



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## REMOÇÃO DE MICROALGAS (*SCENEDESMUS SP.*) VIA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD) DE UMA ÁGUA RESIDUÁRIA DA MINERAÇÃO DE CARVÃO

**Marcio Alexandre Nicknig** – [marcionicknig@gmail.com](mailto:marcionicknig@gmail.com)

Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Sabrina Luísa Fritsch** - [sa\\_fritsch@hotmail.com](mailto:sa_fritsch@hotmail.com)

Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Ivo André Homrich Schneider** - [ivo.andre@ufrgs.br](mailto:ivo.andre@ufrgs.br)

Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – Bairro Agronomia – Campus do Vale – Setor 6 – Prédio 43819. CEP 91501-970 – Porto Alegre - RS

**Resumo:** Estudou-se neste trabalho os processos de coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido (FAD) para a concentração de microalgas – gênero *Scenedesmus sp* - cultivadas em uma água proveniente do tratamento de uma drenagem ácida de minas. Inicialmente, verificou-se que as algas mantêm-se suspensas no meio aquoso em ampla faixa de pH, sendo necessário o uso de reagentes para sua remoção. Para tal, foram utilizados coagulantes à base de taninos, tendo em vista a possível destinação do concentrado de microalgas para processos de biodigestão e geração de biodiesel e biogás. Utilizaram-se também polímeros catiônicos e aniônicos para a definição dos parâmetros ótimos do processo de floculação. Na operação de FAD, investigou-se a influência da pressão de saturação e a taxa de reciclo, a fim de avaliar a eficiência de remoção do material suspenso. Verificou-se que a utilização de 300 mg/L de coagulante à base de tanino, seguido da adição de 2 mg/L de polímero aniônico, em pH 8, foi a melhor condição para agregação das algas. Quanto ao processo de flotação por ar dissolvido, os melhores resultados foram obtidos a uma pressão de saturação de 5 atm e uma taxa de reciclo de 20%. Conclui-se que a utilização de coagulante à base de tanino, junto com polímeros floculantes, integrado ao processo de flotação por ar dissolvido, é uma alternativa viável e eficaz para a recuperação de mais de 95% da biomassa de algas, com a remoção da quase totalidade da turbidez e cor do efluente final.

**Palavras-chave:** Microalgas, Flotação por Ar Dissolvido, Taninos, Cloreto Férrico

## MICROALGAE (*SCENEDESMUS SP.*) REMOVAL BY DISSOLVED AIR FLOTATION (DAF) FROM A COAL MINING BEARING WASTEWATER

**Abstract:** The present work aimed the optimization of the coagulation, flocculation, and dissolved air flotation processes for the concentration of a microalgae population – *Scenedesmus sp* – cultivated in a coal mining bearing wastewater. Initially, it was found that the algae biomass remains suspended in the water at a wide range of pH, being necessary the use of reagents for destabilization. Then, tannin coagulants were applied looking forward a complete removal of the algae biomass from the medium and a possible destination for biogas and biodiesel production. There were carried studies with

Realização



Correalização



Informações:

[qualidadeambiental.org.br](http://qualidadeambiental.org.br)  
[abes-rs@abes-rs.org.br](mailto:abes-rs@abes-rs.org.br)  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

*cationic and anionic polymers to establish the best flocculation conditions. DAF studies considered the air saturation pressure and the recirculation rate to attain the best condition for suspended solid removal. Best algae coagulation/flocculation were attained with the use of 300 mg/L of tannin, followed by the addition of 2 mg/L of an anionic polymer at pH 8.0. Regarding the flotation, best results were attained with a saturation pressure of 5 atm and a recycle rate of 20%. It is possible to conclude that the use of tannin-based coagulant is a viable and effective alternative for the recovery of more than 95% of the algae biomass, with the removal of almost all turbidity and color of the final effluent.*

**Keywords:** *Microalgae, Air Dissolved Flotation (DAF), Tannins, Ferric chloride*

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## 1. INTRODUÇÃO

A Drenagem Ácida de Minas (DAM) é um dos principais passivos ambientais deixados pela mineração no sul do Brasil (SOARES *et al.*, 2008). Formada pela infiltração da chuva nas regiões carboníferas, através do rejeito exposto ou gerada na percolação da água nos locais de lavra, a DAM é responsável pela acidificação de uma quantidade significativa das águas superficiais do estado de Santa Catarina. Nos ambientes aquáticos impactados a vida é praticamente extinta, restando apenas algumas poucas comunidades de seres vivos capazes de sobreviver nas condições de pH próximo a 2 impostas pela ação da DAM (FREITAS, 2010; FREITAS *et al.*, 2011).

