



COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO E FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NA REMOÇÃO DE MICROALGAS - ESTABILIDADE DO MATERIAL FLOTADO

Erika Reesink Cerski – erika.cerski@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M).

Rua Coronel Paulino Teixeira, 378. Ap. 202

90420-160 – Porto Alegre – RS

Cristiane Oliveira – olicristiane@gmail.com

UniLaSalle, Mestrado em Avaliação em Impactos Ambientais em Mineração.

Rafael Teixeira Rodrigues – rafael.teixeira@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M).

Resumo: A eficiência na remoção de microorganismos fotossintetizantes no tratamento de efluentes sanitários possui dois vieses fundamentais com a problemática ambiental atual, pois, primeiramente, se compromete com a qualidade dos corpos hídricos e, posteriormente, a biomassa algal possui potencial para ser aplicada como fonte de energia renovável. Neste trabalho foi avaliada a eficiência de remoção de microalgas provenientes de uma lagoa de alta taxa através da coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido (FAD). Além disso, a estabilidade do material flotado frente a uma agitação mecânica foi investigada através da captura e análise de imagens. O coagulante inorgânico cloreto férrico e os floclulantes, o polieletrólito catiônico natural catiônico Tanfloc SG (Tanac®) e sintéticos do tipo poliacrilamidas (SNF Floerger®) catiônico FO4550SH, aniônico FA920SH e não iônico FA920SH foram investigados em diferentes concentrações e combinações. Os principais resultados mostraram a possibilidade de atingir altas eficiências de remoção de algas através deste sistema, de modo que as combinações do coagulante cloreto férrico+FO4550SH e Tanfloc SG+AN956SH promoveram elevadas taxas de separação das microalgas (92% e 97%, respectivamente) e a combinação Tanfloc SG+FO4550SH e cloreto férrico+FO4550SH apresentaram melhor estabilidade do material flotado.

Palavras-chaves: Flotação por ar dissolvido, Remoção de algas, Coagulação floculação, Análise de imagens



COAGULATION-FLOCCULATION AND DISSOLVED AIR FLOTATION TO REMOVE MICROALGAE - STABILITY OF THE FLOAT MATERIAL

Abstract: *The removal efficiency of photosynthetic microorganisms in the treatment of wastewater has two fundamental paths with current environmental issues. First it is committed to the quality of water fountains, and second, the algal biomass has the potential to be applied as a renewable source of cleaner energy. This research evaluated the physical-chemical processes of coagulation, flocculation and dissolved air flotation (DAF) removal efficiency in order to remove microalgae originated on High Rate Pond. Furthermore, the stability of the float material facing a mechanical agitation was analyzed through image capture and analysis. The coagulant ferric chloride and the natural flocculants cationic Tanfloc SG (Tanac®) and synthetic polyacrylamide types (SNF Floerger®) cationic FO4550SH, anionic FA920SH and nonionic FA920SH were investigated in different concentrations and combinations. The main results demonstrate the possibility of reaching highly efficient removal of algae through this system, the combination of ferric chloride+FO4550SH and Tanfloc SG+AN956SH promoted high rates of algae separation (92% and 97%, respectively) and the combination of Tanfloc SG+FO4550SH and ferric chloride+FO4550SH presented the best stability of the float material.*

Keywords: *Dissolved air flotation, Algae removal, Coagulation/flocculation, Image analysis*

1. INTRODUÇÃO

A eficiência na remoção de microalgas no tratamento de efluentes domésticos é essencial para o desenvolvimento sustentável, uma vez que está relacionada não somente com a preservação dos corpos hídricos, mas também com o potencial que a biomassa algal possui como fonte de energia renovável. Esta biomassa é um recurso abundante e renovável que pode ser convertido em diferentes produtos químicos, biocombustíveis e outros materiais de valor agregado (Chum e Overend, 2001; Dismukes et al, 2008).

