

# REMOÇÃO DE FERRO, MANGANÊS E ODORES DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA): INFLUÊNCIA DO PH E DO CARVÃO ATIVADO

Iron, manganese and smell removal the water treatment plant sludge (ETA): influence of PH and activated carbon

Ângela Antunes<sup>1</sup>; Rogério Marcos Dallago<sup>2</sup>; Luciana Dornelles Venquiaruto<sup>3</sup>; Rubia Mores<sup>4</sup>; José Cerineu Bergoli<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Mestranda do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Câmpus de Erechim. E-mail: nenaantunes@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Química (UFRGS), professor da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim. E-mail: dallago@uricer.edu.br

<sup>3</sup> Doutora em Educação em Ciências (UFRGS), professora da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Câmpus de Erechim. E-mail: venquiaruto@uri.com.br

<sup>4</sup> Doutorando do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Câmpus de Erechim. E-mail: rubiamores@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Químico Industrial, CORSAN, Unidade Carazinho: E-mail: José.bergoli@corsan.com.br

Data do recebimento: 11/05/2015 - Data do aceite: 15/07/2015

**RESUMO:** O reuso da água de processo tem se tornado um fator determinante tanto para a questão de disponibilidade quanto para atender à legislação vigente quanto ao descarte de efluentes em corpos receptores. Este trabalho realizou um estudo exploratório visando a compactação, por centrifugação, prévia do lodo proveniente da lavagem dos decantadores da ETA da cidade de Erechim/RS. Os ensaios preliminares, empregando somente polieletrólito, conduziram à geração de um efluente líquido contendo altos teores de Fe, Mn e intenso odor desagradável. Visando a redução destes parâmetros, foi conduzido um planejamento experimental variando o pH (entre 6 e 10,0), os teores de polieletrólito (200 a 400 mg.L<sup>-1</sup>) e de carvão ativado (15 a 150 mg.L<sup>-1</sup>). Os resultados demonstraram que o pH exerce efeito positivo sobre a remoção de Fe e Mn, proporcionando um efluente líquido que atende à legislação. O polieletrólito não apresentou efeito significativo para ambas as respostas avaliadas (Fe, Mn e odores). A quantidade de carvão ativado somente apresentou efeito signifi-

cativo e positivo para a remoção de odores. Após a otimização do processo de compactação, os resultados demonstraram ser possível a recirculação do efluente tratado, desde que adicionado em proporção  $\leq 2\%$  e adicionado no floculador após observada a formação do floco.

**Palavras-chave:** Água. Reuso. Ferro. Manganês. Odor.

**ABSTRACT:** The process water reuse has become a key both to the question of availability factor as to meet current legislation regarding the discharge of effluents into receiving bodies. In this work an exploratory study to compaction by centrifugation, sludge prior from the washing of decanters of ETA in the city of Erechim / RS. Preliminary tests employing polyelectrolyte only led to the generation of a liquid effluent containing high Fe, Mn and intense unpleasant odor. In order to reduce these parameters experimental design was conducted by varying the pH (between 6 and 10.0), the polyelectrolyte content (200 to 400 mg.L<sup>-1</sup>) and activated charcoal (15 to 150 mg.L<sup>-1</sup>). The results showed that the pH has a positive effect undergoes removal of Fe and Mn, providing a liquid effluent that meets the regulations. The polyelectrolyte no significant effect for both assessed responses (Fe, Mn and odors). The amount of activated carbon only had a significant and positive effect for removing odors. After optimization of the compression process, results proved possible recirculation of treated effluent from that added in proportion  $\leq 2\%$  and added to the flocculator observed after the formation of the flocc.

**Keywords:** Water. Reuse. Iron. Manganese. Smell.

## Introdução

A água é fundamental para a vida e um requisito básico para o desenvolvimento sócio econômico. No entanto, o crescimento populacional e, conseqüentemente, o aumento de seu uso nas mais diversas atividades, aliado à falta de uso adequado, vem diminuindo a disponibilidade dos recursos hídricos.

