

## I-123 - FIBRA DE CARBONO ATIVADA PARA ADSORÇÃO DE COMPOSTOS CAUSADORES DE GOSTO E ODOR NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

### Allan Saddi Arnesen<sup>(1)</sup>

Engenheiro do Departamento de Execução de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

### Patrícia Soares Silva

Química da Divisão de Tratamento de Água da ETA ABV da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

### Jossano Saldanha Marcuzzo

Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Professor de ensino superior da Faculdade de Tecnologia (FATEC) do Estado de São Paulo, São José dos Campos.

### Angelino Aniello Saullo

Gerente da Divisão de Tratamento de Água da ETA ABV da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

### Marcelo Kenji Miki

Gerente do Departamento de Execução de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Costa Carvalho, 300, Prédio da Prefeitura – piso superior – Pinheiros – São Paulo – SP - CEP: 05429-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-9541 - Fax: +55 (11) 3388-8695 - e-mail: [aarnesen@sabesp.com.br](mailto:aarnesen@sabesp.com.br).

### RESUMO

Os eventos de florações de algas nos reservatórios implicam, em algumas situações, na liberação de compostos orgânicos causadores de gosto e odor na água de difícil remoção no tratamento de água convencional. Uma das abordagens capazes de remover estes compostos orgânicos é a adsorção, sendo em geral utilizado o carvão ativado em pó (CAP). Entretanto, há atualmente materiais sintéticos, como a Fibra de Carbono Ativada, que apresentam maior capacidade de adsorção e cinética de remoção mais rápida do que o CAP para moléculas de pequenas proporções, como o MIB e a geosmina. O presente trabalho apresenta um estudo detalhado da aplicação da FCA-feltro à adsorção de MIB e geosmina, com testes de bancada e início de testes em unidade piloto. Em todos os testes realizados em bancada observou-se a maior capacidade de adsorção da FCA-feltro do que o CAP. Por meio da análise das isotermas de adsorção dos materiais avaliados constatou-se que a diferença é da ordem de 4 vezes. Outra vantagem da FCA-feltro é sua cinética mais rápida de adsorção dos compostos de interesse (MIB e geosmina). Nos primeiros testes no piloto, simulando as calhas coletoras dos decantadores, verificou-se que a eficiência de remoção de MIB foi baixa (inferior a 25%) e que em um tempo curto (menos de 30 minutos de fluxo contínuo) a remoção passou a ser muito pequena. O resultado positivo destes testes em piloto foi a efetividade da regeneração térmica em recuperar a capacidade de adsorção do material FCA-feltro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gosto e Odor, MIB, Geosmina, Adsorção, Fibra de Carbono Ativada.

### INTRODUÇÃO

Um dos efeitos das proliferações de algas nos mananciais de abastecimento de água são os compostos orgânicos dissolvidos causadores de gosto e odor na água. O 2-metilisoborneol (MIB) e a trans-1,10-dimetil-trans-9-decalol (geosmina) são dois destes compostos que apresentam característica de difícil remoção no tratamento de água. Os processos convencionais de tratamento de água não são capazes de remover estes compostos a níveis imperceptíveis pela população.

A adsorção é um dos processos que pode reter estes compostos orgânicos dissolvidos da água. Em geral, o carvão ativado em pó (CAP) é o material mais utilizado para remover estes compostos de grandes sistemas de

produção de água de abastecimento. Contudo, a eficiência deste processo é dependente das características de contato do material adsorvente com a água, principalmente em termos de tempo de reação e agitação.

Quando não se tem disponível o tempo de contato suficiente para proporcionar elevadas eficiências de remoção, o processo de adsorção com CAP não é eficaz em reduzir as concentrações de MIB e geosmina a níveis imperceptíveis pela população.

Neste contexto, há atualmente materiais sintéticos, como a Fibra de Carbono Ativada (FCA) (MARCUIZZO, 2012), que apresentam maior capacidade de adsorção e cinética de remoção mais rápida do que o CAP para moléculas de pequenas proporções, como o MIB e a geosmina. Isto ocorre, principalmente, porque os poros de menores dimensões estão presentes na superfície do material, enquanto que no caso do CAP as pequenas moléculas tem que percorrer um maior trajeto para se fixarem nos poros menores.

Existem diversos tipos de FCA, dependendo da matéria prima utilizada e do processo de ativação aplicado. Silva et al. (2016) fizeram uma investigação inicial de qual tipo melhor se aplicava à adsorção do MIB e determinaram que a FCA denominada Feltro apresentava capacidade de adsorção superior a outros seis materiais aplicados, além de também ser mais eficiente do que o CAP.

Assim, o presente trabalho apresenta um estudo detalhado da aplicação da FCA-feltro à adsorção de MIB e geosmina, com testes de bancada e início de testes em unidade piloto.

## OBJETIVO

Avaliar as características de adsorção da FCA-feltro para remoção dos compostos MIB e geosmina da água de abastecimento, por meio de testes em bancada e unidade piloto.

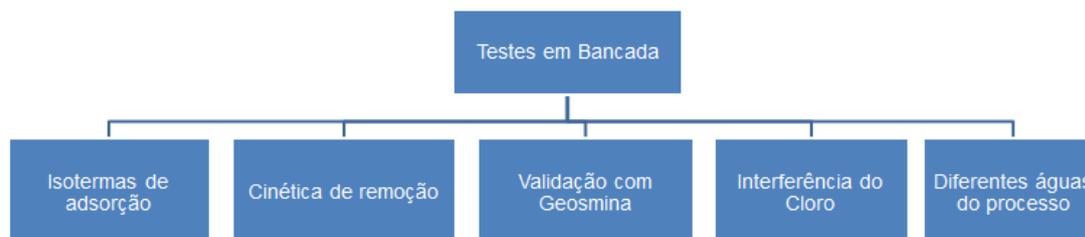
## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi dividido em duas etapas principais: Testes em bancada e Testes em unidade Piloto. Os testes foram conduzidos na ETA Rodolfo José da Costa e Silva (RJCS), do Sistema de Produção Guarapiranga, em São Paulo (SP).

### *Testes em Bancada*

O escopo dos Testes em Bancada está apresentado na Figura 1. Os objetivos e métodos de cada etapa estão apresentados na Tabela 1.