De acordo com Barroso (2015), as microalgas quando controladas auxiliam no tratamento de esgotos, através da remoção de nutrientes como fósforo e nitrogênio e também possuem elevado potencial energético. Ou seja, pode-se aliar o controle da poluição dos recursos hídricos mediante o tratamento de efluentes a nível secundário e terciário empregando Lagoas de Alta Taxa (LAT). As bactérias e algas das LAT atuam de maneira consorciada, permitindo a degradação da matéria orgânica em ambiente aeróbio e, conseqüentemente, geram gás carbônico (CO₂) que, juntamente com demais nutrientes, pode servir como fonte de crescimento de microalgas que resulta em uma associação vantajosa para produção da biomassa de baixo custo concomitante com o tratamento de esgotos.

Até o presente momento, diversos trabalhos (Kitchener e Gochin, 1981; Edzwald e Wingler, 1990; Edzwald, 1995; Van Puffelen et al., 1995; Liu et al., 1999; Rubio et al., 2002; Teixeira e Rosa, 2006; Teixeira e Rosa, 2007; Edzwald, 2010; Teixeira et al., 2010; Borges, 2014; Barroso, 2015) demonstraram elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes e microalgas em tratamento de efluentes via coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido (FAD), visando, principalmente, o tratamento dos efluentes. No entanto, ainda existem poucos estudos voltados para avaliação do tratamento aliado à viabilidade de recuperação da biomassa que possa ser convertida em



biocombustível agregando assim recuperação dos custos de tratamento, bem como, um viés sustentável à estas operações.

Neste contexto, a operação unitária de separação sólido-líquido (microalgas-água) via flotação por ar dissolvido (FAD) pode aparecer com grandes vantagens, pois caracteriza-se pela produção de elevado número de microbolhas com diâmetros menores que 100 - 150 μm que proporcionam capacidade para coletar microalgas da mesma ordem de tamanho. A FAD surgiu em meados da década de 20, inicialmente para recuperação de fibras de papel e, posteriormente, foi aplicada para várias outras finalidades, como remoção de sólidos suspensos nos processos das indústrias do papel, alimentícias, petroquímicas e tratamento de águas e esgotos (Rodrigues, 1999; Tchobanoglous, Burton e Stensel, 2003). Na operação de FAD, o ar é dissolvido em água em um vaso saturador sob pressão e esta água saturada com ar é injetada por uma válvula despressurizadora em um tanque contendo efluente à pressão atmosférica. Quando a pressão no fluxo de água é reduzida, o líquido fica supersaturado e o ar dissolvido é liberado na forma de microbolhas $D_{\text{médio}}$ (50 - 100 μm) que aderem por aprisionamento, arrastes, nucleação e/ou colisão bolha-partícula à fase em suspensão (partículas ou gotículas), flotando-a à superfície (Rosa 2002; Rodrigues, 2013).

O tamanho das microbolhas geradas na FAD é de suma importância para a eficiência de separação sólido-líquido e, por isso, muitos trabalhos (Vinnett e Silva; 2015, Rodrigues 2013) veem sendo publicados visando desenvolver técnicas de análise de tamanho de bolhas na flotação. Por outro lado, a estabilidade do material flotado, normalmente, não é realizada, no entanto, é um parâmetro de grande importância porque em equipamentos industriais há uma certa turbulência que pode proporcionar a desestabilização dos agregados flotados, reduzindo a eficiência de remoção. Por este motivo, o presente estudo considera que, assim, apenas somente a avaliação da turbidez do líquido clarificado não representa a real condição da operação de separação.

Diante de tais considerações, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a coagulação-floculação e FAD para a remoção (colheita) de algas provenientes de uma lagoa de alta taxa, utilizando diferentes concentrações e combinações de coagulante e floculantes (natural e sintético).

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materiais e reagentes

As amostras de efluente contendo algas foram coletadas nas lagoas da planta experimental de águas residuárias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), localizada na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) São João Navegantes/Departamento Municipal de Água e Esgoto (Dmae), em Porto Alegre. A planta experimental é constituída por duas Lagoas de Alta Taxa (LAT), as quais são alimentadas por efluentes provenientes de um reator UASB.