O tratamento da DAM é comumente realizado pelo processo de neutralização na faixa de pH entre 7,0 - 9,0, promovendo a precipitação dos metais ferro, alumínio, manganês e zinco (SILVA e RUBIO, 2009). Contudo, esse processo gera um lodo composto basicamente por hidróxidos metálicos, e um efluente tratado contendo concentrações variadas de sulfatos, em alguns casos, com níveis de manganês acima do exigido para lançamento em corpos receptores pela legislação. Essas águas são recicladas no próprio empreendimento mineiro ou descartadas em algum corpo receptor próximo (SILVEIRA *et al.*, 2009).

Na presente linha de pesquisa, investiga-se o uso dessa água para o crescimento de algas para aplicações industriais. Destaca-se o gênero *Scenedesmus sp.*, alvo de estudo em nível mundial para a produção de biodiesel e biogás (CHENG *et al.*, 2011; LEITE *et al.*, 2013; GHORBANI *et al.*, 2018). As atuais formas de colheita/separação das microalgas incluem a microfiltração, a sedimentação e sistemas mistos de filtração e centrifugação (SIM *et al.*, 1988), porém nenhum destes sistemas reduziu os custos do uso de microalgas a um patamar que torne atrativo comercialmente o uso desta biomassa para uso em larga escala (IDE *et al.*, 2016). A sedimentação gravimétrica, apesar do baixo custo, apresenta uma baixa eficiência devido à massa específica das algas ser muito próxima da água, necessitando longos tempos de sedimentação, isso quando ainda são sedimentáveis. Assim, a flotação por ar dissolvido, pela injeção de microbolhas no sistema, tem potencial para promover uma efetiva remoção das algas. Ainda, o uso de reagentes biodegradáveis, como o tanino de Acácia, podem apresentar vantagens considerando a futura aplicação da biomassa.

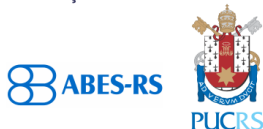
Neste contexto, a utilização de lagoas de polimento, com águas residuárias da mineração de carvão, como meio de cultivo de microalgas para posterior uso de sua biomassa na geração de energia, pode se configurar em uma forma de reduzir os níveis de manganês para lançamento, além de estender a cadeia produtiva de geração de energia. Assim, o presente trabalho teve por objetivo otimizar o processo de flotação por ar dissolvido (FAD), em escala bancada, para a remoção da biomassa de algas utilizando-se coagulantes a base de taninos. Para fins de comparação, foi também avaliada a eficiência do cloreto férrico, coagulante com extenso uso e bibliografia, estabelecendo-se assim um referencial técnico de comparação com os métodos já consagrados de remoção.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Água Residuária da Mineração de Carvão

A água residuária da mineração de carvão foi gerada a partir de uma drenagem ácida de mina coletada na região Carbonífera de Criciúma. O efluente foi neutralizado com a adição de uma solução de hidróxido de cálcio (CaOH), na concentração de 200 g/L, via bureta milimétrica, até pH 7,0. A neutralização da drenagem diluída ocasionou precipitação de lodo metálico característico, sendo este decantado na própria vidraria utilizada (copo de Becker – 2 L). Posteriormente, o lodo é filtrado (filtro analítico 80 g), e a solução clarificada empregada para o crescimento das algas (aqui denominada de DAM tratada). Tipicamente, essa água apresenta a seguinte composição (Tabela 1).

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



Tabela 1 - Caracterização da água de mineração após o tratamento por neutralização e precipitação dos metais.

Parâmetro	Resultado
pH	7,1
Alumínio total (mg/L)	0,1
Cálcio total (mg/L)	472
Condutividade (µS/cm)	3,6
Dureza tota (mg/L em CaCO <sub>3</sub> )	1568
Ferro total (mg/L)	0,1
Fósforo total (mg/L)	<0,01
Magnésio total (mg/L)	37
Manganês total (mg/L)	4,7
Nitrogênio total Kjeldahl (mg/L)	2,2
Potássio total (mg/L)	13
Sódio total (mg/L)	311
Zinco total (mg/L)	0,09
Sulfato (mg/L)	1553

## 2.2. Inóculo

Foram mantidos inóculos vivos de uma cepa de *Scenedesmus Sp.* através de incubação contínua, com renovação da cultura de inóculo a cada 10 dias. O tempo de 10 dias foi obtido por Ramirez (2013) como pico populacional ativo da cultura, tendo após este período findado o tempo de vida dos indivíduos mais antigos e iniciado o decaimento populacional, restando em solução matéria orgânica morta (organelas dispersas, tecido vegetal residual, etc).

