

## REMOÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE ALGAS E FÓSFORO DE EFLUENTES DE LAGOAS DE ALTA TAXA

**Luiz Olinto Monteggia e Fabiana Tessele**

*Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500 Bairro Agronomia, Porto Alegre - RS – CP 15029 CEP 91501-970, Brasil  
E-mail: monteggia@iph.ufrgs.br Fax: 51-3316-6565*

### RESUMO

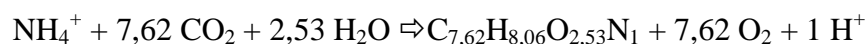
Este artigo apresenta resultados da remoção de algas e fósforo do efluente de lagoas de alta taxa de produção de algas visando a recuperação dos resíduos gerados. O conceito convencional de coagulação seguida de floculação foi modificado. Foram separadas as etapas orgânica e inorgânica do processo, visando o reaproveitamento ou biodigestão das algas floculadas com um polímero catiônico e recuperação do fosfato a partir do lodo inorgânico ( $\text{FePO}_4 + \text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Ensaios preliminares para a otimização de tipo e dosagem de reagentes foram realizados em teste de jarros. Nesta fase, os parâmetros de avaliação do desempenho foram a cor e a turbidez residual. Em uma etapa posterior, foram comparados os métodos de separação por sedimentação e por flotação por ar dissolvido (FAD). Os resultados obtidos mostraram que a remoção de algas, representada pela concentração dos pigmentos clorofila *a* e feofitina foi superior a 92 % e a remoção de fósforo (P total) foi de 96%. Ainda, a flotação mostrou-se mais adequada que a sedimentação para a separação sólido-líquido tanto pela maior clarificação quanto pelo maior adensamento dos lodos obtidos.

### PALAVRAS CHAVE

Remoção de algas, remoção de fósforo, tratamento de efluentes, lagoas de estabilização.

### INTRODUÇÃO

O emprego de lagoas de alta taxa de produção de algas para remoção de nutrientes e decaimento bacteriano tem-se mostrado bastante promissor. Estas lagoas proporcionam tempo de retenção suficiente para a desinfecção de efluentes pela radiação UV e para a remoção de nutrientes (principalmente N e P) pela ação de algas. A função das algas é a remoção de nutrientes, principalmente o nitrogênio amoniacal, empregado na síntese celular, segundo a seguinte equação:



Sendo  $\text{C}_{7,62}\text{H}_{8,06}\text{O}_{2,53}\text{N}_1$  a composição celular média das algas.

Entretanto, a presença de algas no efluente final é indesejável por fatores estéticos e por razões de saúde, pois algumas algas apresentam toxicidade em determinadas circunstâncias. O fósforo,

por ser um nutriente fundamental para a reprodução das algas, precisa ser removido abaixo de limites bastante estritos ( $1 \text{ mg.L}^{-1}$ ).

Sendo assim, para melhorar a qualidade do efluente, é necessária uma etapa posterior de tratamento, visando a remoção das algas e fósforo da corrente antes da disposição e/ou reaproveitamento do efluente. A separação das algas apresenta as seguintes dificuldades:

- tamanho reduzido das algas (1 a  $20 \mu\text{m}$ );
- baixa gravidade específica das células, reduzidas adicionalmente pela adesão de microbolhas de oxigênio produzido na respiração;
- a concentração relativamente diluída das suspensões contendo algas.

A remoção de fósforo por métodos físico-químicos é possível mediante adição de sais de alumínio e ferro. Entretanto, o uso do alumínio vem sendo gradualmente eliminado em estações de tratamento de água e esgoto em nível internacional em função dos efeitos potencialmente prejudiciais à saúde humana relacionados com a presença deste metal. Sendo assim, o ferro surge como uma alternativa importante para a coagulação e precipitação de fósforo e fosfato. Os mecanismos envolvidos são a precipitação de  $\text{FePO}_4$  e a adsorção em colóides de  $\text{Fe(OH)}_3$ .