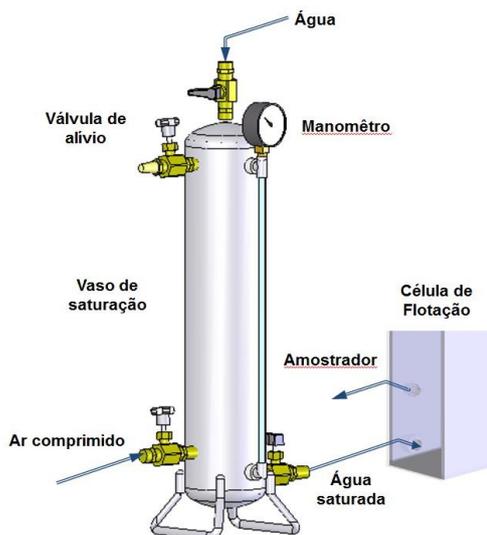
O Cloreto Férrico (Dinâmica) foi o escolhido como reagente inorgânico por sua eficácia reconhecida no tratamento de águas e efluentes (DELPHOS WESNER, 1990). Há dados na literatura que sugerem uma faixa ótima de pH entre 5 e 8 quando usados como coagulantes (MATOS et al., 2007). Já os floculantes foram o natural (a base de taninos) Tanfloc SG (Tanac[®]) de baixo peso molecular e os sintéticos do tipo poliacrilamidas de alto peso molecular aniônico AN956SH, catiônico F04550SH e um não iônico FA920SH, todos da marca SNF Floerger[®]. Soluções aquosas de ácido clorídrico (Química Moderna[®]) e de hidróxido de sódio (Neon[®]) foram usadas para os ajustes de pH.

Um pHmetro (modelo 86505, marca AZ Instrument), e um turbidímetro (modelo AP2000, marca policontrol) foram usados para o monitoramento do pH e da turbidez das amostras. Um *JarTest* (modelo JTC/3P, marca Milan), de três jarros (células) com um volume de 1L foi utilizado em todos os estudos de coagulação-floculação e flotação das microalgas. Uma câmera (modelo JVC – TK 1280E) acoplada à uma lente de zoom (modelo ML-Z07545 Macro Zoom) foi utilizada para a captura de imagens.

2.2. Métodos

Os parâmetros de resposta investigados foram a turbidez e a estabilidade do produto flotado através da análise de imagens binárias do líquido clarificado. Todos os estudos foram realizados em triplicata no aparato experimental ilustrado na Figura 1.

Figura 1- Desenho esquemático do sistema FAD.



Nos estudos de coagulação as culturas foram mantidas sob agitação por 3 minutos a 140 rpm (agitação rápida) após a adição do coagulante. Na etapa de floculação foram utilizados 5 minutos a 36 rpm, para uma boa dispersão do reagente e para a formação de flocos. Na flotação por ar dissolvido, água foi saturada em um vaso saturador (0,5 m de altura e 0,1 m de diâmetro) de volume efetivo de 3 L à uma pressão de 4,0 kgf/cm² durante 35 minutos. Após, a água saturada com ar foi injetada na célula de flotação a uma razão de reciclo de 25% e um tempo de flotação de 3 min foi aplicado. A turbidez das amostras de efluente bruto e clarificado foi determinada para avaliar a eficiência de remoção de microalgas. Adicionalmente, para avaliar a estabilidade do material flotado (agregados bolhas-algas), foi realizada uma leve agitação da camada deste com a pá agitadora do Jartest inserida na altura da camada de flotado por 10 s com uma velocidade de 55 rpm. Antes e após esta agitação, imagens de uma zona do líquido clarificado foram capturadas e, posteriormente, o material em suspensão foi identificado por análise de imagens.

Estes procedimentos foram realizados de acordo com as diferentes etapas deste estudo. A etapa 1 consistia em avaliar a capacidade de remoção das algas através do sistema FAD utilizando cinco concentrações distintas de Cloreto Férrico e Tanfloc SG (20, 30, 40, 50 e 60 mg/L) para quatro faixas de pH (6, 7, 8 e 9). A etapa 2 através da identificação de níveis ótimos da concentração de coagulantes e pH para a remoção de algas (resultados etapa 1), consistia em testar tais valores com os floculantes de caráter catiônico, aniônico e não iônico. E a etapa 3, foi composta pela avaliação da estabilidade do material flotado através da análise de imagem.