Os inóculos foram preparados em três frascos Erlenmeyer de 500 mL, totalizando 1,5 L. Um novo inóculo é produzido com 50 mL de outro inóculo já maduro (10 dias de vida), adicionado de 9,5 mL do *meio Guillard Modificado*, criado por Stein (1980) – e 450 mL de água deionizada. A composição do *meio Guillard Modificado* é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição do meio de cultura Guillard Modificado.

Macronutrientes	g/L
CaCl <sub>2</sub> *2H <sub>2</sub> O	36,76
MgSO <sub>4</sub> *7H <sub>2</sub> O	36,97
NaHCO <sub>3</sub>	12,6
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	8,71
NaNO <sub>3</sub>	85,01
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> *7H <sub>2</sub> O	28,42
Micronutrientes	g/L
Na <sub>2</sub> EDTA	4,36
FeCl <sub>3</sub> *6H <sub>2</sub> O	3,15
CuSO <sub>4</sub> *5H <sub>2</sub> O	0,01
ZnSO <sub>4</sub> *7H <sub>2</sub> O	0,022
CoCl <sub>2</sub> *6H <sub>2</sub> O	0,01



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

MnCl <sub>2</sub> *4H <sub>2</sub> O	0,18
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> *2H <sub>2</sub> O	0,006

### 2.3. Cultivo de Algas

Preparou-se um aquário de 10 L de capacidade com 9 L de DAM tratada, onde se adicionou 1 L de solução composta por um inóculo contendo cepa de *Scenedesmus sp.* e uma solução de nitrogênio e fósforo para fornecer os micronutrientes essenciais ao crescimento das microalgas - completando-se o total de 10 L. O meio de cultivo foi preparado com a adição de 1 L de dispersão de microalgas maduras (inóculo com 10 dias de vida) associado a 132,3 mL de solução fonte de nitrogênio e fósforo (85,01 g de NaNO<sub>3</sub> e 8,71 g de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> diluídos em 1 L). O aquário foi, por fim, avolumado a 10 L com a DAM tratada, previamente produzida.

A cultura se desenvolveu por 10 dias com um fotoperíodo de 8 horas/dias sob iluminação com intensidade e tempo de exposição controlada e com o fornecimento de ar atmosférico via borbulhamento, tendo-se desta maneira as condições de luz, CO<sub>2</sub> e temperatura ideais para o crescimento das algas. A quantidade de luz fornecida foi medida via luxímetro digital (modelo MLM 1011), sendo todas as vidrarias contendo cultura de microalgas – Erlenmeyers e aquários – posicionadas de forma a receber 570 luxes dentro da incubadora. A Figura 1 mostra os inóculos montados já em incubação, em frascos Erlenmeyer de 500 mL (a), e o cultivo das algas em DAM tratada em aquários (b).

Figura 1 - (a) Inóculos preparados em vasos Erlenmeyer (500 mL) e em meio Guillard Modificado; e (b) Cultura em aquário de 10 litros

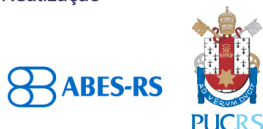


### 2.4. Agregação das Microalgas

A dispersão de algas apresentou alguma propensão à sedimentação em seu pH de origem (pH 7), esse fato incitou a realização de ensaios de Cones Imhoff, para avaliar o potencial de sedimentação em função do pH. Os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 10561 Água – Determinação de Sólidos Sedimentáveis – Método do Cone Imhoff. O ajuste do pH foi realizado com solução de NaOH a 0,5 M, e solução de HCl de 0,2 M.

Posteriormente, estudou-se a coagulação das microalgas pela aplicação de coagulantes à base de tanino – Tanfloc SG e Tanfloc MT – e a floculação pela aplicação de três polímeros – Nalco 9909 (catiônico), Floerger AN 956 SH (aniônico) e Floerger FO 4800 SH (catiônico). Os ensaios de coagulação e floculação foram realizados de forma a conciliar um valor de pH que abrangesse as especificações do fabricante dos coagulantes e floculantes utilizados (pH's entre 4 e 8) e o valor de

