



## **I-078 - COMPORTAMENTO DE SISTEMAS PÓS-FILTROS ADSORVEDORES DE CARVÃO ATIVADO GRANULAR NA REMOÇÃO E FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS**

**Claudia Mota Santos Pereira**

Química Industrial pela Faculdade Oswaldo Cruz. Pós-graduada em Engenharia de Saneamento Básico e em Engenharia de Saúde Pública e Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Mestranda pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Gerente da Divisão ETA Guaraú da Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**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.

**Ricardo Lazzari Mendes**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia Federal de São Carlos, Mestre em Engenharia e Doutorando pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenheiro Consultor da ENGECORPS Engenheiros Consultores S/C 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.

**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) 3091-5209 - E-mail: ssffilho@usp.br

### **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de pós-filtros adsorvedores constituídos de Carvão Ativado Granular (CAG) na remoção de compostos orgânicos precursores e na formação de subprodutos da desinfecção, em particular dos trialometanos (THM) na Estação de Tratamento de Água Alto da Boa Vista (ETA ABV), abastecida por reservatórios de água bruta com elevado grau de eutrofização. Os trabalhos foram conduzidos em ETA Piloto composta por tanque de reservação de água filtrada, ozonizador, tanque de reservação de água ozonizada e 4 pós-filtros adsorvedores, sendo duas unidades dotadas de CAG de origem mineral (CALGON) e duas unidades dotadas de CAG de origem vegetal (CARBOMAFRA). Os filtros foram operados em paralelo, sendo que duas colunas foram alimentadas com água filtrada da ETA ABV (Filtro F3 – CALGON e Filtro F4 – CARBOMAFRA) e as outras duas alimentadas com água ozonizada (Filtro F1 – CALGON e Filtro F2 – CARBOMAFRA). A avaliação da remoção de compostos orgânicos precursores e formação de subprodutos da desinfecção foi feita através de análises de carbono orgânico total (COT), UV-254 nm e formação de THM. A análise dos resultados gerados de julho de 2007 a dezembro de 2008 permitiu concluir que 93% do THM é formado nas primeiras 24 horas de contato da amostra com o cloro, simulando a pós cloração e pós alcalinização da ETA ABV. O processo de oxidação por ozônio não foi efetivo na remoção de THM instantâneo, visto que a média dos 38 valores de THM instantâneo para a água filtrada (17,8 µg/L, com desvio padrão de 5,6) foi igual a média obtida para o THM instantâneo na água ozonizada. A remoção de THM pelos filtros de CAG foi mais significativa nos primeiros três meses de operação do sistema, apresentando remoção de 80% para os filtros com CAG de origem mineral e 70% para os filtros com CAG de origem vegetal, a partir do quarto mês de operação do sistema a remoção de THM caiu para um valor médio de 34%, o que mostra uma provável saturação do leito adsorvedor. Os pós-filtros adsorvedores constituídos de CAG de origem mineral apresentaram melhor comportamento com respeito a remoção de THM e COT quando comparado com os pós-filtros dotados de CAG de origem vegetal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trialometano (THM). Adsorção. Carvão Ativado Granular (CAG). Carbono Orgânico Total (COT). Ozonização.



## INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da atualidade é a distribuição de água em quantidade suficiente e com qualidade adequada para a população. Para garantir a qualidade da água distribuída e evitar impactos negativos à saúde dos consumidores, os sistemas de abastecimento público devem atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pelos órgãos reguladores.

Para garantir o atendimento aos padrões de potabilidade, as Estações de Tratamento de Água (ETA's) utilizam, na maior parte dos casos, o processo de tratamento convencional, que contempla a coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção e fluoretação.

O agente desinfetante e oxidante mais utilizado no tratamento de água é o cloro. Porém, no início da década de 70, a aplicação do cloro começou a ser questionada em virtude da formação de subprodutos da desinfecção, como exemplo trihalometanos (THM), compostos potencialmente carcinogênicos, que pode representar risco à saúde do consumidor.

Para MARMO et al. (2006), o aumento da dosagem de cloro, aplicada nos reatores durante o processo de oxidação, produz, em média, maiores formações de THM, detectado tanto pelas análises espectrofotométricas, quanto por cromatografia gasosa.

A partir da década de 70 várias pesquisas foram desenvolvidas, das quais se destaca uma realizada pela Environmental Protection Agency (EPA), que estudou a presença de THM em 113 ETA's dos Estados Unidos e constatou a presença de THM em todas as ETA's que utilizavam compostos clorados como desinfetante (BELLAR et al. (1974); MELNICK (1987) (1989)).

No Brasil a Portaria 518, do Ministério da Saúde limita em 100 µg/L a concentração máxima de THM em águas de abastecimento público.

O trabalho em questão tem como foco a Estação de Tratamento de Água Alto da Boa Vista (ETA ABV), que produz atualmente cerca de 14 m³/s, sendo responsável pelo abastecimento de aproximadamente 3,9 milhões de habitantes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

A ETA ABV iniciou sua operação em 1958, tendo sido originalmente projetada como uma estação de tratamento de água convencional, apresentando os processos unitários de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção e correção final de pH.

Porém, o acentuado avanço no processo de ocupação urbana sobre a bacia do Guarapiranga resultou em queda na qualidade do manancial, devido a introdução de altas cargas orgânicas e de nutrientes, levando ao rápido avanço do estado de eutrofização, cujas principais consequências são as ocorrências de florações de algas ocasionando problemas intermitentes, porém intensos de gosto e odor, associados a presença de substâncias identificadas como sendo Metilisoborneol (MIB) e Geosmina. Além do exposto, a ETA ABV apresenta problemas com formação de subprodutos da desinfecção, como exemplo o THM, devido a necessidade de utilização da pré-oxidação com cloro.

Para equacionar o problema, foi implantado um sistema de aplicação de carvão ativado em pó com capacidade para dosagem de até 40 mg/L. O sistema se apresenta eficiente na maior parte do tempo, porém, para enfrentar eventos com concentrações muito elevadas de MIB ou Geosmina seria necessária a adoção de novas tecnologias de tratamento, o que motivou o estudo com leitos adsorvedores compostos por Carvão Ativado Granular (GAC), precedidos por oxidação com ozônio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Aparato Experimental

Os ensaios foram conduzidos em estação de tratamento de água piloto, composta por tanque de reservação de água filtrada, ozonizador, tanque de reservação de água ozonizada e 4 filtros adsorvedores de CAG funcionando por gravidade.



Os tanques 1 e 2 são idênticos e foram utilizados respectivamente para reservação da água filtrada da ETA ABV e água filtrada ozonizada.