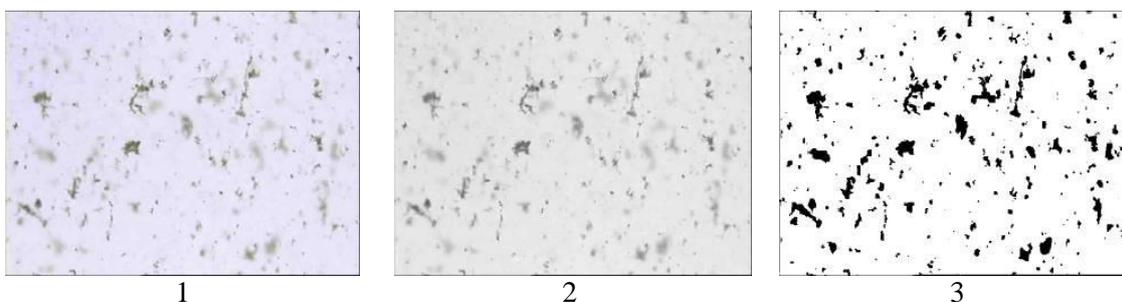
A captura, processamento e análise das imagens foram automatizadas com o auxílio do software Matrox Inspector 8. As imagens foram capturadas com uma câmera filmadora JVC – TK 1280E (NTSC - 768 x 576 pixels), com velocidade de captura (speed shutter) ajustada em 1/500 s, acoplada à uma lente de zoom (ML-Z07545 Macro Zoom – Moritex Corporation). A câmera foi

conectada ao computador através de uma placa de captura Matrox Meteor-II. que, capturou e analisou 3 imagens para cada condição experimental, totalizando 174 imagens. A iluminação do sistema foi realizada por uma placa de LED (Chip-mount LED backlight, modelo MDBC-CW100 – marca Moritex) de 10 x 10 cm e fonte (*Wave Power Source* - MLEK-A230W1LRD, marca Moritex). Assim, a câmara visualizadora foi iluminada por luz transmitida, permitindo a obtenção de imagens com excelente contraste. O campo de visão fotografado foi de 713 mm² (23 x 31 mm).

As principais etapas do processamento de imagens, para identificação e análise dos objetos, foram realizadas no *Software Imagetool* e foram constituídas por etapas de conversão das imagens para tons de cinza (256 tons – 8 bits), ajustes nas configurações de contraste (*automatic contrast*) e limiarização (*threshold*). As análises realizadas após a identificação de objetos foram a de contagem de pixels preto e branco (count black/white) . Para a análise das imagens binárias um novo parâmetro, chamado porcentagem de área α foi definido para representar a quantificação de preto e branco das imagens obtidas. Este parâmetro demonstrada uma correlação com a quantidade e tamanho de algas presentes no efluente após a FAD e após a agitação do material flotado. O valor de α é definido como o número de pixels pretos dividido pelo total de pixels processados na imagem (Equação 1) (Figura 2).

$$\alpha = 100 \times (\sum \text{Pixels Preto}) / (\sum \text{Total Pixels}) \quad (1)$$

Figura 2 – Imagens da zona de líquido clarificado após agitação do material flotado.
Legenda: 1. Versão original 2. Versão preto e branco 3. Versão binária