Apesar de o Brasil ser um país com condições favoráveis em termos de recursos hídricos, pois detém aproximadamente 16 % da água doce do planeta (TUNISI, 2000), esta se encontra mal distribuída. Do total de água do país, a região norte detém, aproximadamente, 68,5 %, enquanto a região Sul apenas 6,5 % deste montante (GRACI, 200; REBOUÇAS; GALÍZIA; BRAGA, 1999).

A preocupação com a quantidade e a qualidade da água deve ser uma constante, uma vez que a vitalidade de seus usos nos faz repensar as atividades desenvolvidas no mais diversos ecossistemas, pois dela depende a sobrevivência humana e as mais diversas formas de vida do planeta.

Uma vez que a quantidade de água existente no planeta é a mesma desde os primórdios e não há tendência de aumentar (apesar das descobertas de novas tecnologias nos mais diversos ramos da ciência não se conseguiu produzir água de forma laboratorial) (CAMPOS; JARDIM, 2003), a reutilização da água, nos mais diversos processos e usos, surge como principal alternativa viável e indispensável nos mais diversos processos e usos (MANCUSO e SANTOS, 2003). O

reuso da água de processo das estações de tratamento de águas (ETAs), assim como a separação do lodo gerado pelas mesmas, tem-se tornado uma alternativa viável para atender, não somente o caso da escassez como, também, à questão legal para disposição dos resíduos, outrora devolvidos aos mananciais sem qualquer preocupação (SPERLIN, 2005).

A cidade de Erechim, no Rio Grande do Sul, localiza-se em um divisor de águas, o que a caracteriza como uma região de pequenos cursos d'água, mananciais com pequena capacidade produtiva de água e, conseqüentemente, corpos receptores com baixa capacidade de dissolução de dejetos. Para abastecer a comunidade de Erechim são necessários, aproximadamente, 650.000 m<sup>3</sup>/mês, deste total aproximadamente 350 m<sup>3</sup> transformam-se em lodo depositado no decantador o qual, a cada limpeza, é devolvido aos cursos d'água.

Devido à elevada carga orgânica presente no lodo, a Unidade de Saneamento da CORSAN de Erechim avaliou um sistema de compactação do lodo mediante centrifugação, o qual conduz a um efluente líquido com baixíssimo teor de carga orgânica. No entanto, parâmetros, como o teor de ferro e manganês e odores encontram-se acima dos valores recomendados pelos órgãos ambientais, (RS, 1989; BRASIL, 2011) o que impediria seu descarte na rede pluvial.

Neste sentido este trabalho buscou, avaliar a influência do pH e teor de carvão ativado sobre a remoção de Fe, Mn e odores deste efluente, visando satisfazer a legislação vigente, permitindo, assim, seu descarte

adequado ou até mesmo possibilitando sua recirculação no sistema, sendo esta uma alternativa viável e recomendável.

## Material e Método

### Amostra

O lodo utilizado neste estudo é proveniente dos decantadores da ETA I da CORSAN de Erechim, localizada na Rua Monte Castelo, nº10, no centro da cidade.

Durante a lavagem dos decantadores, foram coletadas amostras de lodo de seus interiores, as quais foram acondicionadas em baldes de 20 litros. As amostras de lodo foram coletadas em diferentes períodos do ano de 2008, considerando, além das condições climáticas, o tempo acumulado no decantador, o qual oscilou entre 25 a 64 dias.

### Ensaio experimental

O processo visando à remoção de Fe, Mn e odores da fase líquida foi avaliado utilizando um planejamento fatorial completo 2<sup>3</sup> com triplicata do ponto central para cálculo do erro experimental, totalizando onze experimentos. As variáveis estudadas e os respectivos níveis em que foram analisadas estão apresentados na Tabela I.