Destaca-se que na maioria dos testes foram aplicadas concentrações de MIB e Geosmina muito superiores às que geralmente ocorrem em eventos de gosto e odor no Sistema Guarapiranga (com base em dados históricos: 420 ng/L para MIB e 270ng/L para Geosmina).



**Figura 1: Escopo dos testes realizados em bancada para estudo da FCA-Feltro na adsorção de MIB/Geosmina.**

**Tabela 1: Síntese dos objetivos e métodos das etapas de testes em bancada para estudo da FCA-Feltro na adsorção de MIB/Geosmina.**

<b>Etapa</b>	<b>Objetivo(s)</b>	<b>Água(s) utilizada(s)</b>	<b>Composto causador de gosto e odor e sua concentração inicial (inoculada)</b>	<b>Breve descrição do método</b>
Isotermas de adsorção	Determinar a capacidade de adsorção dos materiais FCA-feltro ou CAP e as massas necessárias para remover certa concentração de adsorvato (MIB).	Ultrapura	MIB: de 8 a 28.770 ng/L	Pesagem de 10 mg em erlenmeyers dos materiais adsorventes; Adição destas massas em erlenmeyers (125mL) com água ultrapura com MIB, onde permaneciam em agitação ( $\approx$ 120RPM) por 24h (tempo de contato até equilíbrio); Análises das concentrações de MIB inicial e final.
Cinética de remoção	Determinar a velocidade de reação dos materiais adsorventes (FCA e CAP) com o adsorvato (MIB), mantendo fixa a concentração de MIB e variando o tempo de contato.	Ultrapura	MIB: 7.415 e 14.155 ng/L	Pesagem de 10 mg em erlenmeyers dos materiais adsorventes; Adição destas massas em erlenmeyers (125mL) com água ultrapura com MIB, onde permaneciam em agitação ( $\approx$ 120RPM) por tempos diferentes (de 0min, 5min, 10min, 20min, 40min, 1h30min, 3h, 6h, 8h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 22h, e 24h). Análises das concentrações de MIB inicial e final.
Validação com Geosmina	Comparar a eficiência de remoção de MIB e de Geosmina nas mesmas condições de teste, já que a literatura técnica-científica afirma que a remoção de Geosmina é mais simples do que o MIB da água.	Ultrapura	Geosmina: 17.085 ng/L	Mesmo procedimento adotado para avaliar a cinética de remoção de MIB ao longo de 6 horas de teste.

**Tabela 1: Síntese dos objetivos e métodos das etapas de testes em bancada para estudo da FCA-Feltro na adsorção de MIB/Geosmina (continuação).**

Etapa	Objetivo(s)	Água(s) utilizada(s)	Composto causador de gosto e odor e sua concentração inicial (inoculada)	Breve descrição do método
Interferência do cloro	Avaliar a interferência do cloro nos processos de remoção de MIB por adsorção dos materiais FCA-feltro e CAP.	Ultrapura	MIB: 17.835 ng/L	Pesagem de 20 mg em erlenmeyers dos materiais adsorventes; Preparação de soluções de concentrações de NaOCl (0,83 mg/L e 2,09 mg/L) e adição das massas de adsorventes em erlenmeyers (250mL) com água ultrapura com MIB, onde permaneciam em agitação de 1,5, 2,5 e 30min. Análises das concentrações de MIB inicial e final.
Diferentes águas do processo de tratamento	Determinar a capacidade de remoção de MIB dos adsorventes (FCA e CAP), para diferentes águas do processo.	Bruta, Decantada e Filtrada da ETA	MIB: 12.500 ng/L	Mesmo procedimento do teste de interferência do cloro (em termos de massas de adsorventes e tempos de contato), mas sem aplicação de cloro adicional.

#### Testes em Piloto

Com base nos resultados dos testes de bancada, buscou-se na ETA um local onde o material, em forma têxtil e regenerável, pudesse ser aplicado atendendo às seguintes premissas:

- A adoção da FCA não influenciasse na hidráulica das unidades do processo de tratamento convencional da ETA;
- Não fosse necessária a parada prolongada (por mais de um dia) da unidade onde o material fosse instalado;
- O tempo de detenção hidráulico (TDH) não fosse tão curto, de forma a garantir o contato da FCA com a água por um tempo mínimo de 1,5 min.

Optou-se por simular as calhas coletoras dos decantadores (Figura 2), pois nestas unidades a vazão é de aproximadamente 0,29 m<sup>3</sup>/s, conforme cálculos abaixo.

$$Q_{ETA} = 14m^3/s \xrightarrow{8 \text{ decant.}} Q_{Dec} = 1,75m^3/s \xrightarrow{6 \text{ calhas/dec.}} Q_{Calha} = 0,29 m^3/s$$



Figura 2: Calhas coletoras dos decantadores da ETA RJCS.

Cada calha tem as seguintes dimensões: 0,7m (largura) X 1 m (altura) X 43m (comprimento). Embora a entrada de água decantada nesta unidade ocorra ao longo de praticamente todo seu comprimento e, considerando uma altura de lâmina d'água dentro da calha de 0,95 m, pode-se estimar um TDH médio através dos seguintes cálculos:

$$Volume_{calha} = 28,5m^3$$

$$TDH = \frac{Volume_{calha}}{Q_{calha}} = \frac{28,5m^3}{0,29m^3/s} \approx 98 \text{ segundos}$$

Esta calha foi simulada em modelo reduzido, escala 1:10, sendo a Calha Coletora inserida em um Canal Externo (simulando o decantador), conforme croqui apresentado na Figura 3.