Após o tratamento das imagens, uma análise estatística foi realizada através do software estatístico SPSS 21.0, uma ferramenta para análise de dados utilizando técnicas estatísticas básicas e avançadas. As variáveis quantitativas foram descritas por média e desvio padrão e comparadas na etapa 1 através da Análise de Variância (ANOVA) com três fatores: pH, coagulante e concentração, complementada pelo teste de Tukey. Para a etapa 2, foi aplicado o teste *t-student* para comparar o tamanho das algas entre os momentos pós FAD e pós agitação para as diferentes combinações de coagulantes e polímeros. Por fim, para a etapa 3 foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) de uma via comparando as diferentes combinações de coagulantes e polímeros quanto ao percentual de redução de pixels pretos. Neste caso, quanto mais agregados presentes nas imagens, menor estabilidade mecânica do produto flotado. O nível de significância adotado foi de 5% ($p \leq 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados obtidos na remoção de algas através do sistema FAD aplicando concentrações distintas de cloreto férrico e Tanfloc SG e diferentes valores de pH (etapa 1). Estes resultados mostram que independente do pH, quanto maior a concentração de cloreto férrico e Tanfloc SG maior a eficiência na remoção de turbidez. No caso do cloreto férrico, os valores de pH 7, 8 e 9 promoveram um comportamento semelhante, enquanto o pH 6 resultou em remoções menores. Já para o Tanfloc SG o pH 7 apareceu como sendo a condição ótima de agregação.

Figura 3 - Remoção da turbidez em função da concentração de coagulante cloreto férrico em diferentes valores de pH. A linha tracejada representa 0 mg/L.

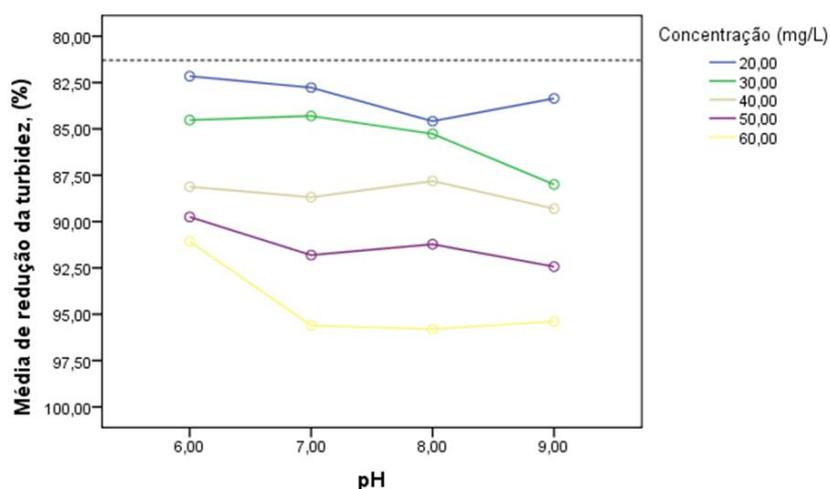
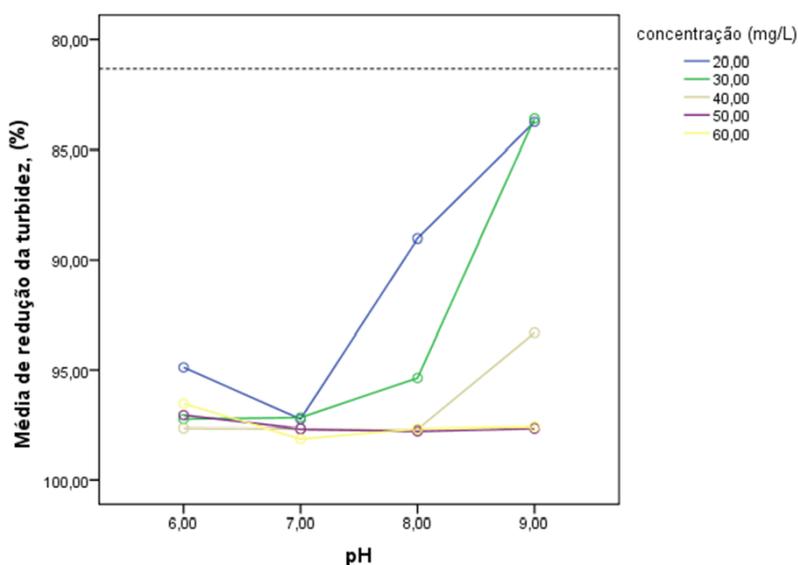
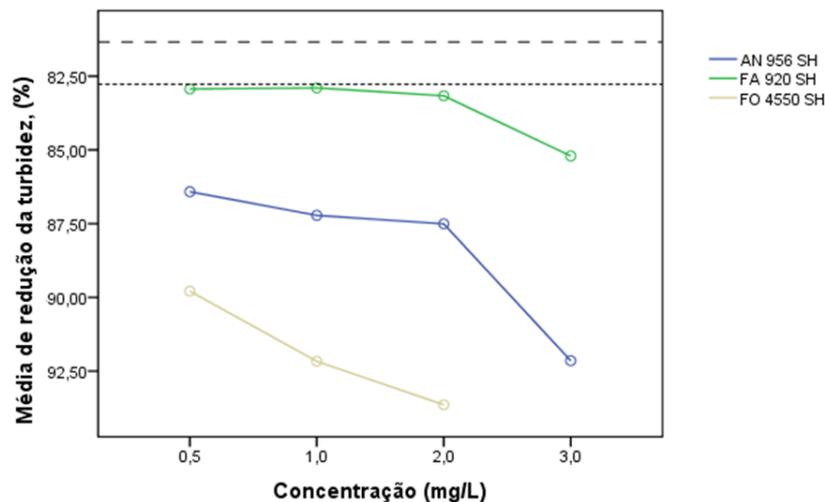