Para cada ensaio foram empregados 500 mL de lodo. Inicialmente fez-se correção do pH do lodo para os níveis estabelecidos no planejamento, empregando uma solução de NaOH 5%. Após o ajuste do pH, adicionou-se o carvão ativado nas quantidades pré-estabelecidas, permanecendo a amostra, no

**Tabela I** - Variáveis e níveis estudados no planejamento de experimentos.

Variável/Nível	pH	Carvão Ativado (mg L <sup>-1</sup> )	Polieletrólito (mg L <sup>-1</sup> )
-1	6,0	50	200
0	8,0	100	300
+1	10,0	150	400

aparelho de “jar-teste”, em agitação constante por um período de 30 minutos. Posteriormente, adicionou-se o polieletrólito, induzindo a floculação do lodo, a qual ocorre em aproximadamente 60 segundos de agitação. Na sequência, as amostras foram centrifugadas (marca CELM) e o efluente líquido resultante analisado em relação aos teores de Fe e Mn - por Espectrometria de Absorção Atômica (Varian modelo AA55) e colorimétrico - e a odores (método sensorial a frio).

## Métodos Colorimétricos

### Determinação do teor de Ferro

Em um erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de amostra do efluente líquido, adicionar 3 mL de uma solução de ácido clorídrico a 1:1, e 1 mL de uma solução de permanganato de potássio concentrado; aquecer a amostra até a ebulição mantendo-a até obter um volume de aproximadamente 80 mL ( $\cong$  10 minutos). Retirar da chapa de aquecimento e deixar resfriar a temperatura ambiente. Completar o volume até 100 mL com água destilada, adicionar 5 mL de tiocianato de potássio 10%, homogeneizar a amostra, transferir parte da amostra para um tubo de Nessler e comparar no aparelho Aqua Tester utilizando-se de um disco colorimétrico específico para análise de ferro. O resultado é expresso em  $\text{mg.L}^{-1}$ , utilizando-se sempre uma casa decimal. Caso a amostra apresente concentração maior que a lida no disco, realizar a análise novamente, efetuando diluição da amostra tantas quantas vezes se fizer necessário.

### Determinação do teor de Manganês

Em um erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de amostra do efluente líquido, adicionar 5 mL de uma solução padrão de manganês, aquecer a amostra até a ebulição mantendo-a até obter um volume de

aproximadamente 80 mL ( $\cong$  10 minutos), adicionar  $\cong$  1 g de persulfato de amônia e voltar a ferver mais 1 minuto. Retirar da chapa de aquecimento e resfriar a amostra sob agitação constante sob água fria. Completar o volume até 100 mL com água destilada, homogeneizar a amostra, transferir parte da amostra para um tubo de Nessler e comparar no aparelho Aqua Tester utilizando-se de um disco colorimétrico específico para análise de manganês. O resultado é expresso em  $\text{mg.L}^{-1}$ , utilizando-se sempre duas casas decimais. Caso a amostra apresente concentração maior que a lida no disco, realizar a análise novamente, efetuando diluição da amostra tantas quantas vezes se fizer necessário.

## Análise de Odor - Método Sensorial

A amostra deverá estar a temperatura ambiente e consiste na transferência de 200 mL de mesma para um Erlenmeyer de 500 mL. Com um vidro relógio tampa-se a boca do frasco com a amostra a qual é homogeneizada suavemente em círculos, remove-se a tampa e aspira-se segurando no fundo do erlenmeyer. Caso não seja possível identificar o odor, realizar novamente o procedimento aquecendo a amostra a uma temperatura entre 35 e 40 °C. Classificar o odor conforme o tipo e a intensidade. A intensidade é expressa em:

- 1 - Muito fraco: odor levemente perceptível, somente a quente
- 2 – Fraco: odor levemente perceptível a frio
- 3 – Distinto: odor claramente identificado a frio.
- 4 – Decidido: odor que chama a atenção por si mesmo
- 5 – Muito forte: odor percebido até mesmo sem a aproximação do nariz.