Neste contexto, o trabalho teve por objetivo o estudo da remoção de algas de lagoas de estabilização por técnicas físico-químicas, visando reaproveitamento e/ou compostagem, seguida da remoção do fósforo usando sais inorgânicos, facilitando a recuperação deste nutriente para fins comerciais. Objetivos específicos foram minimizar o emprego de coagulantes ou floculantes e optar por alternativas biodegradáveis, produzindo um lodo de baixa toxicidade e testando sua biodigestão no reator anaeróbio.

### **Técnicas de separação sólido-líquido**

A separação por decantação dos agregados formados (ou de partículas finas contendo fosfatos adsorvidos) requer elevado tempo de detenção e, por conseqüência, alto custo de investimento e superfície disponível. Além disso, o lodo gerado possui elevado teor de água com relação ao obtido por flotação, o que implica em dificuldades no gerenciamento posterior (tratamento ou disposição). A remoção de algas e material coloidal, sendo também um processo de separação sólido-líquido, pode ser realizada via flotação com microbolhas, com ou sem uso de floculantes.

Processos convencionais de flotação por ar dissolvido em geral requerem maior consumo de energia e produtos químicos. Entretanto, diversos autores têm apresentado alternativas de otimização de sistemas de flotação, adaptados ao tratamento biológico de efluentes e visando maior eficiência. Neste estudo, pretende-se empregar sistemas otimizados de flotação desenvolvidos com o objetivo de reduzir custos operacionais com a injeção/pressurização de ar.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Amostras de 20 L do efluente da lagoa de alta taxa de produção de algas experimental, situada na estação de tratamento de esgotos da Vila Esmeralda (DMAE, Porto Alegre) foram coletadas semanalmente e conservadas sob refrigeração. Soluções-mãe contendo  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$  dos produtos testados foram preparadas. Os ensaios convencionais de Jar Test foram realizados em cubas de 2000 mL de capacidade, com agitação controlada. A etapa de agitação rápida (105 rpm) teve

duração de 3 min e a agitação lenta (50 rpm), 15 min. O tempo de decantação padrão foi de 30 minutos. Os ensaios de Jar Test tiveram a função de selecionar as melhores condições operacionais. Após a seleção de reagentes, pH e concentrações, foram realizados ensaios de FAD com os melhores resultados obtidos.

A unidade de flotação por ar dissolvido em escala de bancada (Figura 1) consiste de um saturador com 3 L de capacidade e de uma célula de flotação com 2 L. A etapa de coagulação e/ou floculação foi realizada na célula de flotação, usando um agitador magnético. O tempo de saturação foi de 15 minutos e a razão de recirculação empregada foi fixada em 20%. O tempo total de flotação foi de 3 minutos.

A sequência de adição de reagentes foi estabelecida visando o potencial reaproveitamento dos resíduos gerados. Assim, em uma primeira etapa foi adicionado o polímero catiônico, com o objetivo de remoção de algas e, em seguida, a remoção de fósforo por coagulação/co-precipitação. Este procedimento, além de separar o resíduo orgânico do inorgânico, favorece a redução do consumo de produtos químicos.