Figura 4 - Remoção da turbidez em função da concentração do coagulante Tanfloc SG em diferentes valores de pH. A linha tracejada representa 0 mg/L.



A Figura 5 mostra a remoção de algas com diferentes combinações de concentrações entre o coagulante cloreto férrico (na melhor condição, pH 7) combinado com os floculantes sintéticos AN956SH, FA920SH e FO4550SH. Neste caso, foi possível observar que os três floculantes apresentaram valores de remoção de turbidez mais favoráveis que as amostras nas quais apenas utilizou-se cloreto férrico (20mg/L) sozinho. Assim, com o aumento da concentração de floculante, houve um aumento na remoção de turbidez até a concentração de 2 mg/L. De acordo com os dados estatísticos, houve interação tripla significativa (coagulante \times polímero \times concentração; $p=0,002$), sendo a combinação entre cloreto férrico e o floculante acrescido da poliacrilamida catiônica FO4550SH, a melhor condição obtida.

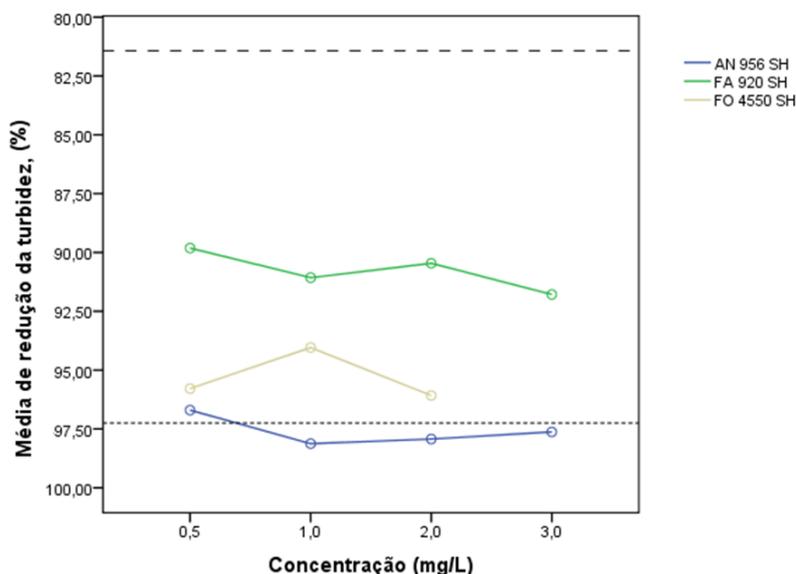
Figura 5 - Remoção da turbidez conforme concentração e polímero para cloreto férrico. A linha com traços grandes representa 0 mg/L e com traços pequenos representa o cloreto férrico 20mg/L.



