



## I-082 - REMOÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS PRECURSORES EM PÓS-FILTROS ADSORVEDORES NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

### **Ricardo Lazzari Mendes**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Mestre em Engenharia e Doutorando pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, engenheiro da Geasanevita Engenharia Ltda.

### **Carolina Alves de Souza Ferreira**

Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela EPUSP. Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela EPUSP. Engenheira consultora da MWH Brasil Engenharia e Projetos Ltda.

### **Cláudia Mota Santos Pereira**

Química Industrial pela Faculdade Oswaldo Cruz. Mestranda em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Gerente da Estação de Tratamento de Água Guaraú da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

### **Sidney Seckler Ferreira Filho<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia e Doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Professor Livre Docente do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP.

### **Frederico de Almeida Lage Filho**

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Mestre e Doutor em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade da Califórnia – Berkeley.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus da USP, Prédio da Engenharia Civil, Av. prof. Almeida Prado, 83 – Travessa 2 – CEP 05508-900, Butantã, São Paulo, SP. - Tel: (11) 3091-5225 - E-mail: ssffilho@usp.br

## **RESUMO**

Quatro colunas de leito profundo com Carvão Ativado Granular (CAG) atuando como pós-filtros adsorvedores foram avaliadas para remoção de carbono orgânico total (COT) ao longo do tempo de operação. Duas colunas recebiam água filtrada pós-ozonizada da ETA Alto da Boa Vista e outras duas recebiam a mesma água sem ozonização. Foram testados um CAG de base betuminosa e um de base vegetal. Verificou-se que o efeito da etapa de ozonização na remoção de COT da água filtrada foi desprezível. O CAG de origem mineral apresentou melhor comportamento quando comparada com o CAG de origem vegetal no tocante à remoção de COT. Além disso, a vida útil dos meios adsorvedores foi em torno de nove meses, independentemente do tipo de água (com ou sem ozônio) e origem do CAG (mineral ou vegetal).

**PALAVRAS-CHAVE:** compostos orgânicos precursores, Carvão Ativado Granular, filtros adsorvedores, inter-ozonização, carbono orgânico total.

## **INTRODUÇÃO**

A indústria da água de abastecimento, quando utiliza o tratamento completo ou convencional (coagulação, decantação e filtração), transforma água inadequada para o consumo humano em um produto que esteja dentro dos padrões de potabilidade. Quando o manancial apresenta características de eutrofização, tecnologias avançadas devem ser acrescidas ao sistema convencional. A Estação de Tratamento de Água do Alto da Boa Vista (ETA-ABV da SABESP), originalmente projetada como convencional, passou a apresentar problemas sazonais de gosto e odor, causando transtornos à população abastecida devido ao elevado grau de eutrofização do Reservatório do Guarapiranga (ALVES, 2005).

Com os resultados do sistema de monitoramento, concluiu-se que os problemas de subprodutos da desinfecção bem como gosto e odor eram resultantes da ocorrência de compostos orgânicos naturais e pela liberação de sub-produtos metabólicos de algas e demais microrganismos na água bruta e que, dentre estes, os mais significativos são o compostos MIB e Geosmina (FERREIRA FILHO et al, 2005).

A presença de compostos orgânicos naturais (CON) em águas de abastecimento tem recebido, desde a década de 70, a atenção de inúmeros pesquisadores. Os CON's que porventura podem estar presentes em meio aquoso tem sua origem nos processos biológicos naturais de degradação de matéria vegetal e sua interação



com argilas e demais constituintes do solo da bacia hidrográfica, como também podem se originar da atividade biológica de algas e demais microorganismos como sub-produtos de processos metabólicos (AWWA, 1998).

Dado que o processo convencional de tratamento de água não é eficiente na remoção destes compostos, novas tecnologias de tratamento tiveram de ser incorporadas ao processo de tratamento. Dentre as tecnologias passíveis de serem implementadas na solução destes problemas estão os processos de arraste por ar difuso (air stripping), oxidação química, adsorção em carvão ativado granular e em pó.

Em função das características do Sistema Produtor do Guarapiranga, foi implantado um sistema de aplicação de carvão ativado em pó de até 40 mg/l tendo-se um horizonte de concentração de MIB e Geosmina na água bruta da ordem de 100 ng/l. No entanto, desde o final do ano de 1999, foram observadas concentrações de MIB na água bruta da ordem de 200 ng/l a 600 ng/l e picos acima de 1000ng/l exigindo novas tecnologias de tratamento na concepção da ETA-ABV.