O sistema de ozonização é constituído de um gerador de ozônio marca PACIFIC, modelo G22, analisador de ozônio residual, 4 colunas de contato, 4 bombas de alimentação e 4 medidores de vazão (rotâmetros). A água é alimentada pelo topo de cada coluna e o ozônio alimentado pela parte inferior da mesma, resultando num fluxo contra corrente. As 4 colunas podem ser alimentadas simultaneamente, para proporcionar tempos de contato mais longos ou permitir dividir a dosagem em dois ou mais pontos de aplicação. Neste experimento foram utilizadas as 4 colunas com alimentação de ozônio nas colunas 1 e 2.

O sistema de filtração é composto por 4 colunas de filtração, com medição de vazão individual através de rotâmetros e medição de perda de carga por mangueiras piezométricas.

Os filtros foram construídos de modo a permitir que qualquer um dos filtros seja alimentado a partir do tanque 1 ou 2. Estes filtros em escala piloto apresentam fluxo descendente, operando em paralelo.

Foram utilizados dois tipos de CAG, sendo duas unidades dotadas de CAG de origem mineral (GAC 300 - Mineral) e duas unidades compostas por CAG de origem vegetal (CAG 119 - Vegetal). Os pós-filtros adsorvedores foram operados em paralelo com idênticos valores de tempo de contato de leito vazio, tendo sido este na faixa de 15 minutos. Tendo por finalidade observar o efeito da ozonização no comportamento dos diferentes pós-filtros adsorvedores, duas colunas receberam como afluente água filtrada ozonizada (Filtro 1 – Mineral e Filtro 2 – Vegetal) e as duas demais colunas apenas água filtrada (Filtro 3 – Mineral e Filtro 4 – Vegetal).

Os filtros contam ainda com sistema de lavagem contra corrente com ar, com dispositivo de medição de vazão (rotâmetro) e com água, cuja regulação era feita a partir da taxa de expansão do leito filtrante.

A Figura 1 apresenta o fluxograma da ETA Piloto utilizada.

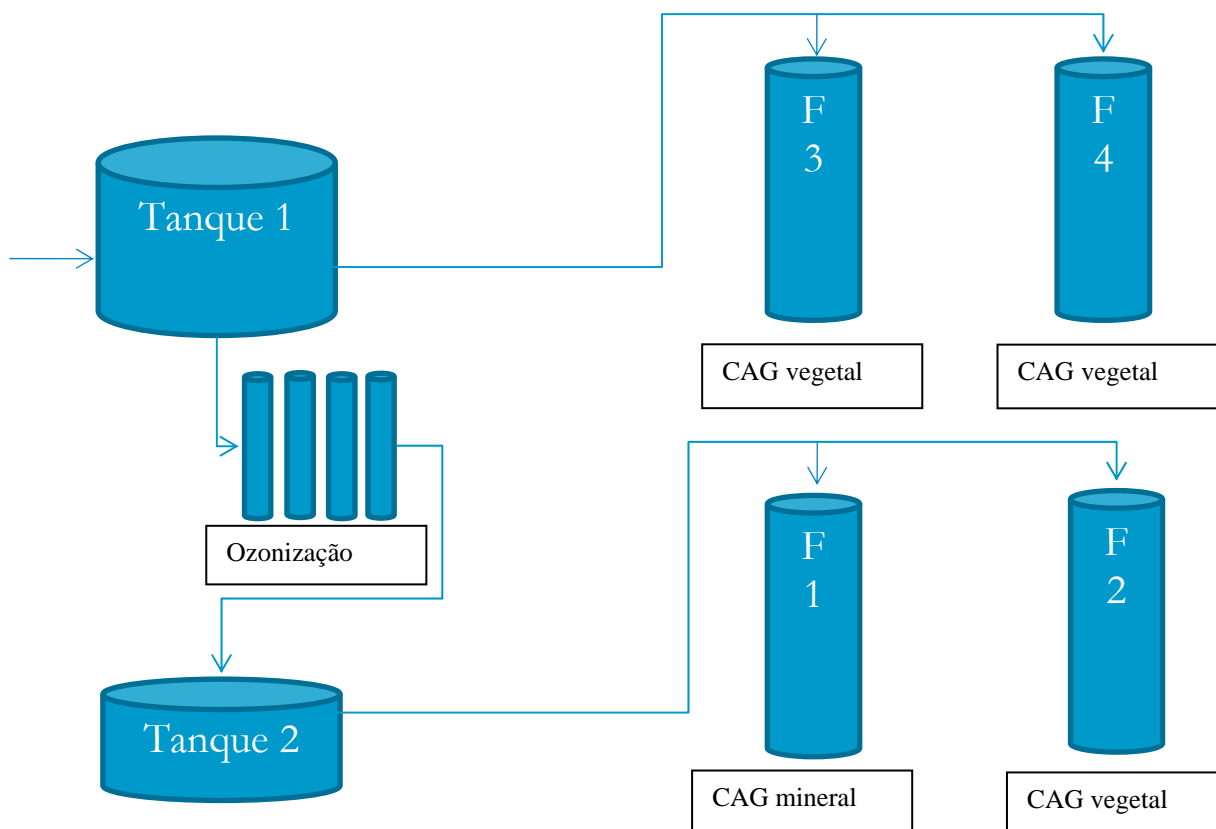


Figura 1 – Fluxograma da ETA Piloto



## Procedimento Experimental

A ETA Piloto foi operada com coletas periódicas de amostras de julho de 2007 a dezembro de 2008.

A ETA Piloto era alimentada com água filtrada da ETA ABV, ozonizada e posteriormente alimentava os filtros de CAG.

O sistema de ozonização foi operado de modo a manter o tempo de detenção hidráulico de 4 minutos em cada coluna, totalizando 16 minutos. As dosagens de ozônio eram aplicadas igualmente na primeira e segunda coluna, com o objetivo de manter um residual de aproximadamente 0,1 mg O<sub>3</sub>/L na saída do sistema de ozonização.

Avaliando as 147 amostragens, a dosagem média de ozônio no período de teste foi de 0,57 mg/L com desvio padrão de 0,38 mg/L para a coluna 1 e de 0,55 mg/L e desvio padrão de 0,38 mg/L para a coluna 2. A concentração média de ozônio na alimentação do tanque de água ozonizada foi de 0,103 mg/L com desvio padrão de 0,145 mg/L (número de amostras (n) igual a 107).

Os pós-filtros adsorvedores foram alimentados em paralelo, por gravidade, sendo os de número 1 e 2, com água ozonizada e os de número 3 e 4, com água filtrada. A água filtrada era proveniente da própria ETA e apresentava concentração aproximada de 0,6 mg/L de cloro residual livre. A vazão de alimentação dos filtros foi controlada de modo a manter o Tempo de Contato de Leito Vazio (TCLV) em aproximadamente 15 minutos.

As vazões médias encontradas nos filtros foram de 93,1 L/h  $\pm$  9,6 L/h (n=151) para o filtro 1; 95,2 L/h  $\pm$  10,5 L/h (n=151) para o filtro 2; 90,7 L/h  $\pm$  14,3 L/h (n=150) para o filtro 3; 90,0 L/h  $\pm$  13,1 L/h (n=149) para o filtro 4.