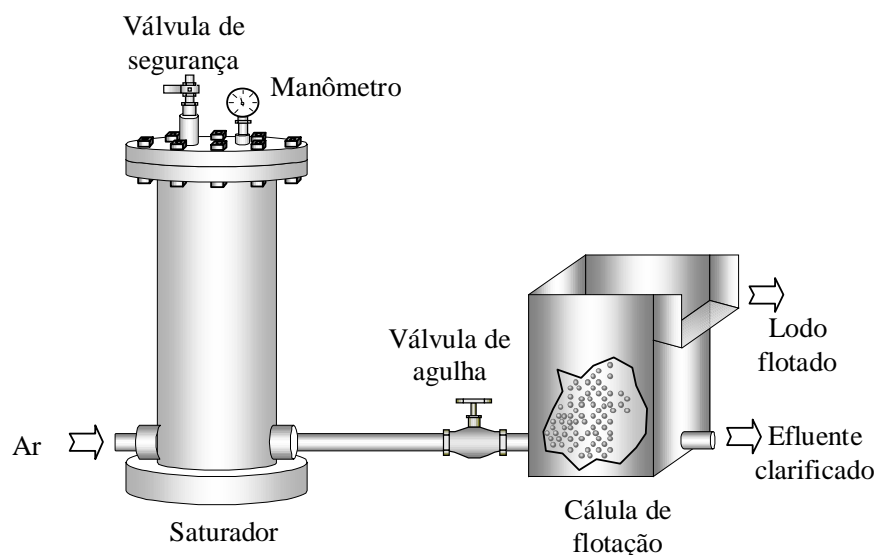


Figura 1 - Unidade de flotação por ar dissolvido de laboratório

### Análises químicas

Em função de limitações financeiras, análises de cor e turbidez foram realizadas para avaliar preliminarmente a eficiência de remoção de partículas suspensas (algas) nos diferentes ensaios. Na segunda etapa, após a seleção das condições ótimas, a concentração de algas foi relacionada à concentração de clorofila *a* e feoftina. A análise de fósforo total foi realizada de acordo com Standard Methods.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A remoção de algas mostrou-se eficiente com o uso de polímeros catiônicos de alto peso molecular, em concentrações entre 3 e 10 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 1). Isto pode ser explicado em função da carga superficial da membrana celular das algas em meio aquoso, que é negativa. A adição de um polímero catiônico neutraliza esta carga e favorece a agregação destas células por floculação. Yan e Jameson (2001) mediram a mobilidade eletroforética de algas em suspensão em função da

concentração de polímero catiônico e encontraram que a partir de  $3 \text{ mg.L}^{-1}$  de polímero ocorre a neutralização da carga, o que está de acordo com os dados aqui apresentados.

Tabela 1 - Remoção de clorofila obtida nas melhores condições experimentais, usando polímero catiônico

Amostra	Clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ )	Feoftina ( $\mu\text{g/L}$ )
Saída da Lagoa	23,53	389,66
Teste 1 = $3 \text{ mg.L}^{-1}$	3,47	50,07
Teste 2 = $5 \text{ mg.L}^{-1}$	1,66	59,75
Teste 3 = $10 \text{ mg.L}^{-1}$	0,85	29,85

Os valores de remoção de clorofila e feoftina em função da concentração de polímero estão apresentados na Figura 2:

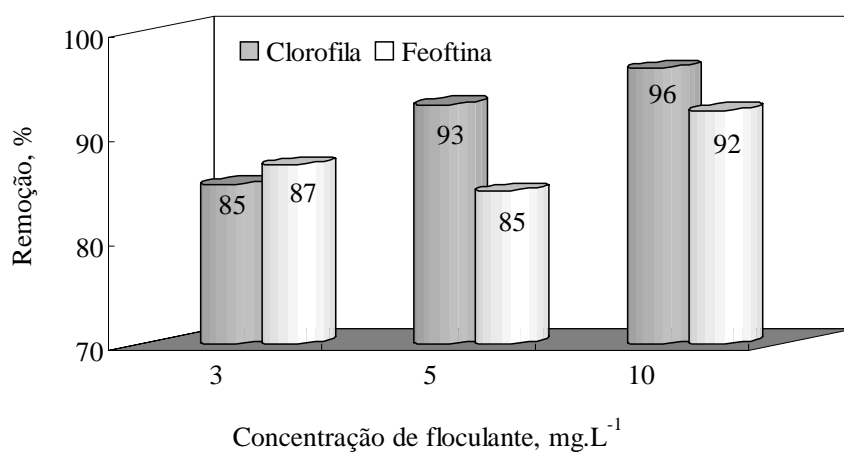


Figura 2 - Remoção de algas, expressa pela concentração de clorofila a e feoftina em função da concentração de polímero catiônico

A remoção de fósforo somente foi possível mediante emprego de um coagulante inorgânico ( $\text{FeCl}_3$ ), a partir de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{Fe}^{+3}$ . O pH foi ajustado com NaOH para valores em torno de 5,3, onde ocorre a menor solubilidade do  $\text{FePO}_4$ .