Com isso, foi recomendada a execução de uma análise técnico-econômica da viabilidade de adoção de um sistema de inter-ozonização e sistemas de filtros adsorvedores com o objetivo de reduzir a concentração de compostos orgânicos nas águas de abastecimento.

## OBJETIVO

Tendo por objetivo estudar operações e processos para avaliar a associação de sistema de inter-ozonização e filtro adsorvedor de carvão ativado granular (CAG) para controle de precursores e subprodutos da desinfecção em estações de tratamento de água, este trabalho teve por objetivos:

- Avaliar a viabilidade técnica da aplicação do ozônio seguido de filtros adsorvedores de carvão ativado granular (CAG).
- Avaliar parâmetros para avaliação da redução das concentrações de compostos orgânicos precursores (Carbono Orgânico Total (COT) e Absorbância em ultra-violeta 254 nm (UV-254 nm)) no sistema de tratamento.
- Avaliar parâmetros para a quantificação da redução na formação de THM's na água tratada, mantendo o cloro livre como desinfetante final.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Por intermédio de ensaios experimentais em sistema piloto de ozonização e filtros adsorvedores com alimentação contínua e direta do canal de água decantada da ETA ABV em tempo real, a operação do sistema foi assim desenvolvida:

- Seleção do CAG - diferentes marcas comerciais e tipos de carvão ativado granular (CAG) disponíveis no mercado nacional e internacional. Uma vez selecionados, os carvões foram caracterizados com respeito à sua granulometria e índices físicos.
- Ensaios de adsorção em coluna piloto tendo o meio adsorvedor a concepção compatível com as características da ETA ABV e características operacionais, tais como taxa de filtração, tempo de contato de leito vazio (TCLV) de acordo com a futura concepção dos filtros adsorvedores.
- Estudos em escala piloto conduzidos com água filtrada com e sem pré-ozonização, pois, duas colunas receberam a água decantada após a passagem por colunas de ozonização, com ou sem peróxido de hidrogênio associado.

A concepção do sistema de filtração da ETA-Piloto atendeu as seguintes recomendações:

- O sistema de filtros foi abastecido com água filtrada proveniente do canal de água filtrada.
- O sistema de filtração piloto possuía 04 filtros piloto alimentados por gravidade com amplitude de taxas de filtração de 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia a 800 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia com diâmetro de 150 mm.
- O regime hidráulico dos filtros era do tipo taxa constante de filtração com variação de nível e as perdas de carga ao longo do meio filtrante eram medidas por um quadro individual de piezômetros.

A Figura 1 apresenta um desenho típico de um destes filtros, com suas principais dimensões (150 mm de diâmetro interno e altura total de 6,5 m) e uma foto dos mesmos.



Estes filtros pilotos eram abastecidos por reservatórios de armazenamento (capacidade para até 1,0 m<sup>3</sup> cada) que recebiam água filtrada da ETA ABV sendo um deles diretamente e outro após a passagem pelas colunas de ozonização. Com isso, o sistema possibilitou a operação de dois filtros adsorvedores com água filtrada da ETA ABV e outros dois filtros com a mesma água, porém ozonizada.