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



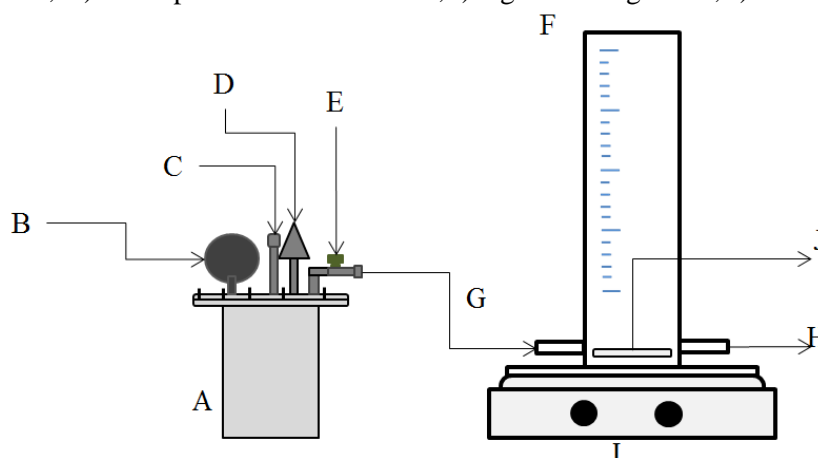
potencial de hidrogênio que propicia maior volume de lodo (mL/L) obtido nos ensaios de sedimentação sem reagentes. Os coagulantes a base de tanino foram testados nas concentrações de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 mg/L (este último apenas quando necessário para identificação da concentração ótima). Após determinadas as concentrações de maior eficiência na coagulação, foram investigadas as quantidades ideais de polímeros floculantes. Preparou-se os polímeros já citados em soluções “stock” de 1 g/L, adicionando-se volumes controlados – 1, 2, 3, 4, 5 e 6 mL’s – para determinação das quantidades ótimas do reagente.

A etapa de coagulação/floculação foi realizada via testes de jarros, utilizando-se de beckers de 0,5 L, agitadores magnéticos e mesa de agitação com rotação controlada – definindo-se os valores de 300 RPM (rotações por minuto) para a agitação rápida (um minuto) e 50 RPM para a agitação lenta (durante cinco minutos). A fase de agitação rápida promoveu a dispersão dos reagentes, propiciando completa mistura e garantindo a ocorrência da interação entre o reagente e o efluente alvo, enquanto a agitação lenta propiciou a formação dos coágulos e flóculos, durante a agregação das partículas já quimicamente ativadas pelos reagentes (DI BERNARDO, 2009). Após a agitação lenta, foi aguardada a decantação do material agregado durante dez minutos, após os quais foram coletadas amostras para medição de cor (espectrofotometria) e turbidez.

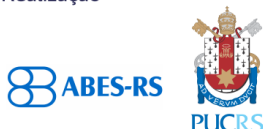
## 2.5. Flotação das Microalgas

Os ensaios de flotação foram realizados com uma de coluna de flotação em escala de bancada, construída em vidro, com capacidade para 1,5 L e possuindo entrada para o líquido saturado com ar dissolvido e saída para coleta de amostra, ambas no fundo da coluna. As condições de processo empregadas – concentração de reagentes, gradientes de agitação – foram as mesmas definidas nas etapas de coagulação e floculação. O tempo envolvido entre a entrada da parcela com ar dissolvido e a retirada da amostra pelo fundo da coluna foi de 2 min. Este tempo foi adotado para que as microbolhas tivessem oportunidade de agregar aos flocos que por ventura não haviam ainda sido capturados no momento da inserção do ar na coluna, propiciando sua flotação. As alíquotas retiradas do fundo da coluna foram posteriormente analisadas em relação aos parâmetros cor e turbidez. O sistema de flotação é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Sistema de flotação em bancada. A) Vaso saturador; B) Manômetro; C) Entrada de ar pressurizado; D) Alívio de pressão; E) Válvula agulha; F) Coluna de Flotação; G) Entrada do líquido saturado em ar; H) Saída para coleta de amostra; I) Agitador magnético; J) Haste magnética.



Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



As variáveis do processo de flotação investigadas foram a pressão de saturação e a taxa de reciclo. A pressão de saturação tem papel destacado na configuração das bolhas geradas via saturação e despressurização em válvula agulha – método adotado neste trabalho. Foram avaliadas as pressões de saturação de 2, 3, 4 e 5 atm, com tempo de saturação de 25 minutos, e despressurização via válvula agulha. O volume saturado de ar foi injetado na base da coluna de flotação. O volume de líquido saturado foi constituído do próprio efluente rico em algas alvo do estudo, tratado via coagulação e floculação, com as mesmas condições aplicadas na célula de flotação em cada um dos ensaios. Esse procedimento procurou simular efetivamente o sistema de reciclo de efluente em uma unidade industrial.