Já a Figura 6 mostra os resultados obtidos com diferentes combinações de concentrações entre o Tanfloc SG (na melhor condição, pH 7) combinado com os floculantes sintéticos AN956SH, FA920SH e FO4550SH. Neste caso, todos os floculantes e suas distintas concentrações apresentaram valores de remoção de turbidez mais eficientes que a amostra branco (0 mg/L), porém os floculantes FA920SH e FO4550SH obtiveram resultados menos favoráveis em termos de redução de turbidez que a amostra na qual se utilizou apenas o Tanfloc SG (20 mg/L). Segundo os dados estatísticos, houve interação tripla significativa (coagulante \times polímero \times concentração; $p=0,002$), sendo o melhor o Tanfloc SG acrescido do AN956SH.



Figura 6 - Remoção da turbidez conforme concentração e polímero para Tanfloc. A linha com traços grandes representa 0 mg/L e com traços pequenos representa o cloreto férrico 20mg/L.



A Tabela 1 apresenta os valores de α obtidos de acordo com a análise de imagem. Para as hipóteses testadas neste estudo o Tanfloc SG+FO4550SH e cloreto férrico+FO4550SH apresentaram melhor estabilidade do material flotado quando este é exposto a uma agitação mecânica.

Tabela 1 – Valores de α para cada ensaio realizado após a exposição do material flotado a agitação mecânica.

Coagulante-Floculante	α
Branco	5,66
FeCl ₃ (20mg/L)	4,91
FeCl ₃ (60mg/L)	4,39
TanflocSG(20mg/L)	5,49
TanflocSG(60mg/L)	4,26
FeCl ₃ (20mg/L)+AN(0.5mg/L)	0,38
FeCl ₃ (20mg/L)+AN(1.0mg/L)	0,40
FeCl ₃ (20mg/L)+AN(2.0mg/L)	0,69
FeCl ₃ (20mg/L)+AN(3.0mg/L)	0,66
FeCl ₃ (20mg/L)+FA(0.5mg/L)	0,58
FeCl ₃ (20mg/L)+FA(1.0mg/L)	0,67
FeCl ₃ (20mg/L)+FA(2.0mg/L)	0,78
FeCl ₃ (20mg/L)+FA(3.0mg/L)	0,77
FeCl ₃ (20mg/L)+FO(0.5mg/L)	0,35
FeCl ₃ (20mg/L)+FO(1.0mg/L)	0,53
FeCl ₃ (20mg/L)+FO(2.0mg/L)	0,63
TanflocSG(20mg/L)+AN(0.5mg/L)	5,71
TanflocSG(20mg/L)+AN(1.0mg/L)	0,68
TanflocSG(20mg/L)+AN(2.0mg/L)	1,32
TanflocSG(20mg/L)+AN(3.0mg/L)	1,14



Coagulante-Floculante	αa
TanflocSG(20mg/L)+FA(0.5mg/L)	2,42
TanflocSG(20mg/L)+FA(1.0mg/L)	1,18
TanflocSG(20mg/L)+FA(2.0mg/L)	1,93
TanflocSG(20mg/L)+FA(3.0mg/L)	2,96
TanflocSG(20mg/L)+FO(0.5mg/L)	0,60
TanflocSG(20mg/L)+FO(1.0mg/L)	0,46
TanflocSG(20mg/L)+FO(2.0mg/L)	0,40