Como consequência foram obtidos os seguintes TCLV: 15,5 min.  $\pm$  1,7 para o filtro 1; 15,2  $\pm$  1,7 para o filtro 2; 16,2 min.  $\pm$  3,4 para o filtro 3; 15,8  $\pm$  2,1 para o filtro 4.

A lavagem dos filtros era efetuada quando a turbidez da água filtrada atingia o valor de 0,5 UNT ou quando a perda de carga ultrapassava 3 m. A lavagem dos filtros era realizada em 2 etapas: (1) ar, a uma vazão de 20 L/min, durante 5 min e; (2) água, a uma vazão que garantia uma expansão no leito de 20 a 30%, durante 10 a 15 min.

Para avaliar a eficiência dos filtros foram realizadas as seguintes análises: triometanos (THM), Geosmina, MIB, Carbono Orgânico Total (COT), UV-254 nm, turbidez e contagem de partículas. Neste trabalho serão discutidos os resultados de THM e COT.

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### Formação e Remoção de Sub-Produtos da Desinfecção

A formação de sub-produtos da desinfecção foi avaliada através das análises de THM para as diferentes amostras provenientes da ETA Piloto: água filtrada, filtrada ozonizada e efluente dos filtros 1 ao 4.

Foi avaliado o potencial de formação de THM, simulando a concentração de cloro na saída da ETA ABV e tempo de contato de 24 horas. Em 3 ensaios o tempo de contato foi de 72 horas.

A Tabela 1 apresenta a média do potencial de formação de THM nos momentos instantâneo, 24, 48 e 72 horas, considerando todos os pontos de amostragem (n=18).

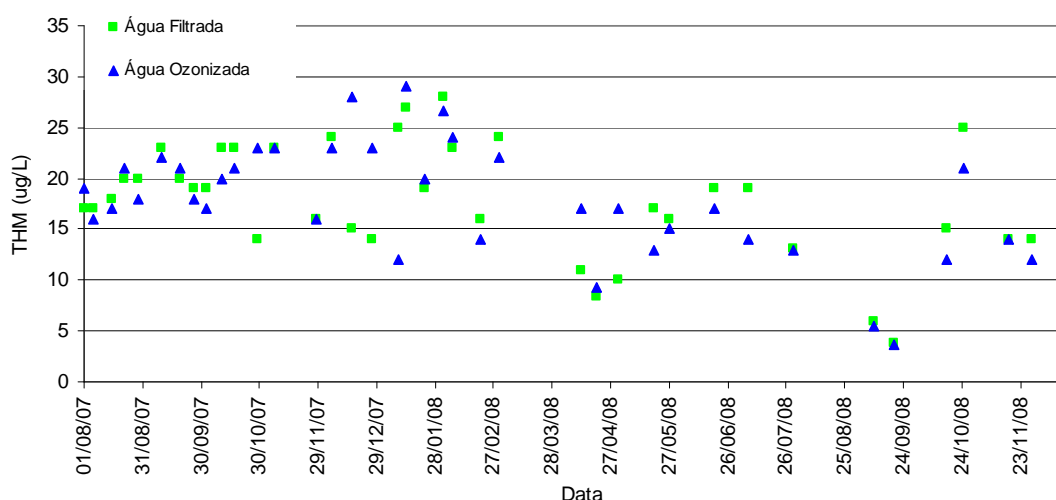


**Tabela 1 – Concentração média de THM em 72 horas e média do potencial de formação nos tempos 0, 24, 48 e 72 horas**

Tempo	Formação
Instantâneo	26%
24h	93%
48h	108%
72h	

Observa-se que nas primeiras 24 horas, em média 93% do THM já havia sido formado, com desvio padrão de 17%. Portanto os demais ensaios foram realizados com o potencial de formação de THM em 24 horas.

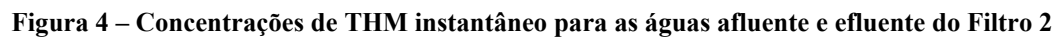
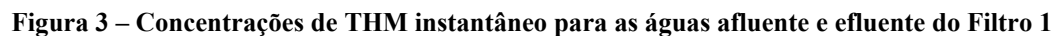
A seguir será apresentada e discutida a evolução de THM no tempo de agosto de 2007 a novembro de 2008. A Figura 2 apresenta a evolução dos valores de THM instantâneos obtidos para as águas filtrada e ozonizada.