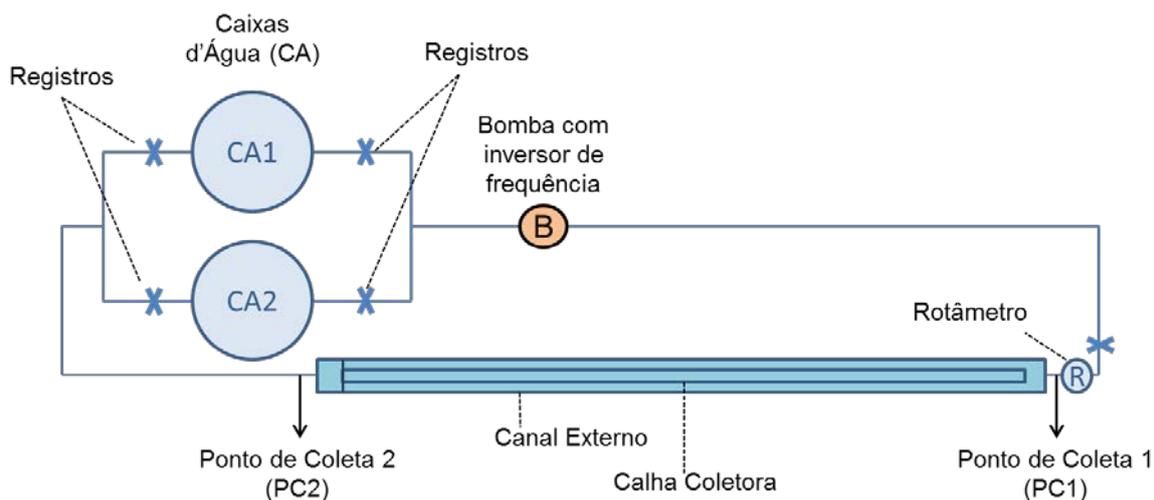


Figura 3: Croqui da unidade piloto utilizado para teste da FCA.

A seguir estão descritas as unidades que compõe a unidade piloto:

- 1 (um) Canal Externo de acrílico (espessura 10 mm) com dimensões 0,15 m X 0,20 m X 4,40 m, com cuba na extremidade de saída da água;
- 1 (uma) Calha Coletora de acrílico (espessura 5 mm) com dimensões 0,07 m X 0,10 m X 4,30 m, a ser acoplada dentro do Canal Externo;
- 2 (duas) caixas d'água de 500 Litros de capacidade;
- Bomba centrífuga com inversor de frequência para ajuste da vazão;
- Rotâmetro para medição da vazão afluente;
- Tubulações, acessórios e registros;
- Pontos de Coletas do afluente (PC1) e efluente (PC2).

A ideia de utilizar duas caixas d'água consistiu em fazer os testes em batelada, circulando a água na unidade piloto de uma calha para outra, assim permitindo estimar as eficiências de adsorção ao longo do teste.

A variável mais importante que se objetivou manter nos ensaios foi o tempo de detenção hidráulico médio na calha coletora, que em escala real é de 97,7 segundos. Considerando a redução da calha coletora em 10 vezes, determinou-se que a vazão do teste piloto deveria ser de aproximadamente 1 m<sup>3</sup>/h, conforme resultados dos cálculos apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Resultados dos cálculos de dimensionamento da unidade piloto.**

Escala Real		Escala Piloto			
Vazão da ETA (processo convencional)	14 m <sup>3</sup> /s				
Vazão de cada decantador	1,75 m <sup>3</sup> /s				
<b>1. Calha Coletora do Decantador</b>		<b>1. Calha Coletora do Decantador</b>			
Vazão de cada calha de coleta de água decantada	0,292 m <sup>3</sup> /s ou 292 L/s	Vazão na calha coletora	0,00028 m <sup>3</sup> /s ou 1000 L/h		
		Escala	1:10		
Comprimento da calha coletora	42,87 m	Comprimento da calha coletora	4,29 m		
Largura da calha coletora	0,7 m	Largura da calha coletora	0,07 m	ou	7 cm
Altura da lâmina d'água na calha coletora	0,9 m	Altura da lâmina d'água na calha coletora	0,09 m	ou	9 cm
Área molhada da calha coletora	0,63 m <sup>2</sup>	Área molhada da calha coletora	0,0063 m <sup>2</sup>		
Velocidade da água	0,46 m/s	Velocidade da água	0,044 m/s		
Volume total de água na calha coletora	27,01 m <sup>3</sup>	Volume total de água na calha coletora	0,02701 m <sup>3</sup>		
Tempo de detenção hidráulico médio na calha	92,60 seg	Tempo de detenção hidráulico na calha	97,23 seg		
Número de Reynolds	116666,67	Número de Reynolds	1111,11		
		Nível d'água no início da calha coletora	0,02104 m		
		Altura da lâmina d'água acima do vertedor retangular	0,01670 m		

Conforme se pode verificar nos resultados, ao reduzir as dimensões em 10 vezes da calha coletora, ocorrem as seguintes consequências:

- Redução da velocidade de escoamento da água em 10 vezes;
- Redução do Número de Reynolds, relacionado à agitação da água, em 100 vezes.

Mesmo com estas consequências, considerou-se que o menor valor do número de Reynolds na água no teste piloto representa uma condição de teste mais conservadora em termos de remoção de MIB e Geosmina pela Fibra, pois quanto maior a agitação, maior o contato da água com o material adsorvente.

Optou-se por dimensionar o canal externo em área transversal semelhante à dos canais de água decantada, possibilitando que posteriormente ele possa ser utilizado para simular esta unidade. As dimensões ficaram em 0,15 cm X 0,20 cm.

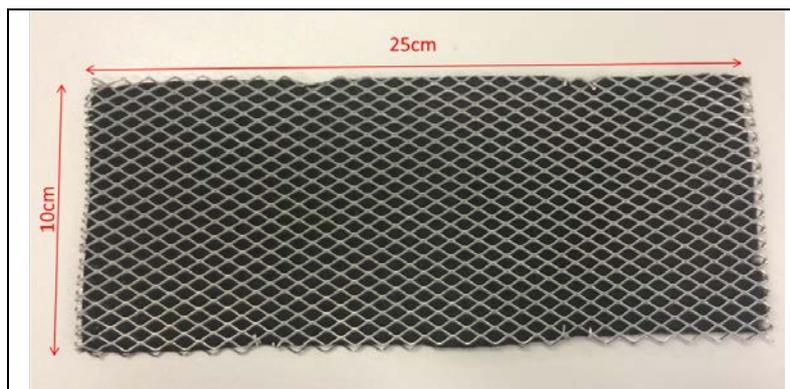
A alimentação de água no Canal Externo deveria ocorrer com baixa turbulência e, para tanto, foi prevista a distribuição através de duas tubulações paralelas perfuradas. A cada 15 cm foram realizadas duas perfurações na parte inferior das tubulações (espaçados 60° entre si), resultando em uma baixa velocidade de saída da água dos orifícios (<0,3 m/s para vazão máxima do teste piloto de 2m<sup>3</sup>/h).

A Figura 4 apresenta fotografias da unidade piloto instalada.



