da água de lavagem.

RESULTADOS OBTIDOS: COAGULANTE MAIS ADEQUADO PARA A ETA MAIRIPORÃ, ENTRE O SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO DE POLIALUMÍNIO (PAC)

Em relação aos ensaios 01 e 02, realizados com PAC, obteve-se um ótimo resultado em relação à turbidez e cor. Na Tabela 03 observa-se que no ensaio 01 os melhores resultados obtidos foram nas dosagens de 8 e 10 ppm, sendo a dosagem de 10 ppm escolhida para realizar o ensaio 02, apresentado na Tabela 04. Este ensaio apresentou melhores resultados com o pH 6,9; definido como pH ideal de floculação. Foram destacados na cor cinza os jarros com melhores resultados em cada ensaio.

Tabela 03. Resultados do Ensaio 01.

Jarro	Dosagem PAC (ppm)	pH Ideal	pH Real	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
1	6	6,5	6,56	1,60	7,90
2	8		6,52	0,61	9,20
3	10		6,50	0,80	3,60
4	12		6,46	1,32	11,70
5	14		6,42	2,61	13,70
6	16		6,44	3,89	15,90

Tabela 04. Resultados do Ensaio 02.

Jarro	Dosagem PAC (ppm)	pH Ideal	pH Real	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
1	10	6,20	6,20	0,91	6,50
2		6,30	6,20	1,13	7,50
3		6,50	6,40	1,30	7,00
4		6,70	6,60	1,20	6,00
5		6,80	6,80	0,77	4,10
6		7,00	6,90	0,51	2,70

No ensaio 02 o primeiro jarro a flocular foi o n°6, seguido dos jarros 5 e 4, respectivamente. No primeiro minuto de decantação a maior eficiência também foi do jarro n° 6.

Obs: As características físico-químicas da água bruta utilizada nos ensaios 01 e 02 eram: Turbidez: 37,00 NTU; Cor: 65,00 UC e pH: 6,72.

Os ensaios 03 e 04, realizados com Sulfato de Alumínio também apresentaram bons resultados, a melhor dosagem encontrada no ensaio 03 foi de 30 ppm e o melhor pH de floculação do ensaio 04 foi de aproximadamente 6,7. As Tabelas 05 e 06 apresentam os resultados destes ensaios.

Tabela 05. Resultados do Ensaio 03.

Jarro	Dosagem Sulf. Al. (ppm)	pH Ideal	pH Real	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
1	20	6,5	6,5	14,80	44,80
2	22		6,6	7,00	23,40
3	24		6,6	4,10	15,10
4	26		6,7	2,90	9,20
5	28		6,6	2,45	9,00
6	30		6,6	2,15	8,50

Tabela 06. Resultados do Ensaio 04.

Jarro	Dosagem Sulf. Al. (ppm)	pH Ideal	pH Real	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
1	30	6,0	6,36	5,70	20,90
2		6,2	6,39	3,50	13,60
3		6,4	6,40	3,33	10,30
4		6,5	6,47	2,80	9,50
5		6,8	6,77	2,63	11,50
6		7,0	6,98	3,45	15,50

O Sulfato de Alumínio apresenta maior tempo de decantação, em 1 minuto os flocos ainda encontravam-se suspensos na superfície.

Obs: As características físico-químicas da água bruta utilizada nos ensaios 03 e 04 eram: Turbidez: 41,90 NTU; Cor: 117,00 UC e pH: 6,70.

Para comparar ambos os coagulantes foram realizados testes com 3 jarros de cada produto avaliado, com dosagens e pHs definidos pela avaliação dos testes anteriores. As Tabelas 07 e 08 apresentam os resultados dos ensaios 05 e 06, para definição de melhor dosagem e melhor pH, respectivamente.

Para o ensaio 05, fixou-se 6,9 como pH ideal para PAC e 6,7 para o Sulfato de Alumínio, e variaram as dosagens dos coagulantes de acordo com aquelas melhores obtidas nos testes anteriores. Já no ensaio 06 as melhores dosagens do ensaio 05 foram fixadas.

Tabela 07. Resultados do Ensaio 05.