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou que a coagulação de microalgas geradas em uma Lagoa de Alta Taxa no tratamento de esgotos pode ser eficiente (88%) utilizando o coagulante cloreto férrico em valores de pH entre 7 e 9. Já para a floculação utilizando o polímero natural Tanfloc SG, este valor fica em torno de 7, onde as remoções de turbidez foram de 96%. As combinações de coagulante e floculantes sintéticos, bem como, dos floculantes natural e sintéticos apresentaram melhores performances, de modo que a combinação de cloreto férrico e floculante catiônico FO4550SH promoveu melhores remoções (92%). No caso do Tanfloc SG, a melhor combinação foi com o floculante aniônico AN956SH, cuja remoção foi de 97%. Adicionalmente, as análises de imagens capturadas demonstraram que a combinação de Tanfloc e cloreto férrico com o floculante catiônico FO4550SH promoveu maior estabilidade do material flotado, sendo assim a mais recomendada quando aplicada a um sistema de tratamento de águas residuárias composto por FAD.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Luiz Olinto Monteggia e ao aluno M.Sc. José Carlos Alves Barroso Júnior do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto Pesquisas Hidráulicas pelo valoroso apoio prestado e as empresas Floerger e Tanac pelo fornecimento das amostras de floculantes.

5. REFERENCIAS

BARROSO, J. A. **Produção de Biomassa de Algas em Lagoas de Alta Taxa Alimentadas com Esgoto Sanitário com Posterior Separação por Flotação Por Ar Dissolvido**. Porto Alegre, 144p., 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

BORGES, C. B. **Biomassa de microalgas: separação da microalga marinha *nannochloropsis oculata* por coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido**. Porto Alegre, 93 p., 2014. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

CHUM, H.L., OVEREND, R.P. Biomass and renewable fuels. **Fuel Processing Technology**, 71(1-3), 187-195, 2001.



DISMUKES G.C. ; CARRIERI, D. ; BENNETTE, N. ; ANANYEV G.M. ; POSEWITZ M.C. Aquatic phototrophs: efficient alternatives to land-based crops for biofuels. *Current Opinion in Biotechnology*, 2008.

EDZWALD, J.K.; WINGLER, B.J. Chemical and physical aspects of dissolved-air flotation for the removal of algae. *Aqua AQUAAA*, v. 39, n.1, 1990.

EDZWALD, J. K. Principles and applications of dissolved air flotation. *Water Science and Technology*, 31, 1-23, 1995.

EDZWALD, J.K. Dissolved air flotation and me. *Water research*, v. 44, n. 7, p. 2077-2106, 2010.

KITCHENER, J. A. & GOCHIN, R. The mechanism of dissolved air flotation for potable water basic analysis and a proposal. *Water Research*, 15, 585-590., 1981.

LIU J. C.; CHEN Y. M.; JU Y-H. Separation of algal cells from water by column flotation. 1999

RODRIGUES R. T. **Tratamento de águas oleosas de plataformas marítimas por flotação por ar dissolvido**. Porto Alegre, 1999. Dissertação (Mestrado), Universidade do Rio Grande do Sul, 1999.

RODRIGUES R. T. Princípios e Aplicações da Flotação por Ar Dissolvido (FAD), UFRGS, 2013.

ROSA J. **Tratamento de efluentes oleosos por floculação pneumática em linha e separação por flotação - processo FF**. Universidade do Rio Grande do Sul, 2002.

RUBIO J, SOUZA M. L., SMITH R. W. Overview of flotation as a wastewater treatment technique. *Miner Eng. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, **APHA**, 2002.

TEIXEIRA, M. R.; ROSA, M. J. Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa*. Part I: The key operating conditions . *Separation and purification technology*, n. 52, 2006.

TEIXEIRA, M.R.; ROSA, M.J. Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa*. Part II. The effect of water background organics. *Separation and Purification Technology*, v. 53, n.1, p. 126-134, 2007.

TEIXEIRA, M. R., SOUSA, V. & ROSA, M. J., Investigating dissolved air flotation performance with cyanobacterial cells and filaments. *Water Research*, 44, 3337-3344, 2010.

TCHOBANOGLIOUS G. ; BURTON F. ; STENSEL D. *Wastewater Engineering, Metcalf & Eddy*, Mc Graw Hill. 2003.

VAN PUFFELEN, J. et al. Dissolved air flotation in potable water treatment: the Dutch experience. *Water Science and Technology*, v. 31, n.3, p. 149-157, 1995.

VINNETT, L., ALVAREZ-SILVA, M. Indirect estimation of bubble size using visual techniques and superficial gas rate. *Minerals Engineering*. V. 81, p. 5-9, 2015.