**Figura 4: Unidade piloto instalada no Laboratório de Pesquisa para teste da Fibra de Carbono Ativada.**

O material FCA-feltro encontrava-se disponível na forma têxtil e, portanto, ele foi condicionado entre placas de grades de aço inox, com dimensões de 10cm X 25cm, conforme apresenta a Figura 5.



**Figura 5: Exemplo de Placas de FCA-feltro utilizadas para o teste piloto.**

Foram testadas duas formas de aplicação das placas na calha coletora da unidade piloto:

- Módulo com placas paralelas ao fluxo: em que cada módulo era composto por 10 placas, sendo a água forçada a passar pelo módulo (conforme Figura 6);

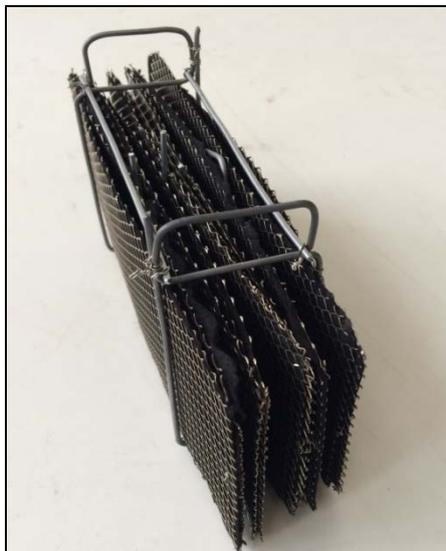


Figura 6: Módulo com placas paralelas ao fluxo.

Placas inclinadas em relação ao eixo da calha: fixadas utilizando prendedores, formando um ângulo de aproximadamente 30° com a parede da calha, forçando o fluxo a ser desviado ao longo da calha coletora (conforme Figuras 7 e 8).

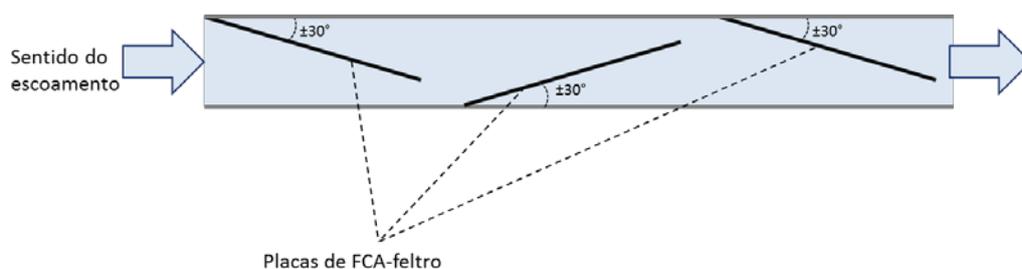
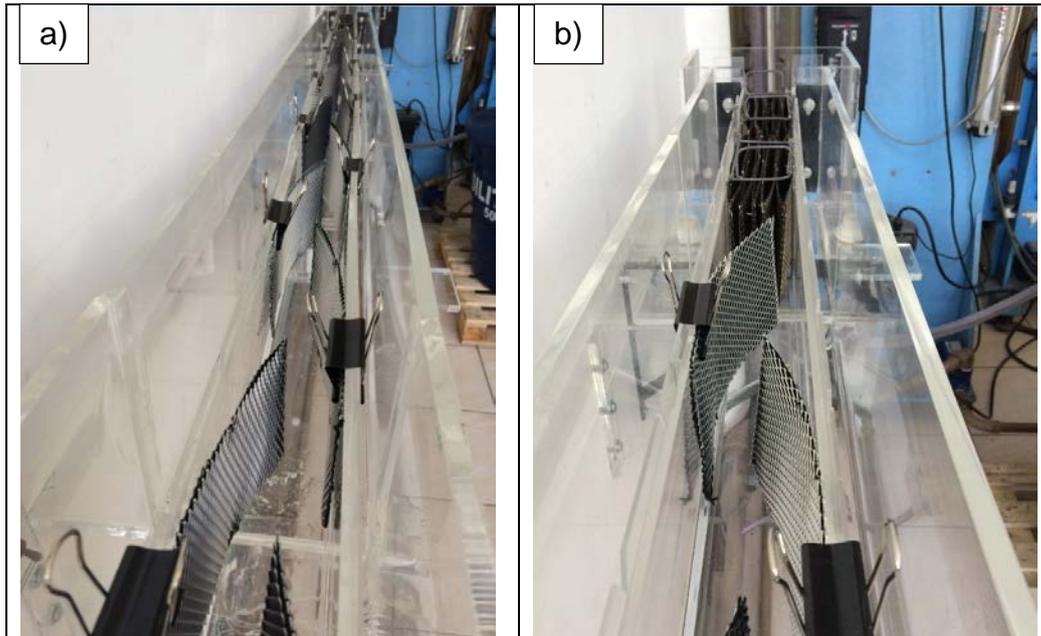


Figura 7: Croqui da aplicação da FCA-feltro no forma de placas inclinadas em relação ao eixo da calha.



**Figura 8: Disposição das placas de FCA-filtro ao longo da calha coletora da unidade piloto, em dois pontos diferentes: a) no início da calha; e b) próximo ao final da calha, aparecendo na fotografia os módulos com placas paralelas ao fluxo de água na calha.**

Os testes foram realizados em duas semanas, sendo suas particularidades apresentadas na Tabela 3. No âmbito deste estudo piloto, foi definido com a nomenclatura “Teste” um conjunto de “Ensaios” em que a água com MIB era preparada apenas uma vez ao seu início. Também no âmbito deste estudo, foi definida como “Ensaio” cada batelada em que a água saía de uma caixa d’água, passava pelo tratamento na calha coletora e enchia a outra caixa d’água.