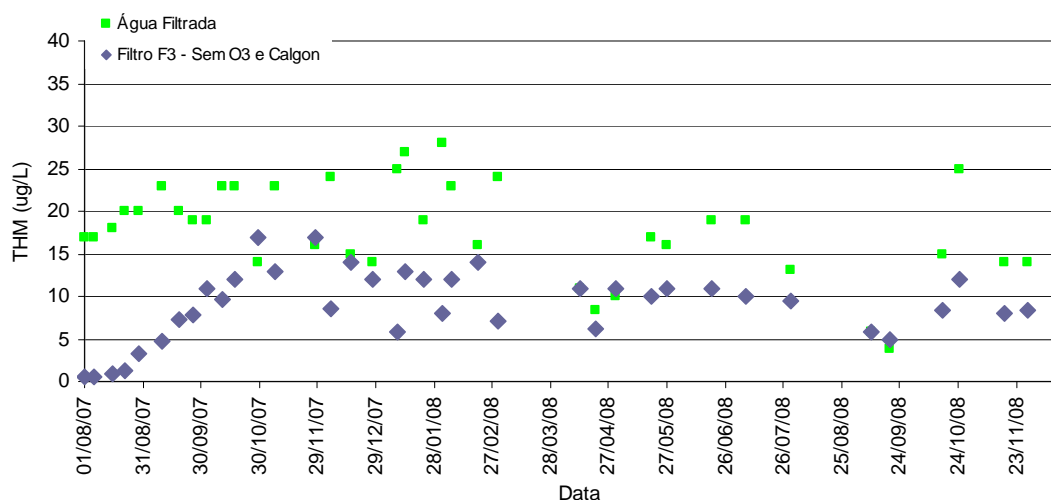


**Figura 2 – Concentrações de THM instantâneo para as águas filtrada e ozonizada**

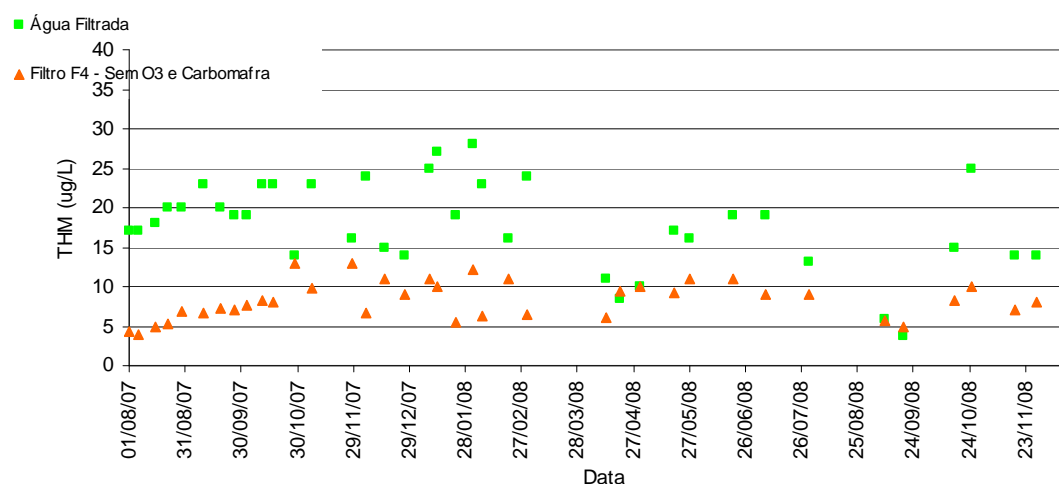
A média dos 38 valores de THM instantâneo para a água filtrada foi de 17,8  $\mu\text{g/L}$ , com desvio padrão de 5,6. Igual a média obtida para o THM instantâneo na água ozonizada, 17,8  $\mu\text{g/L}$ . A Figura 2 permite afirmar que não houve redução da concentração de THM na água ozonizada. Portanto o processo de oxidação por ozônio não foi efetivo na remoção de THM, resultado que já era esperado.

As Figuras 3 a 6 apresentam os valores de THM instantâneo obtidos para as amostras afluente e efluente aos filtros 1 ao 4 (n=38).





**Figura 5 – Concentrações de THM instantâneo para as águas afluentes e efluente do Filtro 3**

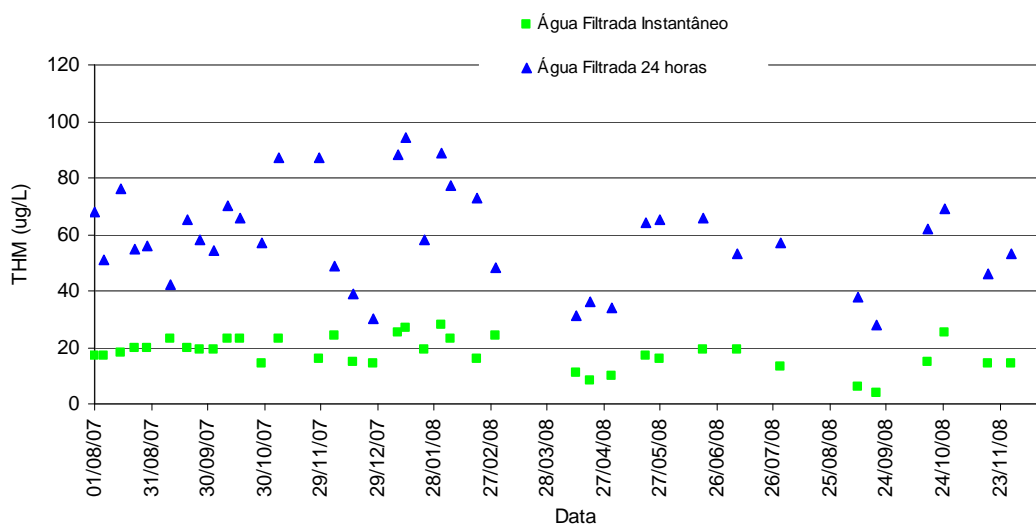


**Figura 6 – Concentrações de THM instantâneo para as águas afluentes e efluente do Filtro 4**

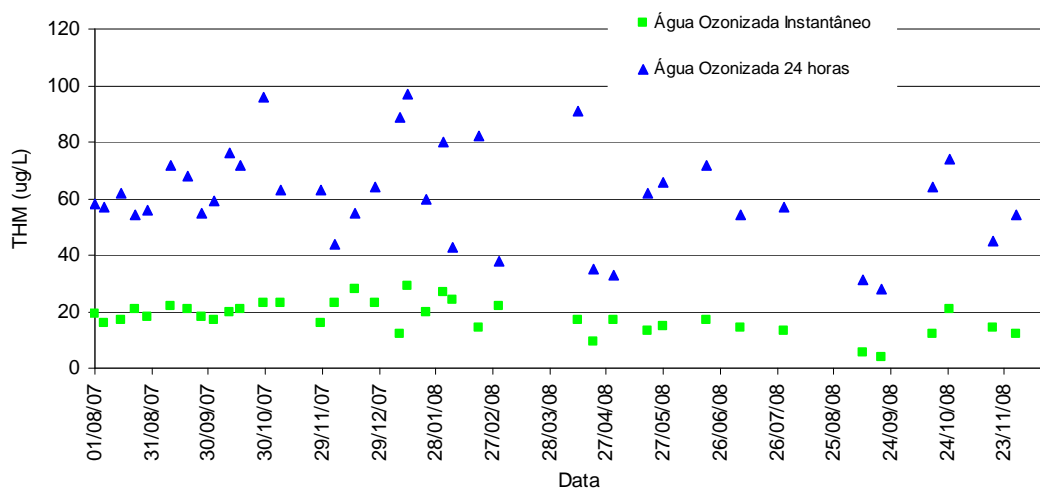
Observa-se, a partir das Figuras 3 a 6 que foi significativa a remoção de THM pelos filtros nos três primeiros meses de operação, o que mostra um maior poder de adsorção no início de operação para os dois carvões estudados, com maior eficiência para o carvão de origem mineral.

A partir do quarto mês de operação observa-se que é reduzida a remoção de THM pelos filtros adsorvedores, o que mostra uma possível saturação do leito adsorvedor por compostos orgânicos ou qualquer outro composto presente na água.

As Figuras 7 e 8 ilustram os valores de THM instantâneo e 24 horas, obtidos para as águas filtrada e filtrada ozonizada, respectivamente (n=38).