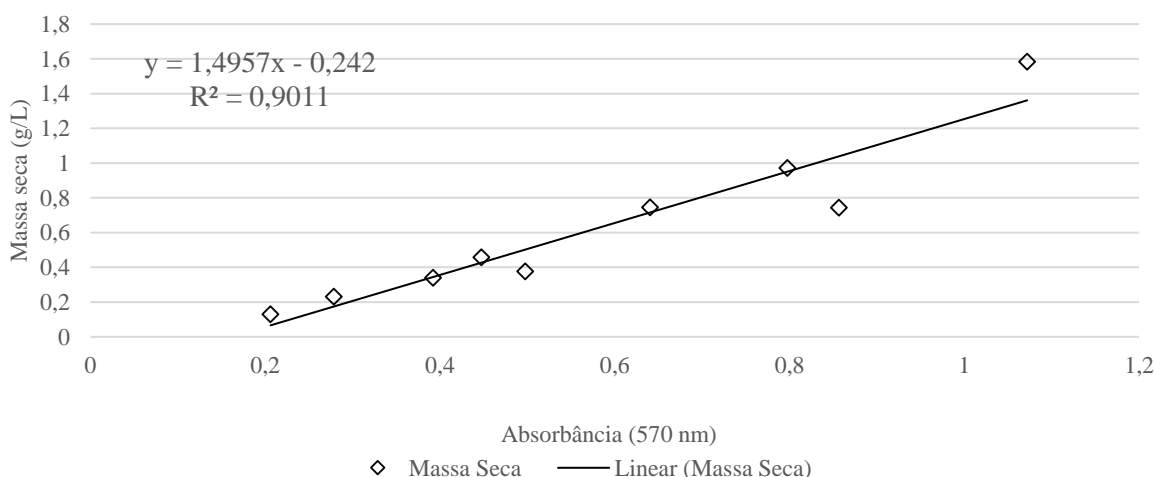
As taxas de reciclo empregadas foram de 10, 20 e 30%. Por fim, cada uma das etapas descritas também contou com avaliação do uso de cloreto de ferro III (ou férrico) - ClFeIII, um coagulante vastamente utilizado para coagulação/floculação de efluentes, inclusive para a colheita de microalgas – gêneros *scenedesmus* e *chlorella* – visando geração de biodiesel (IDE et al., 2016).

## 2.6. Procedimentos Analíticos

Foram utilizados como parâmetros de avaliação da presença e concentração de microalgas a turbidez (Unidades Nefelométricas de Turbidez – NTU) e espectrofotometria na faixa do visível, em comprimento de onda selecionado de 570 nm. Este comprimento de onda responde à matéria orgânica e à fluorescência da clorofila (LOURENÇO, 2006). Foram utilizados um turbidímetro portátil (DIGIMED DM-TU) e espectrofotômetro (UV-1100 Spectrophotometer Pro Tools) para a tomada dos dados. A medição do pH, nas diversas etapas do estudo, foi realizada com um Medidor de Qualidade da Água (AKSO AZ Water Quality Meter – model 86505), equipamento capaz de medir pH, condutividade elétrica, salinidade entre outros parâmetros.

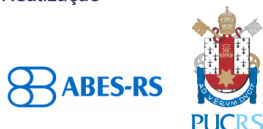
Foi determinada a correlação entre a absorbância obtida na faixa de radiação de 570 nm e a biomassa seca de algas presente na amostra. Estas duas grandezas são relacionadas pela Lei de Lambert-Beer, obtendo-se resultados confiáveis (LOURENÇO, 2006). A Figura 3 mostra a correlação obtida.

Figura 3 - Correlação linear entre a absorbância na faixa de 570 nm e a massa seca de microalgas após filtração.



Após o período estipulado para cultivo em aquários de 10 L a cultura de alga apresentou, em média, 0,56 g/L de massa seca e 210 NTU de turbidez. Contudo, devido à variação natural nos valores de sólidos suspensos, e por consequência de absorbância, os percentuais de remoção foram calculados a partir da absorbância inicial e dos valores obtidos após as operações de coagulação,

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



floculação ou flotação de cada batelada de crescimento. O cálculo da remoção de algas foi realizado pela seguinte equação:

$$R_{\%} = \frac{P_f}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$R_{\%}$  = Remoção obtida para o parâmetro (turbidez ou cor) (%);