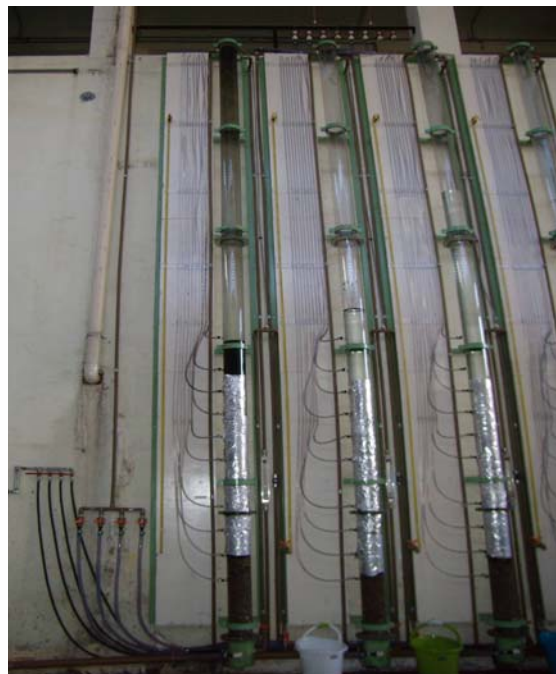
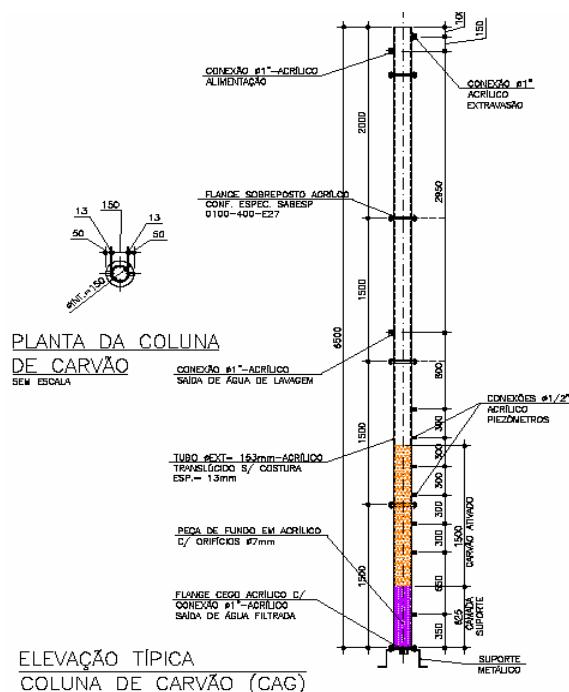


Figura 1 - Desenho de um dos 4 filtros-piloto e foto das colunas filtrantes-piloto.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

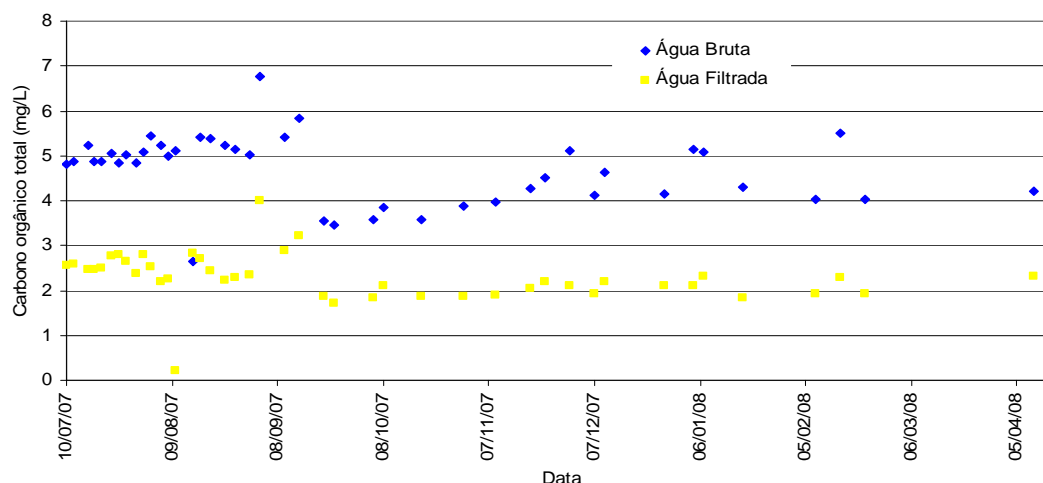
Os valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão dos resultados das análises de COT para a água efluente aos filtros 1, 2, 3 e 4, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão do COT da água efluente aos filtros 1, 2, 3 e 4.

Filtro	Mínimo (mg/L)	Médio (mg/L)	Máximo (mg/L)	Desvio Padrão (mg/L)
1	0,20	1,42	5,45	0,66
2	0,67	1,91	8,16	0,80
3	0,14	1,62	10,74	1,06
4	0,84	2,14	10,36	0,92

Os valores médios de COT nas águas efluentes aos filtros 1 e 3 (1,42 mg/L e 1,62 mg/L) foram menores do que dos filtros 2 e 4 (1,91 mg/L e 2,14 mg/L), indicando que os CAGs de origem betuminosa apresentaram uma melhor remoção de COT do que os CAGs de origem vegetal. Além disso, os filtros alimentados com água ozonizada (1 e 2) também apresentaram maiores remoções de COT, indicando que a ozonização contribuiu na redução do COT.