Jarro	Dosagem PAC (ppm)	Dosagem Sulf. Al. (ppm)	pH Ideal	pH Real	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
1	8	-	6,9	6,95	2,58	11,14
2	10	-		6,86	2,12	8,60
3	12	-		6,92	2,06	8,80
4	-	28	6,7	6,72	2,30	8,30
5	-	30		6,75	1,93	8,20
6	-	32		6,75	1,64	7,30

Tabela 08. Resultados do Ensaio 06.

Jarro	Dosagem PAC (ppm)	Dosagem Sulf. Al. (ppm)	pH Ideal	pH Real	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
1	12	-	6,3	6,43	2,25	9,50
2	12	-	6,5	6,56	1,25	6,10
3	12	-	6,7	6,70	1,80	8,10
4	-	32	6,3	6,44	2,45	10,50
5	-	32	6,5	6,53	1,95	9,00
6	-	32	6,7	6,69	1,90	7,50

Observa-se que o Sulfato de Alumínio exige maior dosagem de barrilha para coagular, sendo que o PAC exige uma quantidade muito menor e também flocula sem barrilha.

Obs: As características físico-químicas da água bruta utilizada nos ensaios 05 e 06 eram: Turbidez: 37,80 NTU; Cor: 88,20 UC e pH: 6,70.

RESULTADOS: TEMPO ÓTIMO DE LAVAGEM DOS FILTROS

Os gráficos demonstram a curva de remoção de turbidez. O tempo ótimo de lavagem dos filtros corresponde ao ponto em que a turbidez sofre pouca variação, ou seja, apresenta estabilização da taxa de turbidez removida. Estão destacados nos gráficos os tempos ótimos de lavagem com um círculo vermelho.

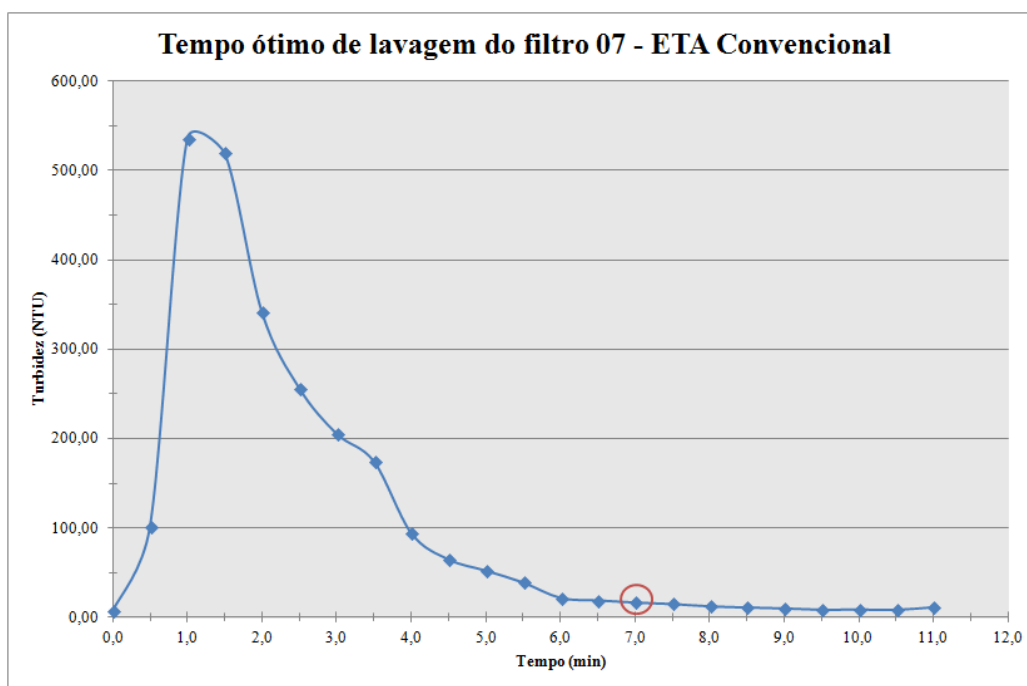


Figura 1. Tempo ótimo de lavagem do filtro 7.