## Resultados e Discussão

Na ETA I de Erechim são geradas quantidades significativas de lodo oriundo do processo de tratamento da água, mais precisamente durante a remoção de partículas finas em suspensão presentes na água bruta, através do emprego de coagulantes (sulfato de alumínio). Devido ao espaço físico reduzido e à ausência de áreas vagas próximas que possibilitariam a implantação de sistemas alternativos de disposição do lodo, tais como leito de secagem ou “bag”, a ETA I optou por um sistema de adensamento de lodo compacto, baseado na centrifugação. Os resultados preliminares demonstraram excelente compactação, reduzindo o volume de lodo, em aproximadamente, 80%. No entanto, o efluente líquido gerado apresentou alguns parâmetros, como teor de Fe, Mn e odores (Tabela II) acima dos valores estabelecidos pela legislação ambiental vigente (FEPAM).

**Tabela II** - Parâmetros físico-químico do efluente líquido gerado na etapa de centrifugação do lodo.

Amostra	Parâmetros			
	Fe (mg.L <sup>-1</sup> )	Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	Odores	pH
Efluente	65,0	59,7	D-5	6,0
FEPAM	15,0	1,0	isento	5,0 – 9,0

Neste sentido, foram avaliados os efeitos do pH, do teor de carvão ativado e de polieletrólito, visando a remoção de Fe, Mn e odores a níveis condizentes com a legislação. As variáveis estudadas, com seus respectivos níveis e respostas, encontram-se apresentados na Tabela III.

O menor nível para o pH foi selecionado com base no valor observado para o efluente líquido gerado na etapa de centrifugação, a qual foi conduzida somente com a adição de polieletrólito.

Para quantificação de Fe e Mn observam-se diferenças expressivas entre as metodologias avaliadas (Tabela III). No entanto, cabe

**Tabela III** - Matriz do planejamento experimental com suas respectivas respostas. Amostra de lodo referente ao período de 26/03 a 06/05/08

Amostra	pH	Polieletrólito (mg.L <sup>-1</sup> )	Carvão Ativado (mg.L <sup>-1</sup> )	Fe (mg.L <sup>-1</sup> )		Mn (mg.L <sup>-1</sup> )		Odor
				AA*	Color.**	AA*	Color.**	
01	6,0	200	50	63,50	112,00	59,73	45,0	D – 5
02	10,0	200	50	0,74	0,50	0,11	0,30	D – 5
03	6,0	200	150	64,71	112,00	60,88	45,00	D – 1
04	10,0	200	150	2,36	0,03	0,46	0,08	D – 1
05	6,0	400	50	60,98	112,00	57,18	45,00	D – 5
06	10,0	400	50	0,54	0,30	0,03	0,08	D – 5
07	6,0	400	150	61,13	112,00	59,32	45,00	D – 1
08	10,0	400	150	0,73	0,50	0,12	0,03	D – 1
09	8,0	300	100	0,79	0,30	0,17	0,03	D – 2
10	8,0	300	100	1,12	0,30	0,24	0,03	D – 2
11	8,0	300	100	1,53	0,30	0,24	0,03	D – 2

\*AA. Método de Espectroscopia de Absorção Atômica

\*\* Color. – Método Colorimétrico

destacar que ambas as metodologias poderiam ser empregadas para a interpretação dos resultados, uma vez que apresentam resultados com uma mesma tendência, em termos de enquadramento ou não, quando comparados com os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente. Neste contexto, optou-se por trabalhar estatisticamente com os resultados obtidos pelo método da absorção atômica - o qual, além de ser mais difundido, é mais aceito pela comunidade científica, devido à sua sensibilidade e seletividade - mesmo sendo o método colorimétrico aplicado rotineiramente em unidades de ETA. O modelo matemático, ou seja, o tratamento estatístico, foi aplicado apenas para a variável Fe, uma vez que o Mn apresentou resultados, tanto de remoção quanto de tendência, similares aos observados para o Fe, sendo, então, desnecessária a construção do modelo acima citado.