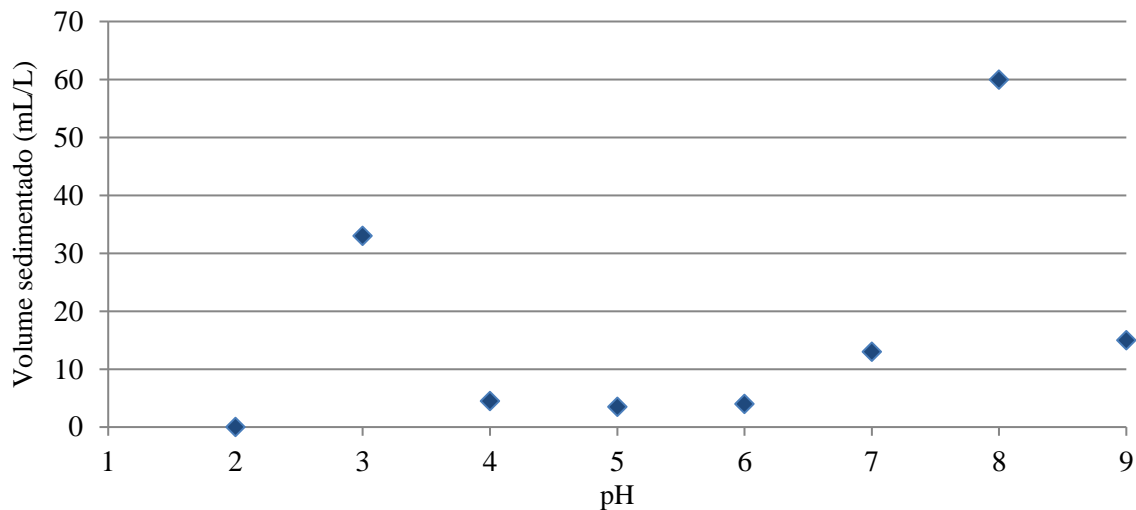
$P_f$  = Valor medido (turbidez ou cor) após aplicação do tratamento;

$P_i$  = Valor medido (turbidez ou cor) anterior ao tratamento, no décimo dia de cultivo do aquário;

### 3. RESULTADOS

Inicialmente, foram realizados ensaios de Cones Imhoff tendo como variável o pH. Nestes ensaios, apurou-se que a tendência de sedimentação natural das microalgas, sem a adição de reagentes. A figura 4 expressa os resultados obtidos de lodo sedimentado (mL/L) em função do pH ajustado para o meio. Observou-se que, nos pH's 3 e 8 houve uma maior sedimentação de algas. O melhor resultado foi em pH 8,0, - atingindo 60 mL/L de microalgas sedimentadas. Contudo a clarificação não foi completa, havendo muitas algas ainda dispersas no meio. Assim, é importante o uso de reagentes para promover a desestabilização e agregação da biomassa de algas.

Figura 1 - Lodo sedimentado em ensaio de Cones Imhoff em função do pH.



O fabricante dos coagulantes Tanfloc SG e Tanfloc MT orienta a aplicação de seus produtos entre os pH's 4 e 8. Somada com a maior suscetibilidade natural das algas sedimentarem em pH 8,0, optou-se pela adoção do pH 8,0 para o seguimento dos estudos. Os ensaios de coagulação foram realizados como descrito na metodologia. As Figuras 5 e 6 mostram, respectivamente, os valores de remoção de cor e turbidez obtidos com os coagulantes Tanfloc SG, Tanfloc MT e cloreto férrico em função da quantidade de coagulante utilizada.

Verifica-se que a partir da concentração de 200 mg/L de Tanfloc SG e Tanfloc MT, os resultados obtidos são similares, próximos a 90% de remoção de cor das amostras. O cloreto férrico apresenta bons resultados já em concentrações menores, e atinge eficiências semelhantes nas maiores

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



concentrações avaliadas. O mesmo comportamento se dá com o parâmetro turbidez (Figura 7). Fato posto, escolheu-se pelo Tanfloc SG, na concentração de 300 mg/L, considerando uma margem de segurança, para a continuidade dos estudos, agora com polímeros floculantes.

Figura 2 - Remoção de cor no comprimento de 570 nm com a aplicação dos coagulantes estudados. Condições: agitação lenta = 50 RPM; agitação rápida = 300 RPM; pH = 8,0.