A Figura 2 apresenta os valores de COT observados para a água bruta e filtrada para o período de operação correspondente a julho de 2007 a abril de 2008.



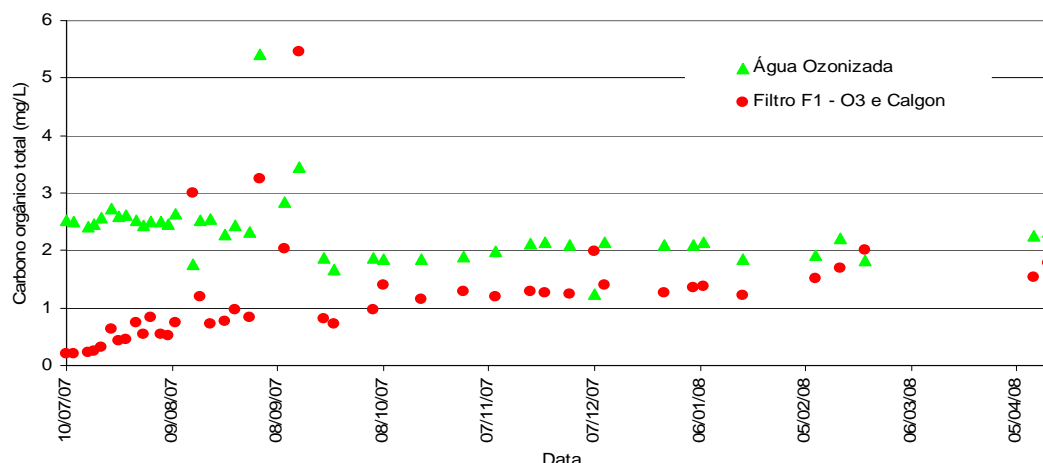
**Figura 2 – Concentrações de COT para a água bruta e filtrada para o período compreendido entre julho de 2007 a abril de 2008.**

Para o período em questão, os resultados estatísticos observados para os valores de COT da água bruta foram um valor médio igual a 4,7 mg/L e desvio padrão igual a 0,75 mg/L. Da mesma forma, os valores obtidos para a água filtrada situaram-se em 2,3 mg/L e desvio padrão igual a 0,53 mg/L.

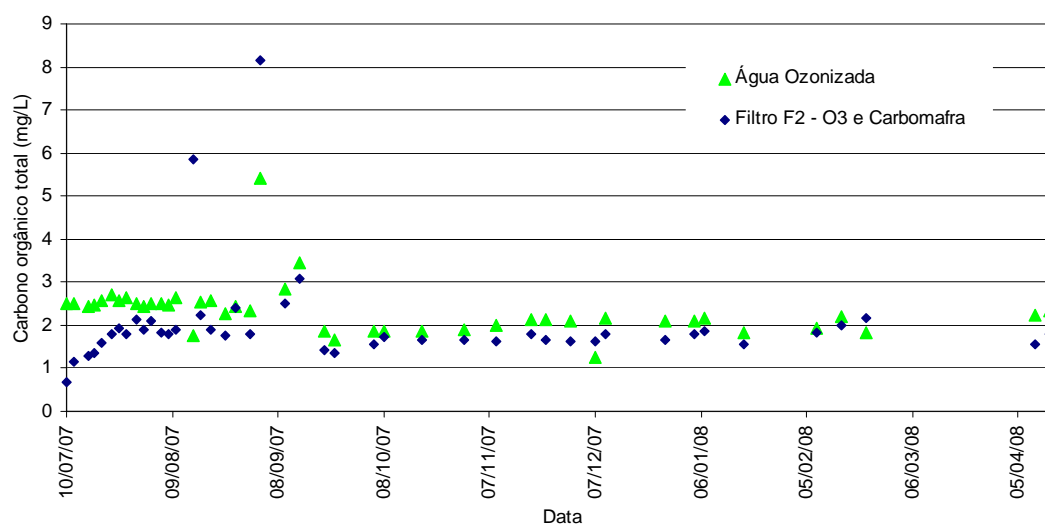
Desta forma, tem-se que a remoção média de COT durante o processo de tratamento de água situou-se em torno de 51,1%, valor este que pode ser considerado como bastante satisfatório, uma vez que a literatura cita que os valores de remoção de COT durante a operação de processos de coagulação situam-se em torno de 40% a 60% quando este é operado no mecanismo de varredura.