Os menores valores de Fe e Mn em solução foram observados para os maiores valores de pH, indicando uma maior capacidade de remoção para pHs alcalinos, independente das quantidades de polieletrólito e carvão ativado empregados.

A análise estatística dos resultados confirma esta tendência, apresentando, para a variável pH, no que se refere à remoção de Fe, um efeito significativo e positivo, ou seja, o aumento do pH favorece a fixação destas espécies no lodo, evitando sua lixiviação junto ao efluente líquido. A variável polie-

letrólito também apresentou efeito positivo. No entanto, este efeito foi menos significativo que o pH (Tabela IV).

O modelo empírico de primeira ordem que representa a remoção do Fe é dado pela equação:

$$Fe \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = 23,46 - 30,74.pH - 0,99.polieletrólito$$

A Análise de Variância apresentada na Tabela V validou o modelo empírico proposto, de acordo com a qual é possível observar que o  $F_{\text{calculado}}$  é maior que o  $F_{\text{tabelado}}$ , com uma porcentagem de variação explicada de 92%.

A validação do modelo, com 95 % de confiança ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ) e uma porcentagem de variação explicada de 92%, permitiu a construção da superfície de resposta (Figura 1).

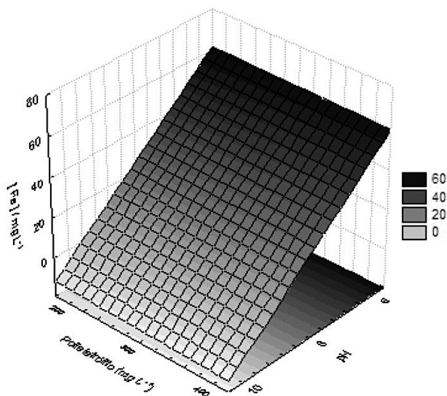
O aumento do pH ( $pH > 7,0$ ), conduz à formação de hidróxidos de Ferro  $[Fe(OH)_3]$  e manganês  $[Mn(OH)_2]$ , que se caracterizam por apresentar baixa solubilidade em água ( $S_{Fe(OH)_3} = 2,19 \times 10^{-10} \text{ mol.L}^{-1}$ ) e tendem a precipitar (HARRIS, 2001, VOGEL, 1981). A precipitação destas espécies facilita a sua agregação ao lodo durante o processo de floculação, além de auxiliar na etapa de separação por centrifugação, uma vez que as formas precipitadas, por serem mais densas que a solução, tendem a decantar espontaneamente.

**Tabela IV** - Coeficientes de regressão para a resposta remoção de Fe

Fator	Coefficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	P
Média	23,4664	0,111776	209,94	0,000023
(1) pH (L)	-30,7438	0,131069	-234,56	0,000018*
(2) Polieletrólito (L)	-0,9913	0,131069	-7,56	0,017038*
(3) Carvão Ativado (L)	0,3962	0,131069	3,02	0,094206
1L x 2L	0,5337	0,131069	4,07	0,055343
1L x 3L	0,0562	0,131069	0,43	0,709613
2L x 3L	-0,3113	0,131069	-2,37	0,140819

\* Termos estatisticamente significativo a 95% de confiança

Figura 1- Superfície de resposta para a remoção de Fe



Para a remoção do Fe e Mn, a única variável que não apresentou efeito foi a concentração de carvão ativado, o que está coerente com sua natureza química. Por ser um composto de caráter apolar, o carvão ativado não adsorve, eficientemente, espécies iônicas, como íons  $Mn^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ .