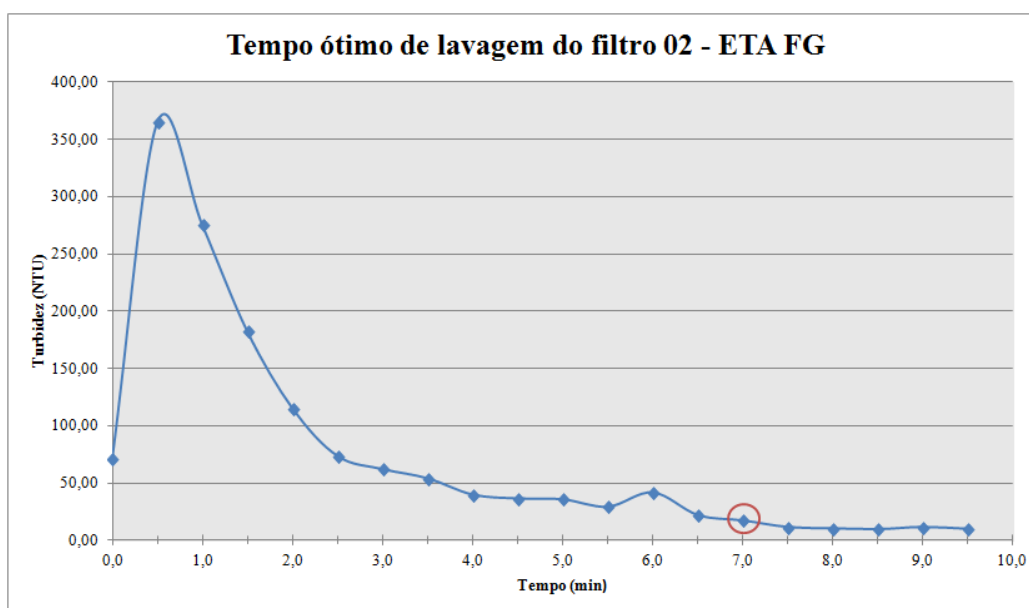


Figura 2. Tempo ótimo de lavagem do filtro 2.

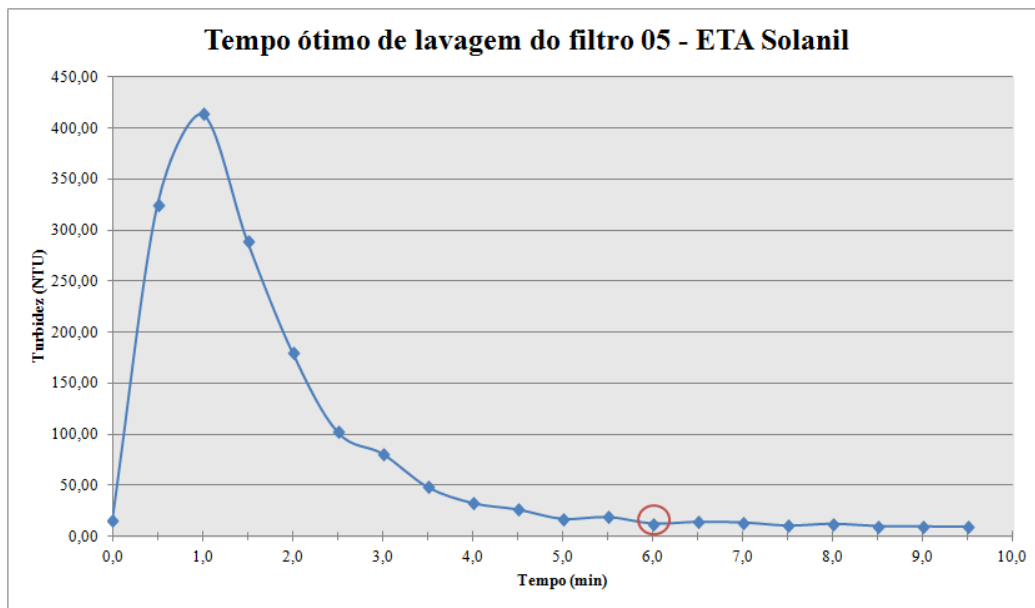


Figura 3. Tempo ótimo de lavagem do filtro 5.