Durante o período de operação do sistema piloto, a ETA ABV operou o processo de coagulação por intermédio de sais de ferro como coagulante (sulfato férrico), com dosagens que variaram de 32 mg/L a 35 mg/L e pH de coagulação entre 5,9 e 6,2. Tendo em vista as condições de operação do processo de coagulação, justifica-se este valor de remoção de COT para a água bruta e, dado que os filtros piloto 3 e 4 foram alimentados somente com água filtrada, os seus valores de COT afluentes situaram-se, portanto, em torno de 2,3 mg/L para o período em questão.

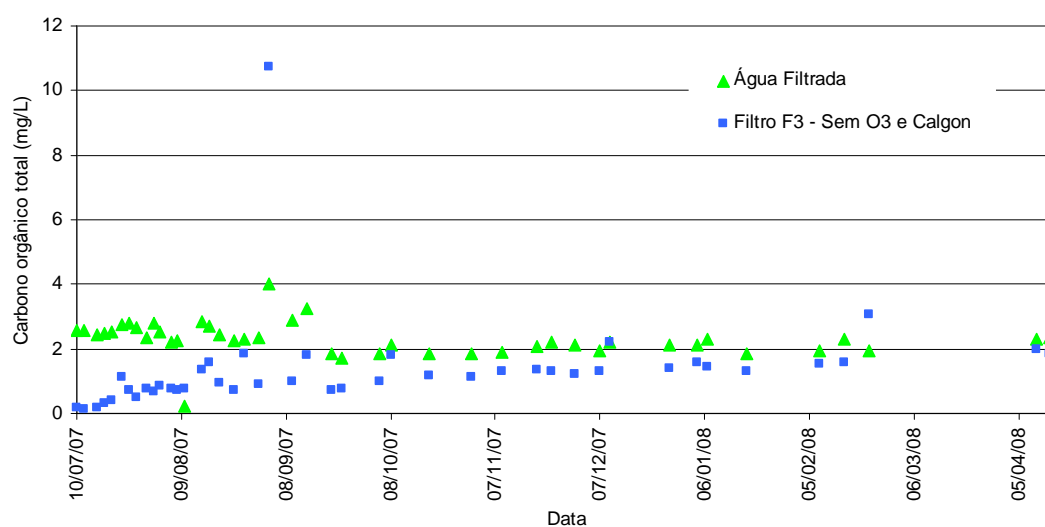
Com respeito à remoção de COT pelos filtros piloto F1, F2, F3 e F4, as Figuras 3 a 6 apresentam os valores afluente e efluente em cada filtro adsorvedor.



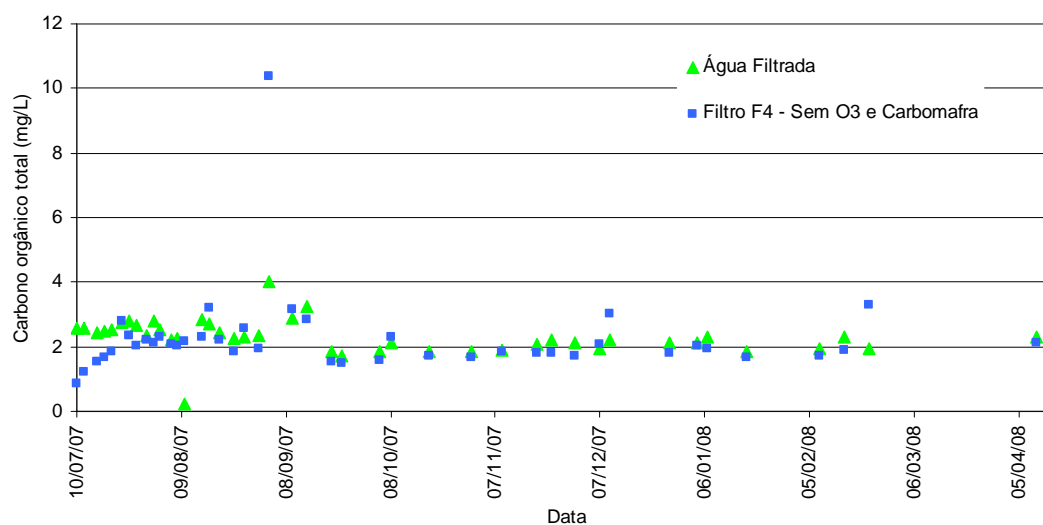
**Figura 3 – Concentrações de COT para o afluente e efluente do pós-filtro adsorvedor F1 para o período compreendido entre julho de 2007 a abril de 2008.**