**Figura 7 – Concentrações de THM instantâneo e THM 24 horas para a água filtrada**



**Figura 8 – Concentrações de THM instantâneo e THM 24 horas para a água ozonizada**

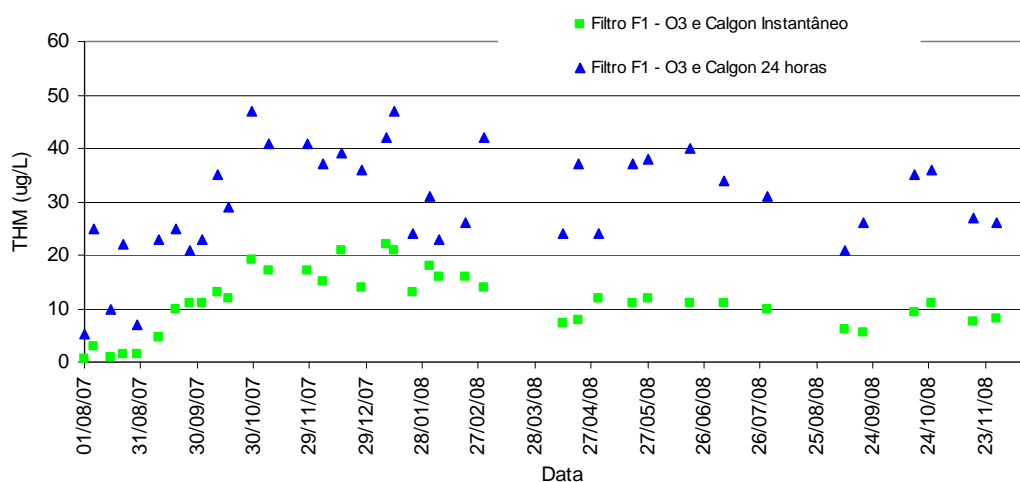
A partir da observação das Figuras 7 e 8 pode-se inferir que após a cloração da água filtrada ozonizada houve um acréscimo na concentração de THM após um tempo de contato de 24 horas. As concentrações de THM na água filtrada ozonizada são facilmente explicadas, pois a ETA ABV utiliza a pré-cloração para garantir o controle da qualidade microbiana nas unidades do processo de tratamento e assegurar a remoção de ferro e manganês presentes na água bruta.

Os valores de THM instantâneo foram idênticos para as águas filtrada e ozonizada ( $17,8 \mu\text{g/L} \pm 5,6 \mu\text{g/L}$ ), e similares para THM 24 horas, sendo  $58,9 \mu\text{g/L} \pm 17,5 \mu\text{g/L}$  e  $61,3 \mu\text{g/L} \pm 17,2 \mu\text{g/L}$ , respectivamente para as águas filtrada e ozonizada, o que corresponde a um acréscimo de 252% para a água filtrada e 275% para a água ozonizada. Deste modo, percebe-se que a ozonização não influenciou na remoção do THM e teve interferência desprezível no acréscimo da concentração após ajuste do cloro e pH e tempo de contato de 24 horas.

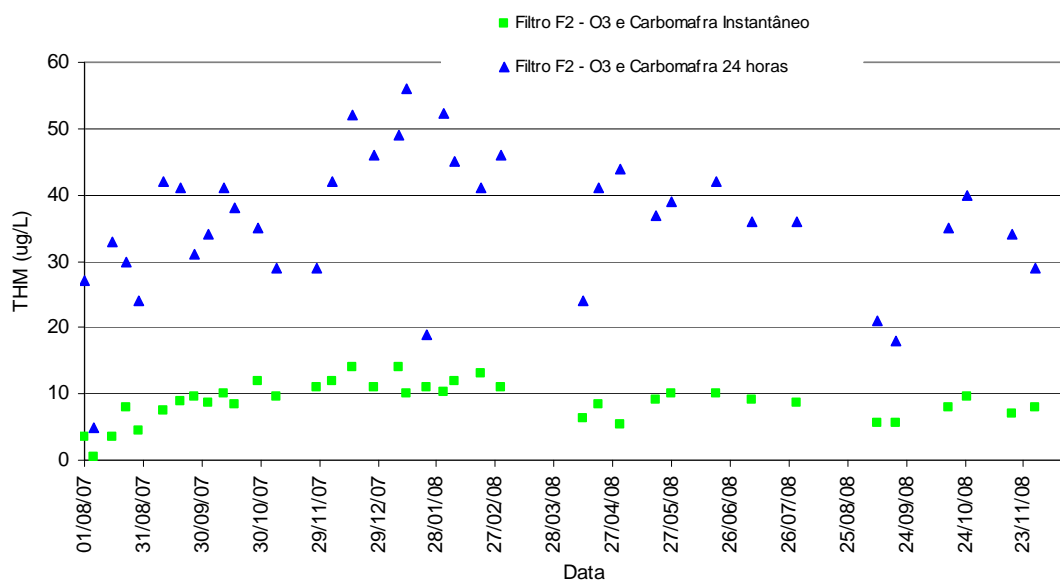




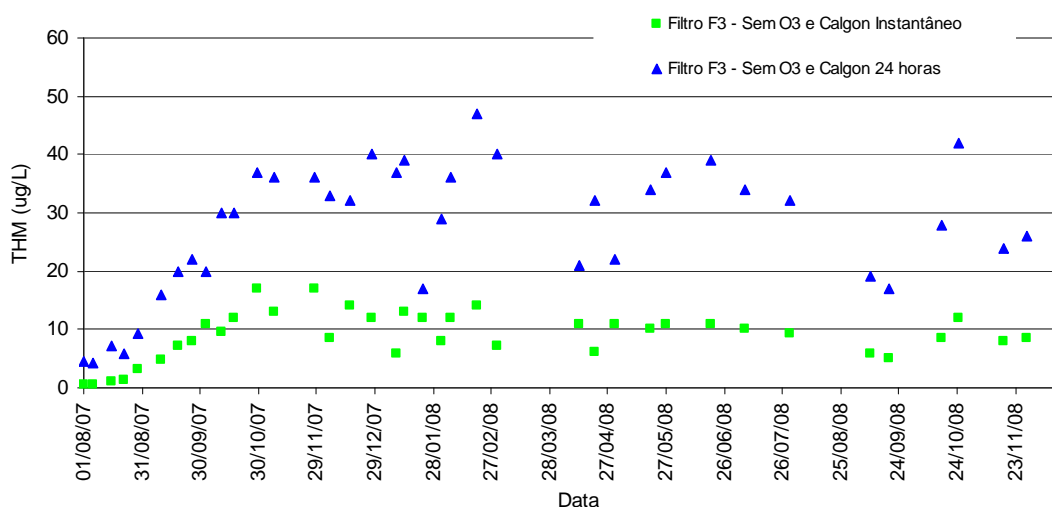
As Figuras 9 a 12 ilustram os valores de concentração média de THM instantâneo e 24 horas obtidos no efluente dos filtros 1 ao 4, respectivamente (n=38).