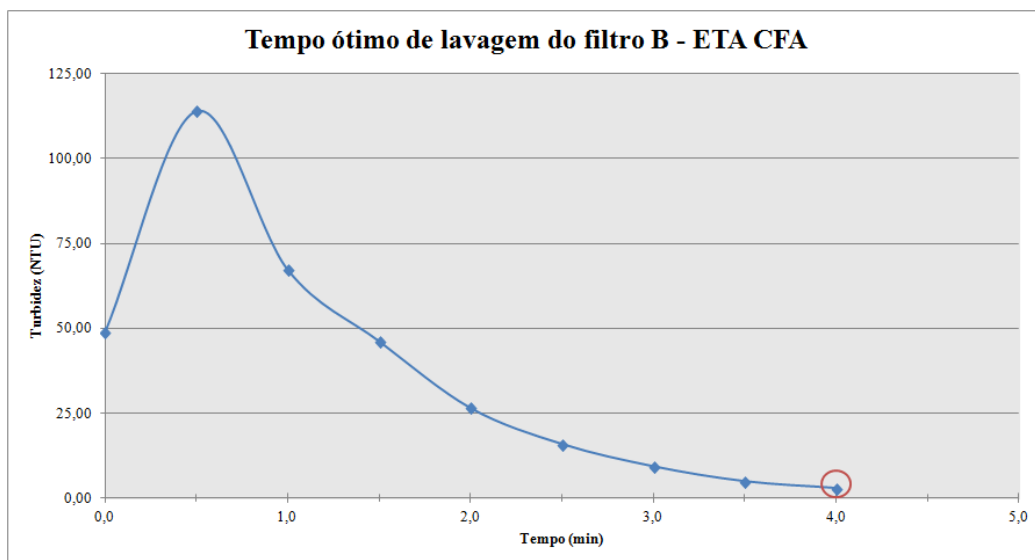


Figura 4. Tempo ótimo de lavagem do filtro B.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS: COAGULANTE MAIS ADEQUADO PARA A ETA MAIRIPORÃ, ENTRE O SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO DE POLIALUMÍNIO (PAC)

Comparando os resultados do melhor jarro de PAC e do melhor jarro de Sulfato de Alumínio, observa-se no gráfico da Figura 5 que trabalhando com o PAC é utilizada uma dosagem menor de produto e o resultado apresenta melhor turbidez. Em relação à cor não houve grande diferença nas amostras utilizadas.

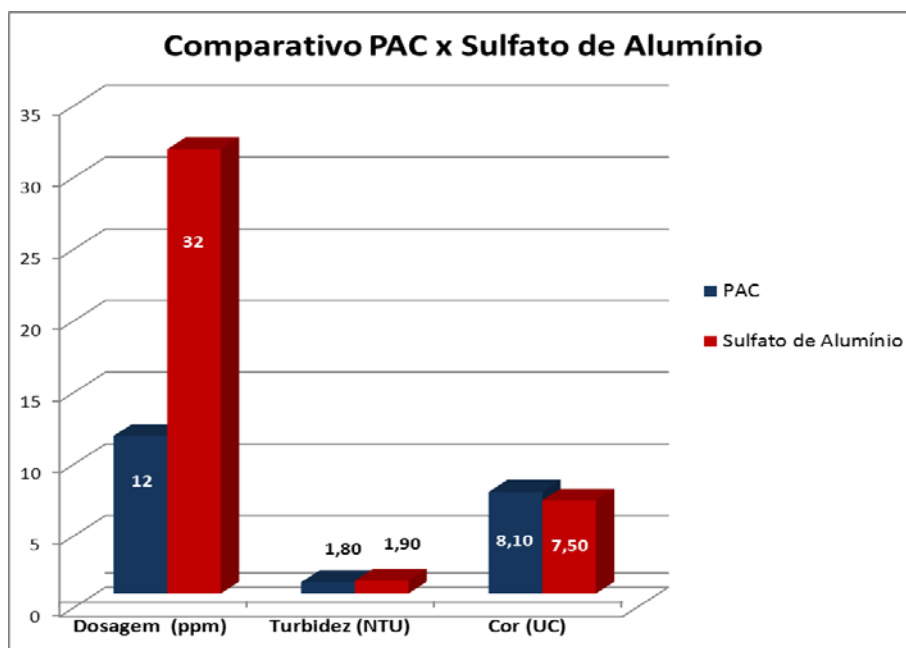


Figura 5. Gráfico comparativo de eficiência entre PAC e Sulfato de Alumínio.