**Tabela 3: Síntese das características dos testes na unidade piloto para estudo da FCA-Feltro na adsorção de MIB/Geosmina.**

Etapa	Água(s) utilizada(s)	Concentrações de MIB (inoculadas)	Testes/Ensaios
Semana 1	Decantada	A concentração alvo de MIB no início dos testes foi de 600 ng/L, sendo que na prática os resultados dos três testes foram de 669, 519 e 577 ng/L para os testes 1, 2 e 3, respectivamente.	Na Semana 1 foram realizados 3 Testes (com 4 ensaios cada). Ao longo de cada ensaio, foram coletadas amostras para análise de MIB: 1 branco (concentração de MIB na caixa d'água, antes do início do ensaio), 7 amostras do PC1 (afluente) e 7 amostras do PC2 (efluente). Para a vazão de 1000 L/h, o tempo de duração de cada ensaio era de aproximadamente 22 minutos.  Entre os Testes, o material adsorvente era regenerado em estufa a 300°C durante uma hora.
Semana 2	Decantada	A concentração alvo de MIB no início dos testes também foi de 600 ng/L, sendo que na prática os resultados dos três testes foram de 484, 406 e 543 ng/L para os testes 1, 2 e 3, respectivamente.	Na Semana 2 foram realizados 3 Testes, mas com 3 ensaios cada, visando aumentar a quantidade de amostras de cada (1 branco, 7 amostras do PC1 e 7 amostras do PC2). Mesma vazão da Semana 1.  Ao longo de cada ensaio, foram coletadas amostras para análise de MIB: 1 branco (concentração de MIB na caixa d'água, antes do início do ensaio), 7 amostras do PC1 (afluente) e 7 amostras do PC2 (efluente). Para a vazão de 1000 L/h, o tempo de duração de cada ensaio era de aproximadamente 22 minutos. Operação similar à Semana 1.

## RESULTADOS

Nos tópicos a seguir estão apresentados os resultados dos testes em bancada e em unidade piloto.

### *Testes em Bancada*

- Isotermas de adsorção:
  - Com 102 pontos amostrais do teste com CAP e 138 do teste com FCA-feltro, foram ajustados modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich para os materiais adsorventes, respectivamente (Figura 9);

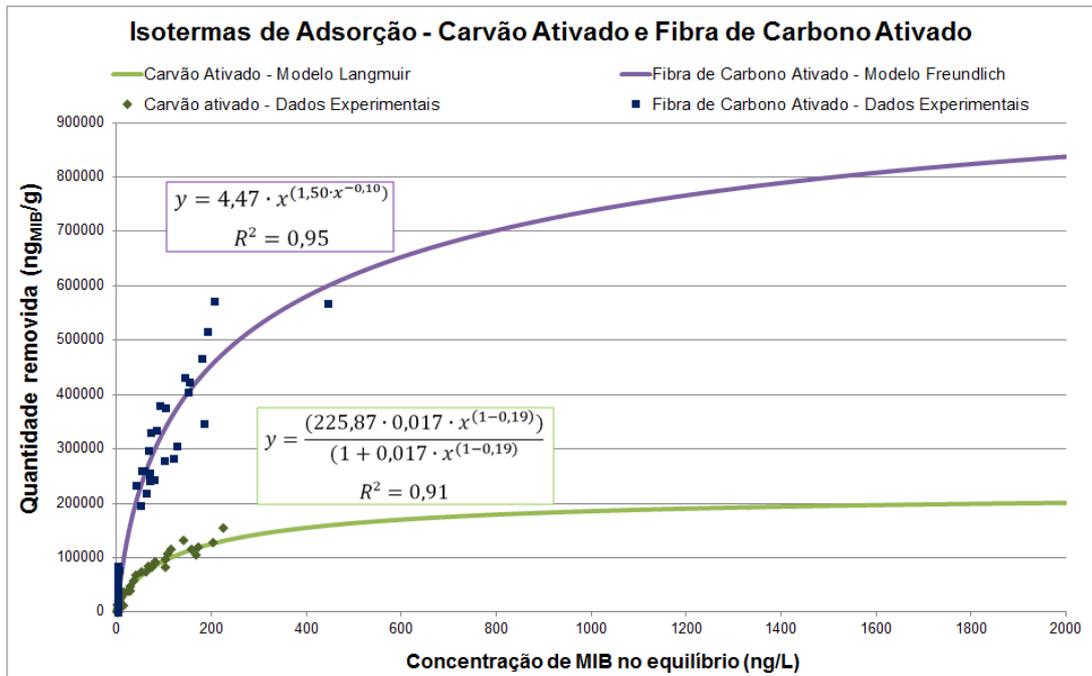


Figura 9: Isotermas de adsorção de MIB utilizando CAP e FCA-feltro (dados experimentais e modelos ajustados).

- Verificou-se que a saturação do CAP foi de aproximadamente 140.000 ng<sub>MIB</sub>/g, enquanto que a saturação da Fibra de Carbono Ativado é de cerca de 600.000 ng<sub>MIB</sub>/g. Ou seja, a FCA-feltro é cerca de quatro vezes mais eficiente do que o CAP em termos de capacidade de adsorção de MIB.
- Cinética de remoção:
  - Os gráficos das Figuras 10 e 11 apresentam os resultados dos Testes de Cinética de remoção de 24h e 6h, respectivamente, pelos materiais FCA-feltro e CAP.