**Figura 4 – Concentrações de COT para o afluente e efluente do pós-filtro adsorvedor F2 para o período compreendido entre julho de 2007 a abril de 2008.**



**Figura 5 – Concentrações de COT para o afluente e efluente do pós-filtro adsorvedor F3 para o período compreendido entre julho de 2007 a abril de 2008.**

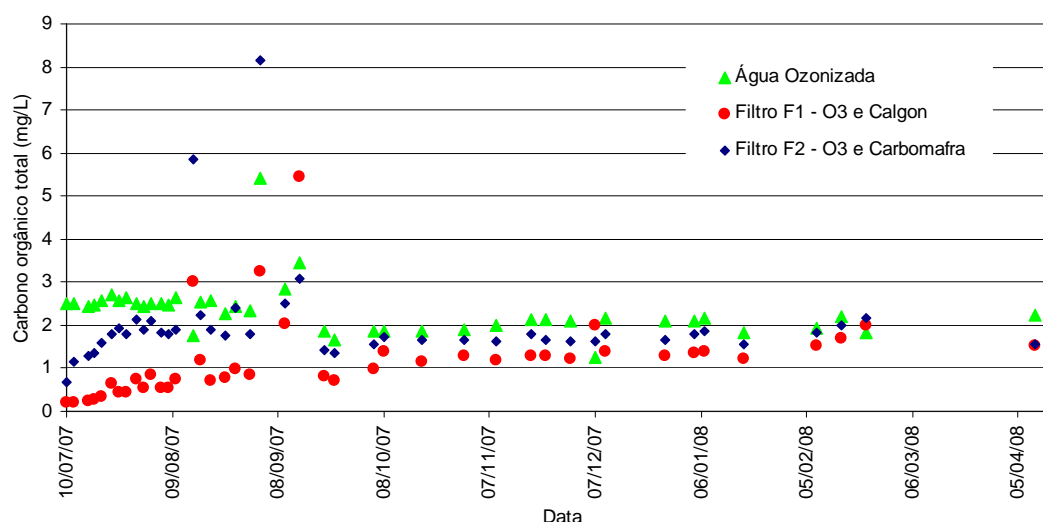


**Figura 6 – Concentrações de COT para o afluente e efluente do pós-filtro adsorvedor F4 para o período compreendido entre julho de 2007 a abril de 2008.**

O pós-filtro adsorvedor F1 apresentou no período valores de média e desvio padrão iguais a 1,2 mg/L e 0,9 mg/L, respectivamente. Uma vez que o valor médio de COT no afluente foi da ordem de 2,3 mg/L, observa-se que ocorreu uma remoção média no seu período de operação de aproximadamente 47,8%. No entanto, este valor de remoção de COT deve ser encarado como um valor médio, uma vez que a sua remoção foi variável no tempo, tendo-se observado que no início da sua operação os seus valores de COT efluente foram bastante reduzidos, o que corresponde a valores máximos de remoção.

Observando-se os valores de COT efluente com o tempo, nota-se que estes tenderam assintoticamente aos valores de COT afluente, o que indica a saturação do meio adsorvedor com respeito a sua remoção. A partir de março de 2008, praticamente os valores de COT efluente foram muito próximos aos valores de COT afluente, o que indica uma vida útil do meio adsorvedor em torno de 09 meses, sendo este condizente com os resultados experimentais apresentados por demais pesquisadores (CHANG et al. (1991); GRAESE et al. (1987); LALEZARY et al. (1986)).