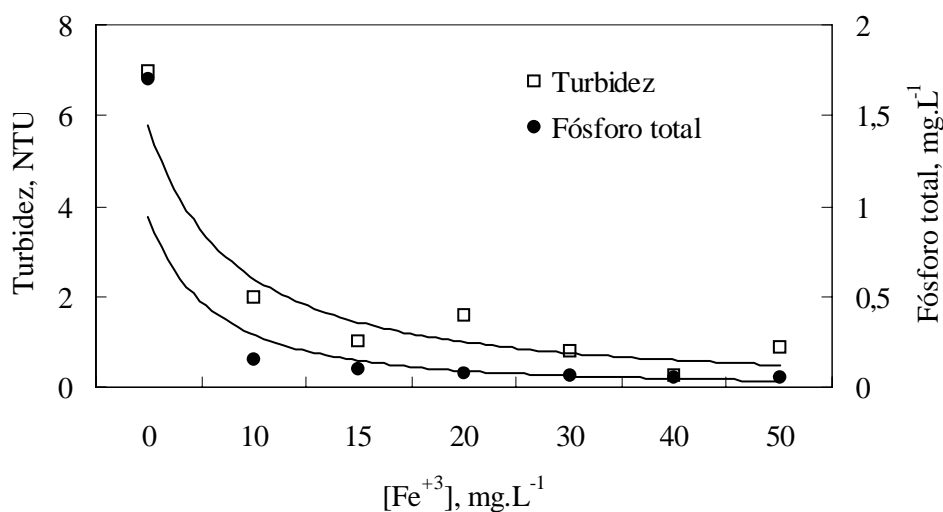


Figura 3 - Variação da remoção de fósforo e turbidez com a concentração de coagulante ( $\text{Fe}^{+3}$ )

Com base nos dados apresentados na Figura 3, foi selecionada a concentração de 15 mg/L de ferro como dosagem padrão para os demais experimentos. Estes experimentos foram realizados em duas etapas (1 e 2), visando a remoção de algas na primeira e de fósforo na segunda. A concentração de polímero na Etapa 1 variou entre 1 e 40 mg.L<sup>-1</sup>, sendo que os valores ótimos foram encontrados na faixa entre 3 e 10 mg.L<sup>-1</sup>. A Tabela 2 mostra os resultados de remoção de fósforo com e sem a adição de coagulante.

Tabela 2 - Eficiência de remoção de fósforo total por floculação (Etapa 1) e por coagulação (Etapa 2).

Teste	Etapa 1	Etapa 2	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
1 (3 ppm)	1,1335	0,0576	20,4%	96,0%
2 (5 ppm)	1,4088	0,0621	1,0%	95,6%
3 (10 ppm)	1,4134	0,0603	0,7%	95,8%
Inicial (SL)	1,4232	-	-	-

Por ser uma concentração relativamente baixa de Fe<sup>+3</sup>, os flocos formados possuíam tamanho pequeno, tornando a separação por sedimentação muito lenta. Entre os métodos de separação testados, a flotação mostrou-se mais adequada. Nos ensaios de sedimentação foi observada a presença de flocos que permaneceram em suspensão e flutuando na interface líquido/ar. Isto ocorre pelo fato de que bolhas de gás, proveniente do metabolismo das algas (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) ficam aderidas aos flocos, tornando sua densidade aparente baixa. Na flotação, ocorre o contrário e o resultado é um efluente bastante clarificado e um lodo mais adensado. Adicionalmente, como na flotação não há necessidade de flocos muito grandes, a dosagem de polímero pode ser reduzida.

### Estimativa de custo de produtos químicos

Os custos envolvidos variam diretamente com a qualidade do efluente final desejada. O consumo de polímero pode ser reduzido ainda mais mediante otimização das características hidráulicas da etapa de mistura e pela aplicação de técnicas modernas de flotação. A concentração de ferro pode ser reduzida para 10 mg.L<sup>-1</sup> se o processo de separação for a flotação em vez da sedimentação.