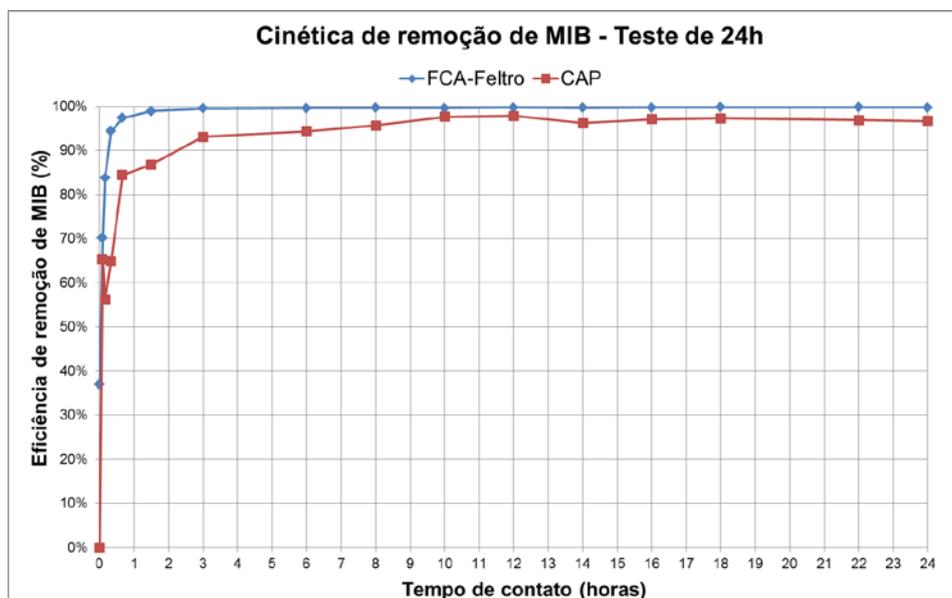
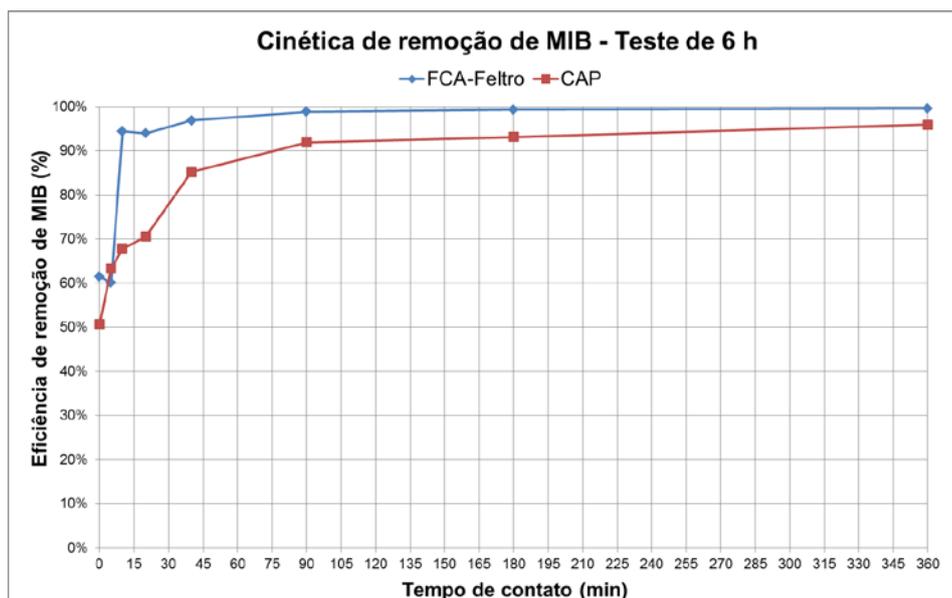
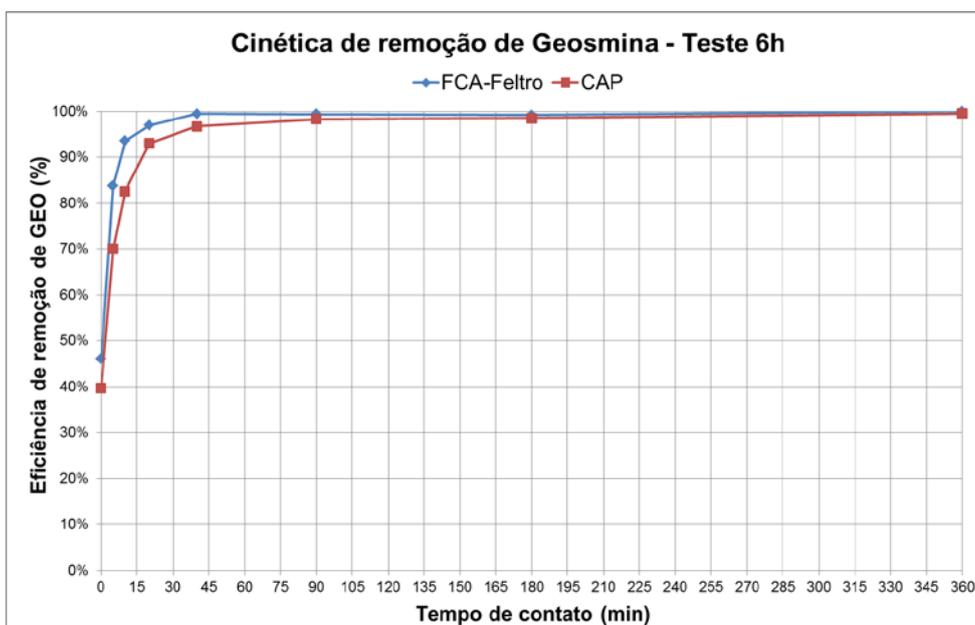


Figura 10: Cinética de remoção de MIB pelos materiais CAP e FCA-feltro e ao longo de 24h, para concentrações iniciais de 7.415 e 14.155 ng/L, respectivamente.



**Figura 11: Cinética de remoção de MIB pelos materiais CAP e FCA-feltro e ao longo de 6h (ou 360 min), para concentração inicial de 24.085 ng/L.**

- Observou-se que a remoção da FCA-feltro até o patamar de saturação ocorreu por volta de 10 min de contato, proporcionando eficiência de remoção superior a 90%. Já para o CAP, o patamar de saturação ocorreu por volta de 90 min, com eficiência também superior a 90%. Com tempos de contato curtos, inferiores a 5 min, a eficiência dos materiais foi semelhante nos testes de bancada (em torno de 50 a 60%).
- Validação com geosmina:
  - O gráfico da Figura 12 apresenta os resultados dos Testes de Cinética de remoção de Geosmina (6h) pelos materiais FCA-feltro e CAP.



**Figura 12: Cinética de remoção de Geosmina pelos materiais CAP e FCA-feltro e ao longo de 6h (ou 360 min), para concentração inicial de 17.085 ng/L, respectivamente.**

- Observou-se que a Geosmina é de fato de mais fácil remoção que o MIB pelo processo de adsorção (para ambos os materiais), quando este gráfico é comparado ao da Figura 11. A FCA-feltro apresenta cinética mais rápida de remoção de Geosmina, sendo que atinge eficiência superior a 90% em 10min, enquanto que para o CAP eficiência equivalente só é obtida após 20min de contato.
- Interferência do cloro:
  - Para as duas concentrações testadas de CRL inicial (0,83 e 2,09 mg/L) a eficiência de remoção de MIB proporcionada pela FCA-feltro foi superior à do CAP, conforme Figuras 13 e 14;