Em relação aos odores, a eficiência em sua remoção foi avaliada empregando o método sensorial. Para tanto, os odores foram classificados em uma escala de 1 a 5, de acordo com sua intensidade e característica. Para a remoção de odores, a única variável que apresentou efeito significativo foi o carvão ativado. Seu efeito foi positivo, ou seja, a remoção de odores aumenta proporcionalmente com a de carvão. As demais variáveis, pH e concentração de polieletrólito, não apresentaram efeito para a faixa estudada.

Esta tendência esta coerente com a literatura, que recomenda para a remoção de

odores em efluentes, sejam eles líquidos ou gasosos, o emprego de processos adsorptivos, baseados principalmente no uso de carvão ativado, uma forma de carbono puro, de grande porosidade (podendo conter macro, meso ou micro poros) e elevada área superficial, entre 400 e 3.500  $m^2/g$  (MARSH e RODRÍGUEZ REINOSO, 2006, FERREIRA FILHO e MARCHETTO, 2006).

A natureza orgânica do carvão ativado favorece sua interação com os compostos orgânicos (sulfurados, nitrogenados, aldeídos e ácidos carboxílicos) presentes no efluente e principais responsáveis pelos odores e, conseqüentemente, na remoção dos mesmos.

O pH, mesmo sendo um dos principais parâmetros que governa os processos adsorptivos, não apresentou efeito em relação à remoção de odores. Esta inexistência de efeito foi vinculada à faixa de pH estudada, a qual, mesmo para o menor valor avaliado (6,0) encontra-se acima do ponto isoelétrico observado para carvões ativados, que situam-se entre 5 e 6 (MARSH e RODRÍGUEZ REINOSO, 2006).

Para as demais amostras de lodos estudadas, os quais se diferenciam pelas idades, foram observadas tendências similares em relação aos efeitos avaliados. Diferenças significativas somente foram observadas em relação à quantidade de carvão ativado necessária para a remoção dos odores a uma condição de levemente perceptível (D-1) (Tabela VI).

Tabela V - Análise de variância para a remoção de ferro.

Fontes de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F <sub>calculado</sub>
Regressão	7569,286	2,0	3784,64	14,70
Resíduos	2059,574	8,0	257,45	
Falta de ajuste	2059,299	6,0		
Erro puro	0,275	2,0		
Total	9628,860	10,0		

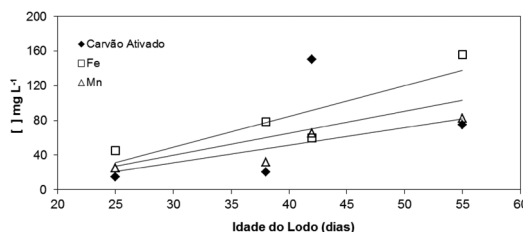
Coefficiente de correlação:  $R^2 = 0,92$ ,  $F_{0,95;4;7} = 4,46$

**Tabela VI** - Valores de Fe, Mn e carvão ativado necessário para remoção de odores para lodos com diferentes idades.

Período	Idade do lodo (dias)	Carvão Ativado (mg.L <sup>-1</sup> )	Teor Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	Teor Fe (mg.L <sup>-1</sup> )
26/03 a 06/05/08	42	150	59,73	65,50
10/04 a 05/06/08	55	75	155,8	82,7
06/05 a 14/07/08	38	20	78,63	31,7
10/07 a 05/08/08	25	15	45,0	25,0

Os resultados apresentados na Tabela VI demonstram uma tendência entre a quantidade de carvão ativado e a idade do lodo. Quanto maior a idade do lodo maior a quantidade de carvão ativado necessária para a remoção dos odores. A idade do lodo também interfere na disponibilidade dos elementos Fe e Mn (Figura 2).

**Figura 2** - Influência da idade do lodo sobre o teor de carvão ativado necessário para a remoção de odores e das concentrações de Fe e Mn em solução. Ensaio conduzido em pH = 6,0.