Analisando os resultados apresentados, foi calculado o valor de coagulante e barrilha gasto para tratar 10 m³ de água, utilizando as melhores dosagens apresentadas nos testes. A Tabela 09 apresenta a quantia em Reais gasta para tratar 10 m³ de água da ETA Mairiporã, de acordo com o melhor resultado obtido no *Jar Test* para cada coagulante.

Calculou-se também que com a quantia de R\$ 1,00 trata-se 75,7 m³ de água bruta utilizando o PAC como coagulante, e, utilizando o Sulfato de Alumínio, trata-se apenas 23,6 m³ da mesma água bruta. As cotações utilizadas para o cálculo são de março de 2015.

Tabela 09. Custos dos Coagulantes para Tratamento de 10 m³ de Água Bruta

	Valor do Kg (R\$)	Quantidade para 10 m ³ (Kg)	Valor para 10 m ³ (R\$)	Valor Total para 10 m ³ (R\$)
PAC	0,93	0,0997	0,0928	PAC = 0,132
Barrilha	1,57	0,025	0,0392	
Sulfato de Al.	0,493	0,300	0,1479	Sulfato de Al. = 0,423
Barrilha	1,57	0,175	0,2747	

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS: TEMPO ÓTIMO DE LAVAGEM DOS FILTROS

Pode-se verificar, em uma primeira análise, que o tempo de 10 minutos, utilizado como padrão para as ETAs Convencional, FG, Solanil está superdimensionado. O único tempo de lavagem de filtro que se mostrou eficiente e eficaz de acordo com as análises de turbidez realizadas foi o tempo da ETA CFA, fixado e programado para 04 minutos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho alcançou de maneira satisfatória os seus objetivos específicos: avaliar a substituição do coagulante Sulfato Férrico e avaliar os tempos de lavagem de filtros da ETA Mairiporã.

Para o primeiro item avaliado a partir dos ensaios de *Jar Test*, de acordo com os resultados apresentados concluiu-se que o PAC apresenta maior vantagem em relação ao Sulfato de Alumínio, sendo que é eficiente com menor dosagem de coagulante e alcalinizante.

Em relação à eficácia, o produto atua muito bem na condição da água bruta recebida na ETA Mairiporã e, em termos de custo, apesar do valor do Kg do PAC ser maior que o do Sulfato de Alumínio, é muito mais econômico por exigir uma dosagem menor. Atualmente o coagulante utilizado na ETA Mairiporã é o PAC.

Recomendou-se o uso de Hipoclorito de Sódio junto ao PAC, assim como foi utilizado nos ensaios, por auxiliar no aumento do pH da água, e demandar menos alcalinizante. O cloro gás acidifica a água, demandando mais alcalinizante e não atendendo à proposta de economia deste coagulante, sendo que seu pH ideal de floculação é maior em relação aos outros. Atualmente é utilizado o Hipoclorito de Sódio na ETA Mairiporã.

Quanto ao ensaio de tempo de lavagem de filtros, vale considerar que os tempos de carreira, bem como os tempos de lavagem podem variar em função das características da água bruta. Os testes apresentados neste trabalho foram realizados com as condições típicas de operação e certamente não são representativos para condições extremas em que há interferências na qualidade da água bruta. Desta forma há necessidade de maiores estudos que investiguem com maiores detalhes as situações adversas com finalidade de certificar que o tempo de lavagem pode ser diminuído, sem prejudicar o tempo de carreira, padrões de potabilidade e tempo de vida do material do filtro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO NETTO, J.M. Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água. Vol. III. Filtros Rápidos à Gravidade. São Paulo, CETESB, 1987.
2. LEME, F. P. Teoria e técnicas de Tratamento de Águas, São Paulo, CETESB, 1979.
3. MENEGHELLO, J. C. P. ETA Mairiporã – Sistema Isolado Norte – MNES. Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Sistema de Ensino SABESP – ETA Escola. São Paulo, 2010.
4. PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.
5. PEREIRA, C. M. S. (Organizadora). Unidade de Negócio de Produção de Água. SABESP. Apostila do curso ETA Escola. São Paulo, 2015.