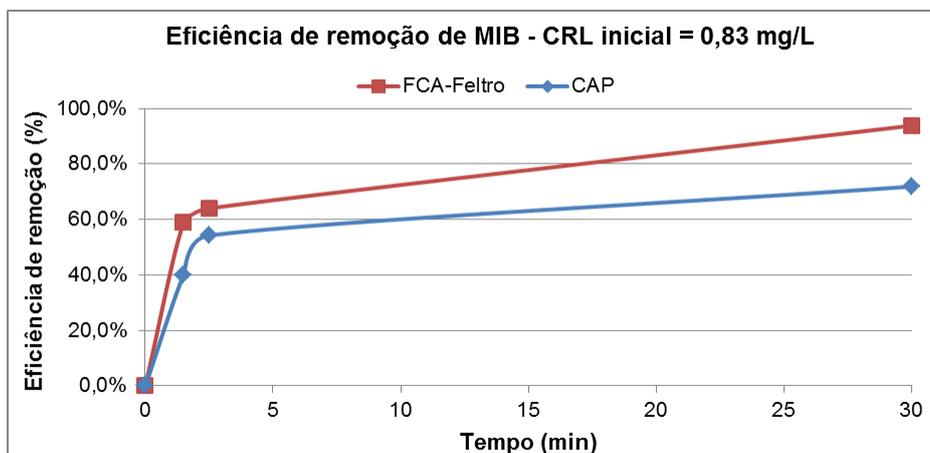


Figura 13: Eficiência de remoção de MIB dos materiais FCA-feltro e CAP com concentração inicial de 0,83 mg/L de CRL.

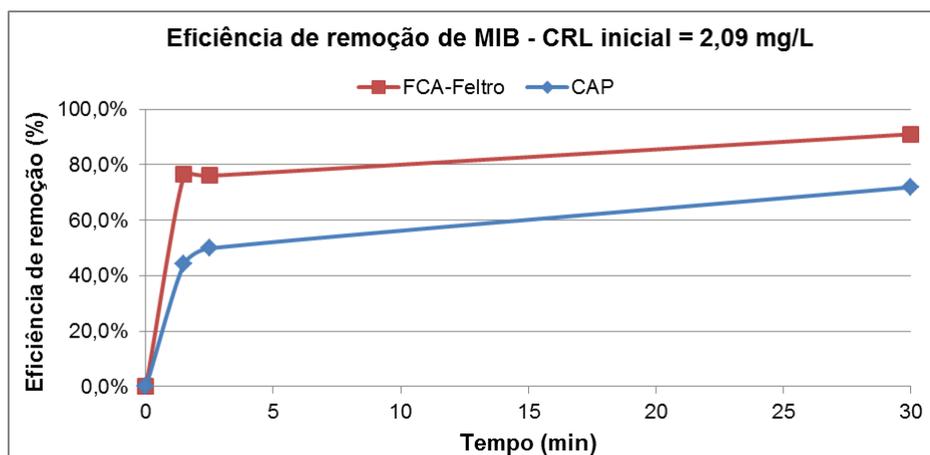
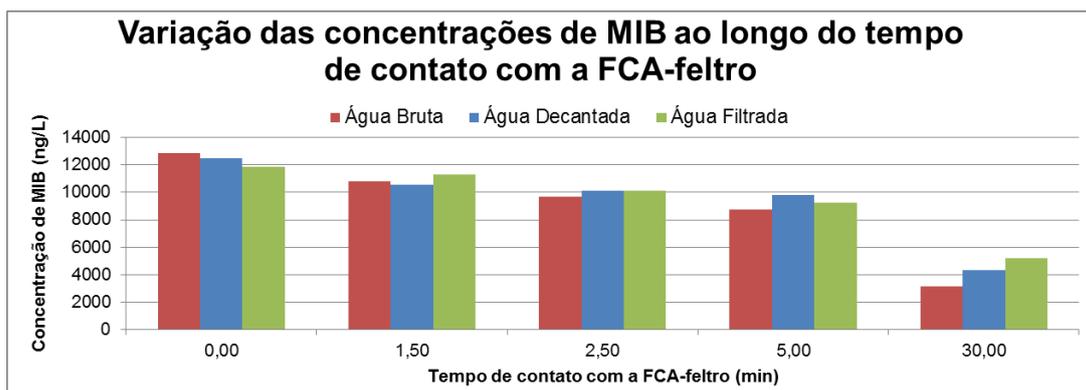
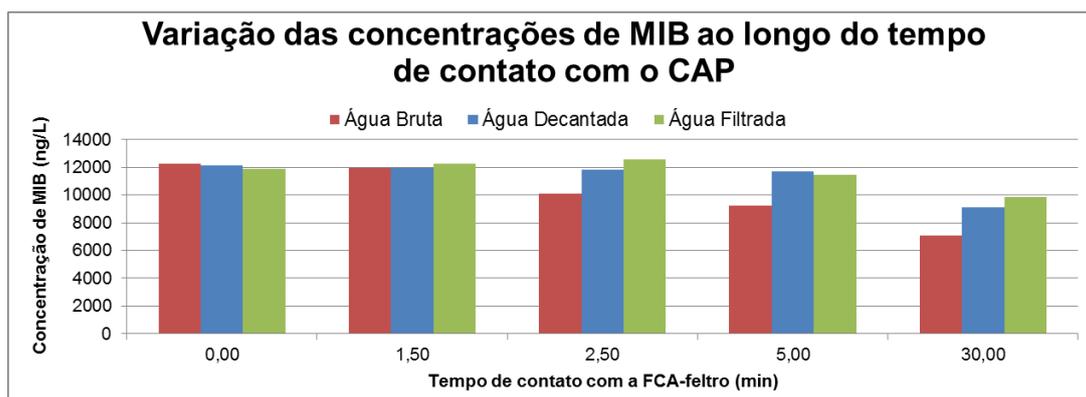


Figura 14. Eficiência de remoção de MIB dos materiais FCA-feltro e CAP com concentração inicial de 2,09 mg/L de CRL.

- Observou-se neste teste que embora a FCA-feltro reaja mais com o cloro do que o CAP, sua eficiência se mantém superior à verificada para o produto atualmente utilizado. A reação da FCA-feltro com o cloro também ocorre de forma mais rápida do que o CAP, semelhantemente ao que ocorre com a eficiência de remoção de MIB.
- Diferentes águas do processo de tratamento:
  - Os gráficos das Figuras 15 e 16 apresentam os resultados da variação da concentração de MIB ao longo do tempo em que as águas (bruta, decantada e filtrada) ficaram em contato com os materiais (FCA-feltro e CAP).