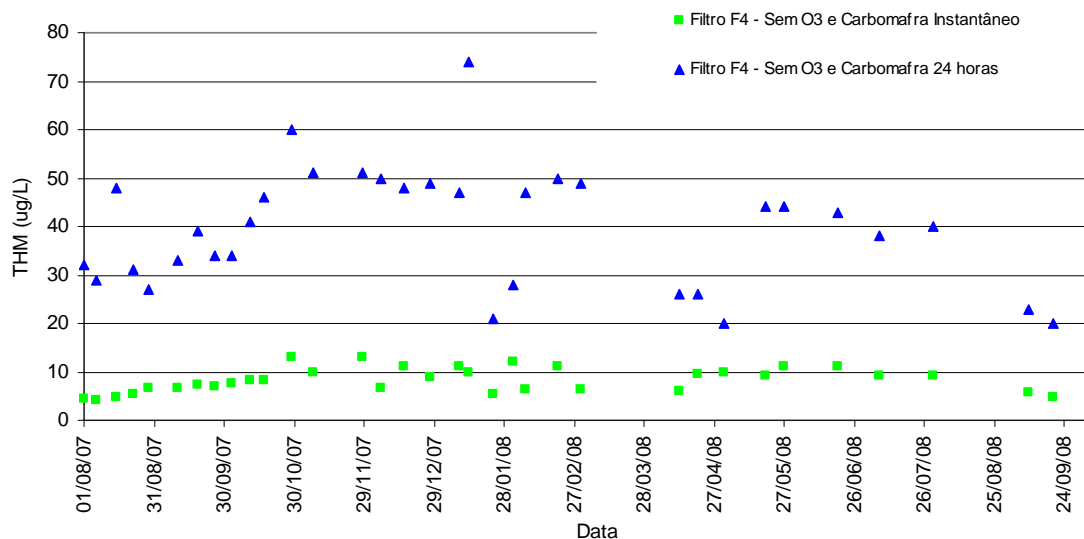
**Figura 9 – Concentrações de THM instantâneo e THM 24 horas para o efluente do filtro 1**



**Figura 10 – Concentrações de THM instantâneo e THM 24 horas para o efluente do filtro 2**



**Figura 11 – Concentrações de THM instantâneo e THM 24 horas para o efluente do filtro 3**



**Figura 12 – Concentrações de THM instantâneo e THM 24 horas para o efluente do filtro 4**

As concentrações de THM 24 horas foram superiores aos respectivos valores instantâneos para os filtros adsorvedores de 1 ao 4, apresentando média de 321 % de acréscimo de THM após 24 horas. Este comportamento reforça o caráter cinético do processo de formação de THM mencionado por MARMO (2006), que afirma que a formação de THM em condições naturais não é instantânea.

As concentrações médias de THM instantâneo e THM 24 horas para o filtro 1 foram  $11,1 \mu\text{g/L} \pm 5,7 \mu\text{g/L}$  e  $29,9 \mu\text{g/L} \pm 10,1 \mu\text{g/L}$ , respectivamente, resultando num acréscimo de 279%.

Os valores médios de acréscimo da concentração de THM 24 horas nos efluentes dos filtros 1 ao 4 são apresentados na Tabela 2 (n=38).

**Tabela 2 – Concentração e acréscimo de THM 24 horas nos efluentes dos filtros 1 ao 4**

Ponto de Amostragem	THM 24 horas ( $\mu\text{g/L}$ )	Acréscimo (%)
Filtro 1 - $\text{O}_3$ e CALGON	29,9	279%
Filtro 2 - $\text{O}_3$ e CARBOMAFRA	35,9	348%
Filtro 3 - Sem $\text{O}_3$ e CALGON	27,2	261%
Filtro 4 - Sem $\text{O}_3$ e CARBOMAFRA	39,1	396%

A remoção de THM instantâneo no filtro 1 durante todo o período de teste foi de 33%. Apesar de ter ocorrido a remoção parcial de THM e de seus precursores, esta remoção não foi suficiente para garantir a ausência de THM no efluente do filtro 1. Comportamento similar foi observado nos demais filtros.

A Tabela 3 apresenta a média de concentração e a média da remoção de THM 24 horas nos afluentes e efluentes dos filtros 1 a 4 para todo o período de teste ( $n=38$ ).

**Tabela 3 – Concentração e valor médio de remoção de THM 24 horas das águas filtrada, ozonizada e efluentes dos filtros para todo o período de teste**

Ponto de Amostragem	THM 24 horas ( $\mu\text{g/L}$ )	Remoção (%)
Água Filtrada	58,9	-
Água Ozonizada	61,3	-
Filtro 1 - $\text{O}_3$ e CALGON	29,9	48%
Filtro 2 - $\text{O}_3$ e CARBOMAFRA	35,9	37%
Filtro 3 - Sem $\text{O}_3$ e CALGON	27,2	50%
Filtro 4 - Sem $\text{O}_3$ e CARBOMAFRA	39,1	31%

O valor médio de remoção de THM 24 horas para o filtro 1 foi de 48%, sendo que as concentrações médias encontradas no afluente foi de  $61,3 \mu\text{g/L} \pm 17,2 \mu\text{g/L}$  (água ozonizada) e no efluente  $29,9 \mu\text{g/L} \pm 10,1 \mu\text{g/L}$ . O filtro 2 apresentou remoção de THM 24 horas de 37%, sendo que as concentrações médias encontradas no afluente foi de  $61,3 \mu\text{g/L} \pm 17,2 \mu\text{g/L}$  (água ozonizada) e no efluente  $35,9 \mu\text{g/L} \pm 10,5 \mu\text{g/L}$ .

Ressaltando que os filtros 1 e 2 são alimentados com a mesma água (ozonizada), a melhor eficiência de remoção do filtro 1 é explicada pela diferença no meio filtrante, uma vez que o filtro 1 foi montado com carvão de origem mineral, fornecido pela CALGON, e o filtro 2 com carvão de origem vegetal, fornecido pela CARBOMAFRA, confirmando a melhor eficiência do carvão de origem mineral para as condições do teste.

O filtro 3 apresentou média de remoção de THM 24 horas de 50%, valor similar ao obtido com o filtro 1 que tem a mesma composição de leito filtrante com carvão de origem mineral. As concentrações médias de THM 24 horas no afluente (água filtrada) foi de  $58,9 \mu\text{g/L} \pm 17,5 \mu\text{g/L}$  e no efluente de  $27,2 \mu\text{g/L} \pm 11,4 \mu\text{g/L}$ .