Esta tendência foi vinculada ao grau de decomposição do lodo, o qual aumenta com a idade. Durante a decomposição, são gerados compostos secundários que além de serem responsáveis pelo odor desagradável observado no lodo, agem efetivamente na transformação do Fe e Mn em espécies solúveis, como complexos, diminuindo a eficiência do processo de remoção quando conduzido somente com a adição da agente floculante, ou seja, sem a correção do pH (Tabela VI).

Outro fator que pode estar contribuindo, tanto na geração de odores quanto nos teores de Fe e Mn presentes no efluente líquido, são as propriedades físicas e biológicas da

água bruta tratada (Tabela VII), precursora destes lodos.

As maiores variações foram observadas para a temperatura da água, o volume de chuvas, o percentual de sólidos e o teor de fitoplâncton. Os valores apresentados sugerem uma relação inversa entre o teor de fitoplâncton e o volume de chuvas. A diminuição do volume de chuvas interfere, negativamente, sobre o volume do reservatório, proporcionando uma pré-concentração do fitoplâncton presente no mesmo, ou seja, aumentando o seu teor. Por outro lado, o aumento do volume de chuvas, ao aumentar o volume do reservatório proporciona uma diluição do fitoplâncton (SILVA, 1999). Este fitoplâncton ao se decompor, juntamente com a matéria orgânica oriunda de outras fontes, irá produzir compostos responsáveis pelos odores (GENTIL, et al., 2008). Esta decomposição é favorecida pelo aumento da temperatura (Tabela VII).

### Ensaios de Recirculação do efluente líquido oriundo do processo de centrifugação

Visando um destino mais adequado (que não seja o descarte em corpos receptores) do efluente líquido oriundo do processo de centrifugação, foram conduzidos ensaios visando à recirculação do mesmo no bloco hidráulico da estação. Para tanto foram conduzidos ensaios de bancada (empregando 1 L de água bruta) com um percentual de 2 (dois) e 5 (cinco) por cento do volume do



**Tabela VII** - Características físico químicas da água bruta

Parâmetros	Período 01 26/03 a 06/05	Período 02 06/05 a 14/07	Período 03 10/04 a 05/06	Período 04 10/07 a 05/08
Matéria orgânica (mg.L <sup>-1</sup> )	3,1 ± 0,2	2,7 ± 0,3	2,3 ± 0,1	2,8 ± 0,1
Ferro total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,2
Manganês (mg.L <sup>-1</sup> )	0,08 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,02
Temperatura água (°C)	23,1 ± 1,2	19,2 ± 2,3	14,6 ± 1,9	17,9 ± 2,1
Volume de chuvas (mm)	286,2 ± 7,8	451,1 ± 15,3	380,8 ± 21,1	105,9 ± 18,1
Percentual de sólidos	3,7 ± 0,8	4,2 ± 1,1	5,1 ± 0,7	3,8 ± 0,3
Fitoplâncton (cel mL <sup>-1</sup> )	3.580 ± 35	1.294 ± 28	2.518 ± 42	896 ± 17

efluente pré-tratado em pH 8,0, 300 mg.L<sup>-1</sup> de polieletrólito e 150 mg.L<sup>-1</sup> de carvão ativado.

Os resultados observados durante estes ensaios demonstraram que a ordem de adição do coagulante (sulfato de alumínio) e do efluente interferem, significativamente, no resultado final.

Quando o efluente foi adicionado à água bruta previamente ao coagulante (sulfato de alumínio), independente da proporção de efluente, não foi observado coagulação/floculação e, por consequência, a clarificação da água. Este fato foi vinculado ao pH alcalino (pH = 8,0) do efluente, o qual pode interferir na coagulação, que apresenta como ótimo um pH levemente ácido (pH = 6,0) (HARRIS, 2001, VOGEL, 1981).

No entanto, quando o efluente tratado foi adicionado à água bruta após a etapa de coagulação com sulfato de alumínio, os resultados observados foram distintos.