Item	Consumo (g/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$/kg)	Custo (R\$/m <sup>3</sup> )
Polímero catiônico	3 – 10	22,00	0,07 – 0,20
FeCl <sub>3</sub>	29 – 43	0,58	0,017 – 0,025
Ca(OH) <sub>2</sub> (ajuste de pH)	10 – 15	2,50	0,003 – 0,005
Total			0,09 – 0,23

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- a remoção de algas é possível com o uso de polímeros catiônicos;
- a remoção de fósforo somente é possível pela adição de coagulante inorgânico;
- o processo de flotação é mais eficiente na remoção dos flocos contendo algas e dos colóides de hidróxido férrico;
- o custo estimado de reagentes, por m<sup>3</sup> tratado, varia entre R\$ 0,09 e 0,23, dependendo da qualidade final desejada.
- O processo estudado apresenta potencial para o aproveitamento dos resíduos gerados, minimizando a geração de resíduos sólidos na estação de tratamento de efluentes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos bolsistas Marcelo Belomé da Silva e Simone Garla pelo apoio na parte experimental. Também, ao apoio do CNPq e CAPES para a realização do trabalho e ao Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM – UFRGS) pelo apoio nos ensaios de flotação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DONNERT, D. e SALECKER, M. (2000). Elimination of phosphorous from municipal and industrial waste water. *Water Science and Technology*, v.40 n. 4-5, pp. 195-202.
- FÉRIS, L.A., GALLINA, C.W., RODRIGUES, R.T. e RUBIO, J. (2000). Optimizing dissolved air flotation design and saturation. *Anais: The 4th International Conference on Flotation in Wastewater Treatment*. Helsinki, Finland, Setembro. IWA Conferences.
- HAN, M.Y. e KIM, W. (2000). Modelling of sedimentation and dissolved air flotation for *Cryptosporidium* removal. *Anais: The 4th International Conference on Flotation in Wastewater Treatment*. Helsinki, Finland, Setembro. IWA Conferences.
- IVES, K.J. e BERNHARDT, H.J. (Editores) (1995). *Flotation Processes in Water and Sludge Treatment*. *Water Science and technology*, v. 31, n.4-5.
- KEMPENEERS, S.; VAN MENXEL, F. e GILLE, L. (2000). A decade of large scale experience in dissolved air flotation. *Anais: The 4th International Conference on Flotation in Wastewater Treatment*. Helsinki, Finland, Setembro. IWA Conferences.
- METCALF e EDDY (1991). *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse*. 3a Ed., McGraw Hill. 1344 p.
- MUJERIEGO, R. e ASANO, T. (1999). Role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse. *Water Science and Technology*, v.40 n. 4-5, pp. 1-9.
- REALI, M.A.P., PATRIZZI, L.J. e CORDEIRO, J.S. (2000). Comparison of thickening of sludges from two water treatment plant using dissolved air flotation and gravity. *Anais: The 4th International Conference on Flotation in Wastewater Treatment*. Helsinki, Finland, Setembro. IWA Conferences.
- TCHOBANOGLOUS, G. e CRITES, R. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. WCB-McGraw Hill, 1084 p.
- VÄÄNÄNEN, P. (2000). Dissolved air flotation of biologically treated industrial effluents. *Anais: The 4th International Conference on Flotation in Wastewater Treatment*. Helsinki, Finland, Setembro. IWA Conferences.
- WAGENINGEN AGRICULTURAL UNIVERSITY (1998). *Options for Closed Water Systems. Sustainable Water Management*. *Anais: International WIMWK Congress*, Wageningen, Holanda.
- YAN, Y., e JAMESON, G.J. (2001). Application of the Jameson Cell Technology for algae and phosphorous removal from maturation ponds. Apresentado no Congresso Froth Flotation/Dissolved Air Flotation: Binding the Gap. Tahoe City, Califórnia, EUA. Maio de 2001.