Uma vez que os filtros adsorvedores F1 e F2 receberam como afluente a água filtrada e ozonizada produzida pelo sistema piloto, a comparação de ambos os resultados experimentais pode oferecer subsídios com respeito a eventuais diferenças existentes entre os tipos de CAG empregados na investigação experimental. A Figura 7 apresenta os resultados experimentais de ambos os pós-filtros adsorvedores.



**Figura 7 – Concentrações de COT para o afluente e efluente dos pós-filtros adsorvedores F1 e F2 para o período compreendido entre julho de 2007 a abril de 2008.**

Observando-se os resultados experimentais apresentados na Figura 6.7, nota-se que o filtro piloto F2 apresentou uma vida útil significativamente menor do que quando comparada com o filtro piloto F1, ainda que o afluente tenha sido o mesmo para ambos os filtros. Os valores de média e desvio padrão obtidos para o filtro piloto F2 foram iguais a 2,0 mg/L e 1,7 mg/L, respectivamente, sendo estes bastante superiores quando comparado com o filtro piloto F1.

Deste modo, pode-se afirmar que o CAG de origem mineral apresentou melhor comportamento com respeito a remoção de COT quando comparado com o CAG produzido a partir de matéria prima vegetal. Nota-se que a vida útil do CAG produzido a partir de matéria prima vegetal foi inferior a 60 dias, valor este muito reduzido e que tende a tornar a adoção de sistemas filtros adsorvedores antieconômico quando do seu uso no tratamento de águas de abastecimento.

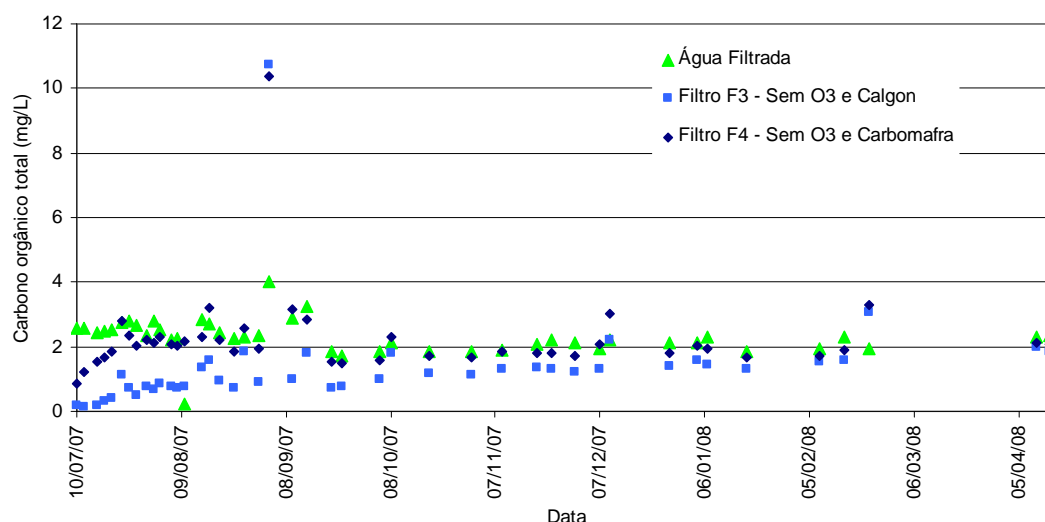
O filtro piloto F3, por sua vez, apresentou comportamento bastante semelhante quando comparado com o filtro piloto F1 e, por apresentarem mesmo material adsorvedor e tendo como única diferença o fato destes terem sido alimentados com água filtrada e água filtrada e ozonizada pode-se afirmar que o efeito do processo de oxidação química pelo ozônio não proporcionou uma melhora significativa no processo de adsorção e remoção de COT da fase líquida. Uma vez que os valores de média e desvio padrão observados para o filtro piloto F3 foram iguais a 1,4 mg/L e 1,5 mg/L, respectivamente, sendo estes muito próximos quando comparados com os valores do filtro piloto F1 pode-se afirmar que o seu comportamento com respeito à remoção de COT foram bastante semelhantes, não se evidenciando diferenças de comportamento para água filtradas ozonizadas ou não.

O filtro piloto F4 apresentou valores de média e desvio padrão iguais a 2,3 mg/L e 1,4 mg/L e, notadamente, este também apresentou comportamento bastante semelhante quando comparado com o filtro piloto F2.