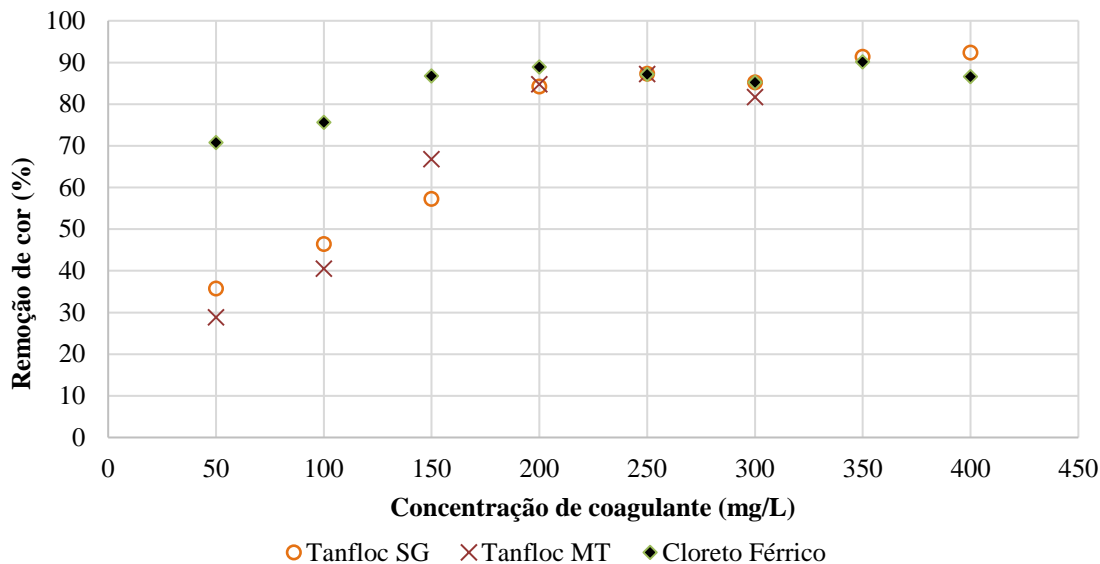
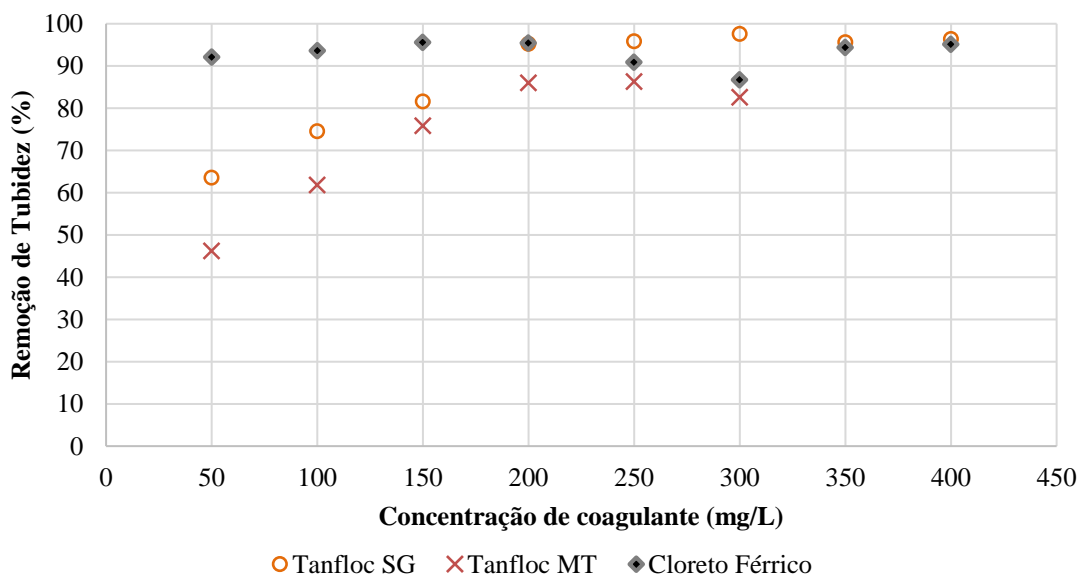


Figura 6 - Remoção da turbidez durante ensaio de coagulação com os reagentes estudados. Condições: agitação lenta = 50 RPM; agitação rápida = 300 RPM; pH = 8,0.



Os floculantes foram preparados e utilizados, em concentrações entre 1 e 7 mg/L, para melhorar as características de separação sólido-líquido dos coágulos gerados com o uso do coagulante Tanfloc SG, na concentração de 300 mg/L, e o pH ajustado para o mais próximo possível de 8. Os resultados obtidos com o uso de cada floculante estão apresentados nas Figuras 7 e 8.



Os dados de remoção de cor mostraram que o polímero Floerger AN 956 SH – um polímero aniônico de alto peso molecular – obteve ótimos índices de floculação na dosagem de 2 mg/L. Os dados sobre a remoção de turbidez indicaram uma maior eficácia, nesta dosagem, do polímero catiônico Nalco 9909. Contudo, ambos polímeros obtiveram taxas de remoção acima de 95%, sendo assim escolhido para os ensaios de flotação o polímero Floerger AN 956 SH.

Figura 7 - Remoção de cor no comprimento de 570 nm via coagulação e floculação. Condições: 300 mg/L Tanfloc SG; agitação lenta = 50 RPM; agitação rápida = 300 RPM; pH = 8.