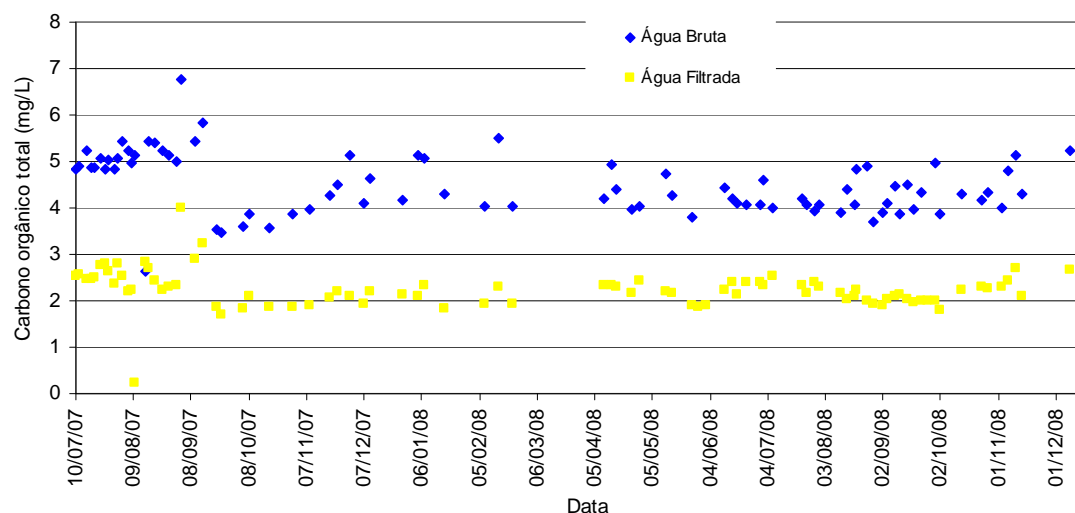
O filtro 4 apresentou comportamento similar ao filtro 2, ambos montados com carvão de origem vegetal. A média da remoção de THM 24 horas foi de 31% e as concentrações de THM 24 horas no afluente e efluente foram de  $58,9 \mu\text{g/L} \pm 17,5 \mu\text{g/L}$  (água filtrada) e  $39,1 \mu\text{g/L} \pm 12,1 \mu\text{g/L}$ , respectivamente.

A média de remoção de THM 24 horas foi de 48% e 50% para os filtros 1 e 3 e de 37 e 31% para os filtros 2 e 4, confirmando a maior eficiência na remoção de THM pelo leito adsorvedor composto por carvão ativado de origem mineral comparado ao carvão ativado de origem vegetal.

### Remoção de Carbono Orgânico Total (COT)

Com o objetivo de avaliar a eficiência de remoção de COT e seu impacto na saturação dos dois tipos de carvão utilizados, foram monitoradas as concentrações de COT nas águas bruta, filtrada, ozonizada e efluente dos quatro filtros.

A Figura 13 mostra os valores de COT obtidos nas águas bruta e filtrada durante a operação dos filtros no período de julho de 2007 até dezembro de 2008 (n=87).

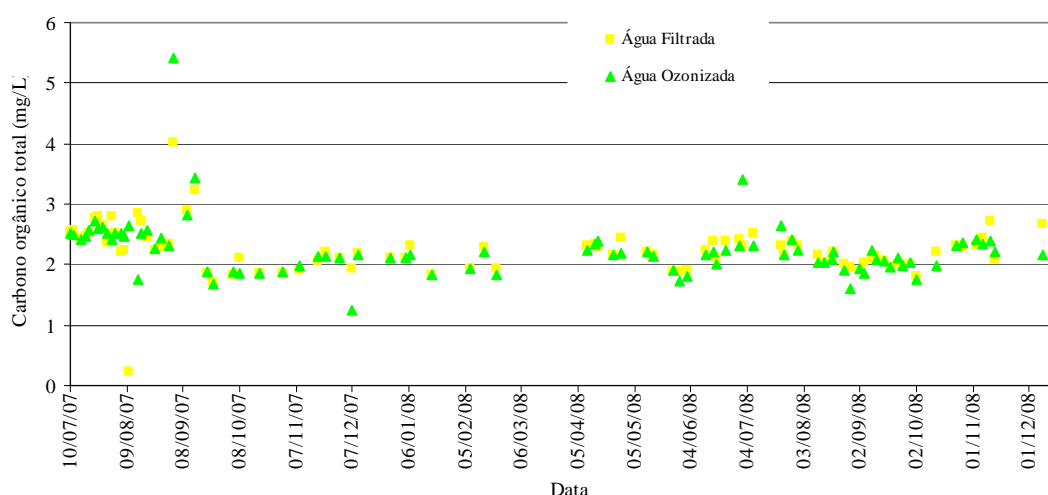


**Figura 13 – Concentrações de COT nas águas bruta e filtrada**

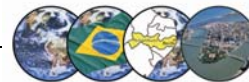
No período avaliado, a concentração de COT na água bruta foi  $4,50 \pm 0,64$  mg/L, e na água filtrada foi de  $2,24 \pm 0,41$  mg/L.

A média de remoção de COT no processo de tratamento da ETA ABV foi de 50%, o que mostra a boa eficiência do processo de coagulação por varredura na remoção de COT. É importante ressaltar que no período avaliado a ETA ABV operou com sulfato férrico como coagulante, com dosagem na faixa de 32 a 35 mg/L e pH entre 5,9 e 6,2.

A Figura 14 mostra os valores de COT obtidos nas águas filtrada e filtrada ozonizada (n=87).

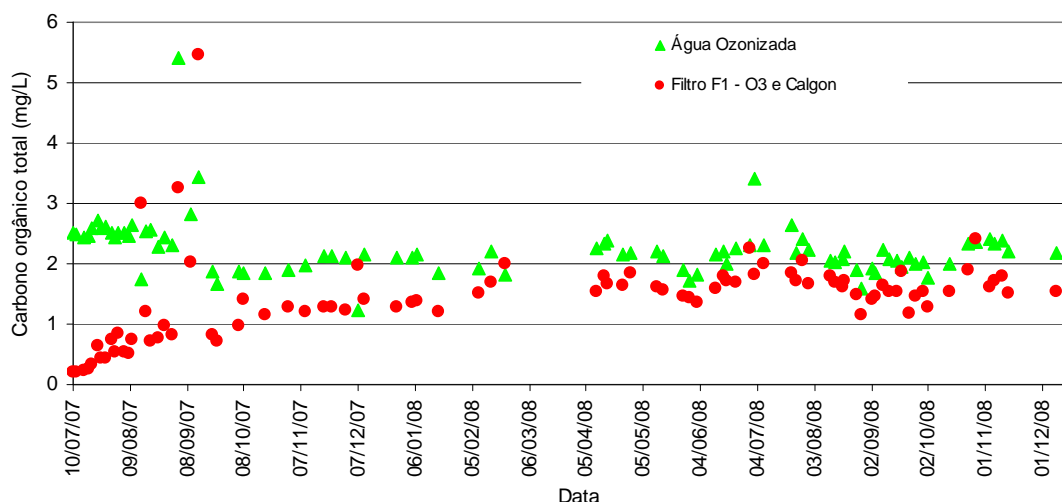


**Figura 14 – Concentrações de COT nas águas filtrada e ozonizada**



O COT da água filtrada ozonizada foi  $2,24 \pm 0,48$  mg/L, no período estudado. Comparando a concentração de COT na água ozonizada com a concentração de COT na água filtrada ( $2,24 \pm 0,41$  mg/L), pode-se afirmar que a ozonização não foi efetiva na remoção de COT. Este resultado era esperado, uma vez que a oxidação por ozônio pode resultar na alteração da cadeia molecular de compostos orgânicos, inclusive com a formação de compostos com menor peso molecular, mas não é efetivo na oxidação completa destes compostos.