Assim sendo, nota-se que uma vez mantido o mesmo material adsorvedor, independentemente da água filtrada ter sido ozonizada ou não, o padrão de remoção de COT com o tempo foi bastante similar em ambos os meios adsorvedores, indicando que o efeito da ozonização na remoção de COT foi desprezível.

Comparando-se ambos os filtros piloto F3 e F4 (Vide Figura 8), nota-se que, similarmente aos filtros piloto F1 e F2, o CAG fornecido pela CALGON, de origem mineral, apresentou também melhor comportamento quando comparado com o CAG fornecido pela Carbomafra, de origem vegetal.





**Figura 8 – Concentrações de COT para o afluente e efluente dos pós-filtros adsorvedores F3 e F4 para o período compreendido entre julho de 2007 a abril de 2008.**

Mais uma vez, observa-se que mesmo para a água filtrada também o filtro contendo CAG de origem mineral forneceu uma vida útil maior do que quando comparado com o CAG de origem vegetal. Dado que os resultados de COT obtidos para os filtros piloto (F1 e F3) e (F2 e F4) são bastante semelhantes entre si, pode-se afirmar que também a influência da água filtrada ter sido ozonizada ou não foi praticamente desprezível, notando-se que a maior diferença entre os filtros piloto operados está associado ao tipo de CAG empregado na investigação experimental.

Observando-se os valores de COT efluente com o tempo, nota-se que estes tenderam assintoticamente aos valores de COT afluente, o que indica a saturação do meio adsorvedor com respeito a sua remoção. A partir de março de 2008, praticamente os valores de COT efluente foram muito próximos aos valores de COT afluente, o que indica uma vida útil do meio adsorvedor em torno de 09 meses.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais parciais, pode-se concluir que:

- Com respeito aos valores de COT da água bruta, observou-se um valor médio igual a 4,7 mg/L e desvio padrão igual a 0,75 mg/L. Da mesma forma, os valores obtidos para a água filtrada situaram-se em 2,3 mg/L e desvio padrão igual a 0,53 mg/L.
- Desta forma, tem-se que a remoção média de COT durante o processo de tratamento de água situou-se em torno de 51,1%, valor este que pode ser considerado como bastante satisfatório.
- Os valores estatísticos observados para o COT da água filtrada e ozonizada foram um valor de média e desvio padrão igual a 2,3 mg/L e 0,60 mg/L, respectivamente, indicando que o efeito da etapa de ozonização na remoção de COT da água filtrada foi desprezível.
- Observando-se os valores de COT efluente dos filtros adsorvedores F1, F2, F3 e F4 com o tempo, nota-se que estes tenderam assintoticamente aos valores de COT afluente, o que indica a saturação do meio adsorvedor com respeito a sua remoção. A partir de março de 2008, praticamente os valores de COT efluente foram muito próximos aos valores de COT afluente, o que indica uma vida útil do meio adsorvedor em torno de 09 meses.
- Comparando-se os filtros piloto F1 e F3 com os filtros piloto F2 e F4, tem-se que o CAG fornecido pela CALGON, de origem mineral, apresentou também melhor comportamento quando comparada com o CAG fornecido pela Carbomafra, de origem vegetal no tocante à remoção de COT.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, R. Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores. Dissertação de Mestrado - ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 227p. 2005. São Paulo, Brasil.
2. AWWA; ASCE. **Water Treatment Plant Design**. 3 ed. 1998.
3. CHANG, S. D.; SINGER, P. C. The impact of ozonation on particle stability and the removal of TOC and THM precursors. Journal of American Water Works Association. March. 1991, p. 71-79.
4. FERREIRA FILHO, S.S., MENDES, R.L., LAGE FILHO, F., FERNANDEZ, A.N. Fluidificação e expansão de sistemas adsorvedores de carvão ativado granular no tratamento de águas de abastecimento. In: 23 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1, CAMPO GRANDE, 2005a.
5. GRAESE, S.L., SNOEYINK, V.L., LEE, R.G. Granular activated carbon filter adsorber systems. Journal American Water Works Association, p. 64-73, December. 1987.
6. LALEZARY, S., PIRBAZARY, M., McGUIRE, M.J. Evaluating activated carbon for removing low concentrations of taste and odor producing organics. Journal American Water Works Association, p. 76-82, November. 1986.