**Figura 15: Variação das concentrações de MIB ao longo do tempo de contato das águas (bruta, decantada e final) com a FCA-feltro.**



**Figura 16: Variação das concentrações de MIB ao longo do tempo de contato das águas (bruta, decantada e final) com a FCA-feltro.**

- Neste teste observou-se que:
  - As maiores remoções de MIB foram proporcionadas à aplicação dos materiais à Água Bruta. Uma hipótese para este fato é a presença de cloro na água, que compete com o MIB pelos poros dos materiais adsorventes;
  - As remoções proporcionadas pela FCA-feltro foram sempre superiores às do CAP, para todas as águas do processo;
  - A cinética de remoção de MIB proporcionada pela FCA-feltro é mais rápida do que a do CAP, independente dos tipos de água.

#### Testes em Piloto

- Semana 1:
  - A Tabela 4 apresenta os valores médios dos pontos afluente (PC1) e efluente (PC2) ao tratamento.

Tabela 4: Resultados dos testes piloto da Semana 1.

Semana 1: 13 e 14/09/16								
		Concentração MIB (ng/L)						Eficiência de remoção
		PC1 (Afluente)			PC2 (Efluente)			
		Média	Desvio Padrão	CV	Média	Desvio Padrão	CV	
Teste 1	Ensaio 1	618	14	2,2%	548	16	2,8%	11%
	Ensaio 2	508	19	3,8%	470	61	13,0%	7%
	Ensaio 3	491	17	3,5%	460	24	5,2%	6%
	Ensaio 4	491	17	3,4%	458	21	4,7%	7%
Teste 2	Ensaio 1	481	22	4,5%	365	31	8,6%	24%
	Ensaio 2	389	50	12,8%	350	29	8,3%	10%
	Ensaio 3	376	15	3,9%	335	21	6,2%	11%
	Ensaio 4	333	14	4,2%	318	16	5,1%	5%
Teste 3	Ensaio 1	553	34	6,1%	483	42	8,6%	13%
	Ensaio 2	430	14	3,2%	414	26	6,2%	4%
	Ensaio 3	431	21	4,9%	408	13	3,1%	5%
	Ensaio 4	411	8	2,1%	387	21	5,5%	6%

- Observou-se neste teste que as eficiências dos primeiros ensaios de cada Teste foram maiores do que dos demais ensaios. Uma hipótese para este fato ter ocorrido é que após o contato inicial entre água e material adsorvente, a água teve pouca penetração no material prejudicando a adsorção;
- A regeneração térmica proporcionada pelo aquecimento a 300°C por 1 hora foi eficaz, visto que a eficiência dos 'Ensaio 1' dos Testes 2 e 3 superaram a eficiência do Teste 1;
- Considerando, portanto, apenas os resultados do Ensaio 1 dos testes (1, 2 e 3), obteve-se a eficiência média de 16% na Semana 1.

• Semana 2:

- A Tabela 5 apresenta os valores médios dos pontos afluente (PC1) e efluente (PC2) ao tratamento.

Tabela 5: Resultados dos testes piloto da Semana 2.

Semana 2: 27 e 28/09/16								
		Concentração MIB (ng/L)						Eficiência de remoção
		PC1 (Afluente)			PC2 (Efluente)			
		Média	Desvio Padrão	CV	Média	Desvio Padrão	CV	
Teste 1	Ensaio 1	462	15	3,2%	342	49	14,4%	26%
	Ensaio 2	353	9	2,6%	309	12	4,0%	12%
	Ensaio 3	305	18	5,8%	274	16	5,9%	10%
Teste 2	Ensaio 1	394	17	4,3%	313	36	11,6%	21%
	Ensaio 2	334	19	5,6%	298	10	3,4%	11%
	Ensaio 3	423	26	6,1%	391	24	6,2%	8%
Teste 3	Ensaio 1	568	28	4,9%	506	28	5,5%	11%
	Ensaio 2	506	22	4,4%	461	26	5,5%	9%
	Ensaio 3	501	23	4,6%	443	25	5,7%	11%

- Verificou-se neste teste que, assim como na Semana 1, eficiências dos primeiros ensaios de cada Teste maiores do que dos demais ensaios, corroborando a hipótese de que a houve pouco contato entre água e material, após o contato inicial. Com isto, após menos de 30 minutos em que o material adsorvente foi submetido ao fluxo contínuo do teste piloto não havia mais remoção significativa.

## **CONCLUSÕES / PRÓXIMOS PASSOS**

Em todos os testes realizados em bancada observou-se a maior capacidade de adsorção da FCA-feltro do que o CAP. Por meio da análise das isotermas de adsorção dos materiais avaliados constatou-se que a diferença é da ordem de 4 vezes. Outra vantagem da FCA-feltro é sua cinética mais rápida de adsorção dos compostos de interesse (MIB e geosmina).

A eficiência de adsorção da FCA-feltro é influenciada pela presença de cloro na água, sendo que este material tem maior capacidade de adsorção de cloro do que o CAP. Entretanto, mesmo na presença de cloro, a eficiência da FCA-feltro se mantém superior à do CAP para remover MIB. Esta interferência do cloro provavelmente implicou no fato de que a água bruta, sem cloro, apresentou boa eficiência quando comparada a águas mais clarificadas, mas com maior teor de cloro (decantada e filtrada).

Ainda será realizada uma última investigação em bancada, focada na avaliação do efeito do pH no processo de adsorção do material FCA-feltro. Os resultados deste teste serão apresentados na versão final do artigo.

Nos primeiros testes no piloto, simulando as calhas coletoras dos decantadores, verificou-se que a eficiência de remoção de MIB foi baixa (inferior a 25%) e que em um tempo curto (menos de 30 minutos de fluxo contínuo) a remoção passou a ser muito pequena. O resultado positivo destes testes em piloto foi a efetividade da regeneração térmica em recuperar a capacidade de adsorção do material FCA-feltro.

Por fim, constata-se que a diferença entre os resultados de bancada e piloto consiste no fato de que não se conseguiu, em escala piloto, proporcionar um contato efetivo e contínuo da água com o material adsorvente. Assim, ao longo de 2017 serão realizados novos testes com diferentes aplicações da FCA, buscando uma melhor condição hidráulica de aplicação do material.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. MARCUZZO, J.S Fibra de carbono ativada – Produção ultrarrápida a partir da PAN Têxtil. Tese de Doutorado. São José dos Campos, 2012. Tese de doutorado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2012.
2. SILVA, P.S. et al. Avaliação do potencial da fibra de carbono ativado para remoção de compostos causadores de gosto e odor em água de abastecimento. In Anais 26º Encontro Técnico da AESABESP. 2016.