A adição de 2% de efluente não interferiu no processo de formação do floco. No entanto, a adição de 5% alterou completamente a estrutura do floco, tornando-o filamentosos e desestruturado, dando à água floculada um aspecto turvo, dificultando a sua sedimentação.

O volume de lodo a cada lavagem do decantador, estipulando um intervalo de 45 dias, corresponde a, aproximadamente, 350 m<sup>3</sup>. Estudos preliminares indicam uma quantidade de água no lodo de aproximadamente

80 %. Neste contexto, o volume de água passível de ser recirculada neste período corresponde a 280 m<sup>3</sup>. No intervalo de tempo de um ano são realizadas, em média, de 8 a 10 lavagens dos decantadores acumulando, aproximadamente, 3.500 m<sup>3</sup> de lodo, dos quais 2.800 m<sup>3</sup> são de água passível de ser reaproveitada pela ETA.

## Conclusão

Os ensaios de compactação do lodo da ETA, mediante centrifugação, conduziram à geração de um efluente líquido com teores de Fe e Mn e intensidade de odores acima dos permitidos pela legislação, inviabilizando seu descarte em corpos receptores.

Dos parâmetros avaliados no planejamento experimental, somente o pH apresentou efeito significativo e positivo para a remoção do Fe e Mn, a qual foi vinculada à formação de hidróxidos pouco solúveis.

Para a remoção de odores, o carvão ativado foi a variável que apresentou efeito significativo e positivo.

Os ensaios de recirculação do efluente líquido gerado, empregando as condições otimizadas (pH = 8, 300 mg.L<sup>-1</sup> de polieletrólito e 150 mg.L<sup>-1</sup> de carvão ativado) demonstraram a possibilidade desta opção. No entanto, deve-se considerar a proporcionalidade entre

efluente e água bruta, bem como a ordem de adição do efluente em relação ao coagulante (sulfato de alumínio). Resultados satisfatórios foram observados quando do emprego de

uma proporcionalidade de 2%, considerando sua adição a água bruta após esta ter sido tratada com o coagulante.

## Agradecimentos

À CORSAN pela amostra, à URI pela infraestrutura e à FAPERS e CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=17214>>, acesso em 30 abr 2015.

CAMPOS M. L. A. M; JARDIM, W. F., Aspectos relevantes da biogeoquímica da hidrosfera, **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 5, p.18 - 27, nov., 2003.

FERREIRA FILHO, S. S; MARCHETTO, M., Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.11, p.7-15, 2006.

GENTIL, R. C.; TUCCI, A.; SANT'ANNA, C. L., Dinâmica da comunidade fitoplanctônica e aspectos sanitários de um lago urbano eutrófico em São Paulo, SP. **Hoehnea**, v.35, p.265-280. 2008.

GRASSI, M. T., As águas do Planeta Terra, **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, edição especial, p. 31 – 40, maio, 2001.

HARRIS, D. C., **Análise Química Quantitativa**. 5. ed. Rio de Janeiro. LTC. 2001.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F., **Reuso de Águas**. São Paulo, Editora Manoel LTDA, 2003.

MARSH, H.; RODRIGUEZ-REINOSO, F., **Activated Carbon**, UK, Elsevier Science & Technology Books, 2006.

REBOUÇAS, A., GALÍZIA TUNDISI J. e BRAGA, B. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, USP, 1999.

RIO GRANDE DO SUL. Portaria nº 05, de 16 de março de 1989. Dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d'água interiores do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1989. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/leg019.doc>>, acessada em 30 de abril de 2015.

SILVA, L. H. S. Fitoplâncton de um reservatório eutrófico (lago Monte Alegre), Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v.59, p.281-303, 1999.

SPERLIN, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte, Editora UFMG, 2005.

TUNDISI, J. G., Limnologia e gerenciamento de recursos hídricos. **Ciência & Ambiente**. v. 21. p. 9-20, 2000.

VOGEL, A. I., **Química Analítica Qualitativa**, 1ª ed, São Paulo, Mestre Jou, 1981.