As Figuras 15 apresentam a evolução da concentração de COT no afluente e efluente dos filtros 1 ao 4 (n=87).



**Figura 15 – Concentrações de COT nas águas afluente e efluente do Filtro 1**

De modo similar ao observado na remoção de THM, a remoção de COT foi superior no início de operação dos filtros, com resultados de concentração de COT próximos a 0 nos primeiros dias de operação.

Analisando a evolução da concentração de COT no tempo, observa-se que os mesmos tenderam ao valor do COT afluente, apontando para a saturação do leito de GAC. A partir de março de 2008, os valores de COT efluente foram muito próximos aos valores do afluente, indicando uma vida útil do leito adsorvedor de aproximadamente 9 meses.

O COT efluente do filtro 1 foi  $1,43 \pm 0,72$  mg/L no período avaliado. A remoção média de COT no filtro 1 foi de 39%, para obtenção deste resultado de remoção foram descartados os valores de remoção negativa, que podem estar associados a problemas na amostragem, metodologia ou análise de COT.

O filtro 2 apresentou concentração média de COT no efluente de  $1,93 \pm 0,87$  mg/L e remoção de 20%, o que indica menor eficiência de remoção comparado ao filtro 1. É importante ressaltar que o filtro 2 foi montado com carvão de origem vegetal, confirmando sua menor eficiência comparado ao filtro 1, com carvão de origem mineral.

O comportamento do filtro 3 foi bastante similar ao do filtro 1. O material utilizado no leito filtrante era o mesmo, porém o afluente era diferente (água filtrada para o filtro 3 e água filtrada e ozonizada para o filtro 1), comprovando que a ozonização não proporciona melhora significativa na adsorção e remoção de COT. A concentração média de COT no efluente do filtro 3 foi de  $1,63 \pm 1,15$  mg/L e remoção de 33%.

A concentração de COT efluente ao filtro 4 foi de  $2,15 \pm 0,97$  mg/L, e a média de remoção de COT de 13%, com comportamento similar ao comportamento do filtro 2.



Observou-se que para os mesmos materiais adsorvedores, a despeito da aplicação ou não de ozônio na água filtrada, o padrão de remoção de COT foi muito similar, apresentando pequena melhora na remoção de COT nos filtros que foram alimentados com água ozonizada.

Uma comparação entre os resultados obtidos com os filtros 3 e 4, mostrou que, analogamente aos filtros 1 e 2, o CAG da CALGON, de origem mineral, apresentou um comportamento melhor com relação a remoção de COT, comparado ao CAG da CARBOMAFRA, de origem vegetal. Comportamento similar ao obtido na remoção de THM.

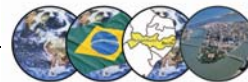
Apesar de todos os filtros adsorvedores terem atingido a saturação com respeito a remoção de compostos orgânicos precursores, como foi avaliado pelas análises de COT, foi mantida uma pequena remoção de THM, o que pode ser explicado por uma possível atividade biológica no leito de CAG.

Conclui-se, portanto que a vida útil do leito adsorvedor não pode ser baseada exclusivamente no COT, e esta aplicação deveria ser otimizada a partir de parâmetros indicativos para cada aplicação específica.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos na realização dos ensaios na ETA Piloto ABV, é possível concluir que:

- 93% do THM é formado nas primeiras 24 horas, simulando a pós cloração e pós alcalinização da ETA ABV nas amostras de água filtrada, ozonizada, e efluente dos pós-filtros adsorvedores;
- O processo de oxidação por ozônio não foi efetivo na remoção de THM. A média dos 38 valores de THM instantâneo para a água filtrada (17,8 µg/L, com desvio padrão de 5,6) foi igual a média obtida para o THM instantâneo na água ozonizada;
- A remoção de THM pelos filtros de CAG foi mais significativa nos primeiros três meses de operação do sistema, o que mostra um maior poder de adsorção no início de operação para os dois carvões estudados;
- Os pós-filtros adsorvedores constituídos de carvão ativado granular de origem mineral apresentaram melhor comportamento com respeito a remoção de THM e COT quando comparado com os pós-filtros dotados de carvão ativado de origem vegetal;
- Apesar da redução de eficiência na remoção do THM pelos filtros com a saturação do carvão, existe remoção de THM e COT após este período, o que indica uma possível regeneração do carvão por atividade biológica no leito filtrante;
- As concentrações de THM 24 horas foram superiores aos respectivos valores instantâneos para os filtros adsorvedores de 1 ao 4, reforçando o caráter cinético do processo de formação de THM. A média de acréscimo de THM após 24 horas foi de 321 %;
- A média de remoção de COT no processo de tratamento da ETA ABV foi de 50%, o que mostra a boa eficiência do processo de coagulação por varredura na remoção de COT. É importante ressaltar que no período avaliado a ETA ABV operou com sulfato férrico como coagulante, com dosagem na faixa de 32 a 35 mg/L e pH entre 5,9 e 6,2;
- A ozonização não foi efetiva na remoção de COT visto que a média das concentrações de COT encontradas para a água filtrada ( $2,24 \pm 0,41$  mg/L) foi igual a média de COT na água ozonizada ( $2,24 \pm 0,48$  mg/L);
- De modo similar ao observado na remoção de THM, a remoção de COT foi superior no início de operação dos filtros, com resultados de concentração de COT próximos a 0 nos primeiros dias de operação;
- A evolução da concentração de COT no tempo indica que a vida útil do leito adsorvedor é de aproximadamente 9 meses;



- A vida útil do leito adsorvedor não pode ser baseada exclusivamente no COT, e esta aplicação deveria ser otimizada a partir de parâmetros indicativos para cada aplicação específica.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BELLAR, T.A., LICHTENBERG, J.J., KRONER, R.C. The occurrence of organohalides in chlorinated drinking waters. Journal American Water Works Association, v.66, n.12. p. 703-706. December 1974.
2. FERREIRA FILHO, S.S. Aplicação de Sistemas pós-filtros adsorvedores de carvão ativado granular na remoção de compostos orgânicos causadores de gosto e odor em águas de abastecimento. Projeto Auxílio Pesquisa FAPESP. ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. São Paulo, Brasil. 2005.
3. MARMO, C. R., SANTOS, B. V. A. P., Formação de trihalometanos em águas de abastecimento tratadas na pré-oxidação com cloro livre. Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Noviembre 2006. Punta del Este, Uruguay.
4. MELNICK, R.L. Toxicology and carcinogenesis studies of bromodichloromethane. Washington, D.C.: U.S. Department of Health and Human Services, 1987. 182p.
5. MELNICK, R.L. Toxicology and carcinogenesis studies of tribromomethane. Washington, D.C.: U.S. Department of Health and Human Services, 1989. 194p.