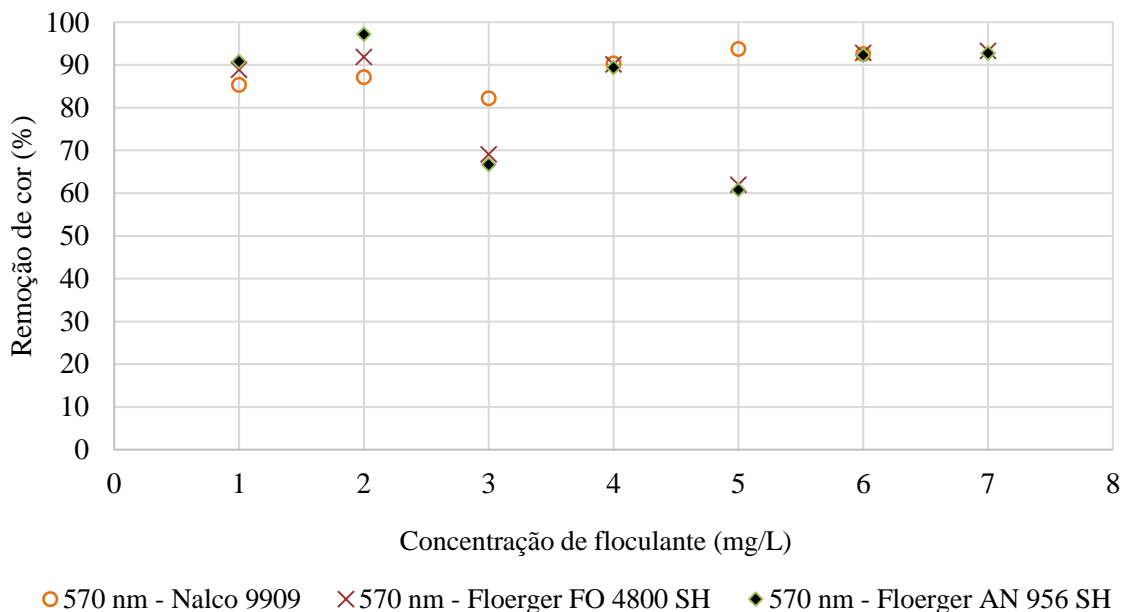
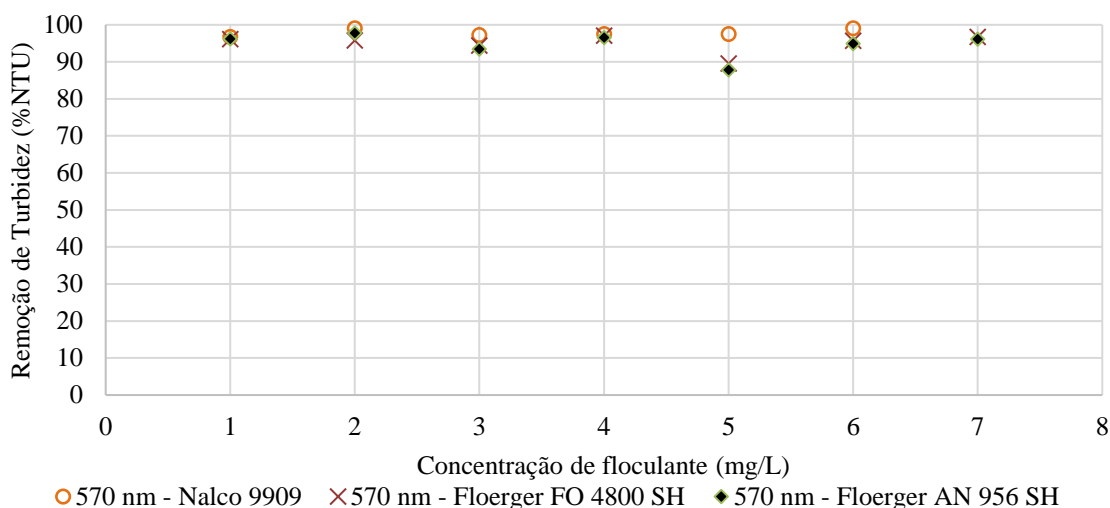


Figura 8 - Remoção de turbidez (NTU) via coagulação e floculação com os polímeros estudados. Condições: 300 mg/L Tanfloc SG; agitação lenta = 50 RPM; agitação rápida = 300 RPM; pH = 8.



Os ensaios de flotação em função da pressão de saturação foram realizados com os parâmetros definidos nas etapas anteriores: adição de 300 mg/L de Tanfloc SG e agitação rápida (300

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375

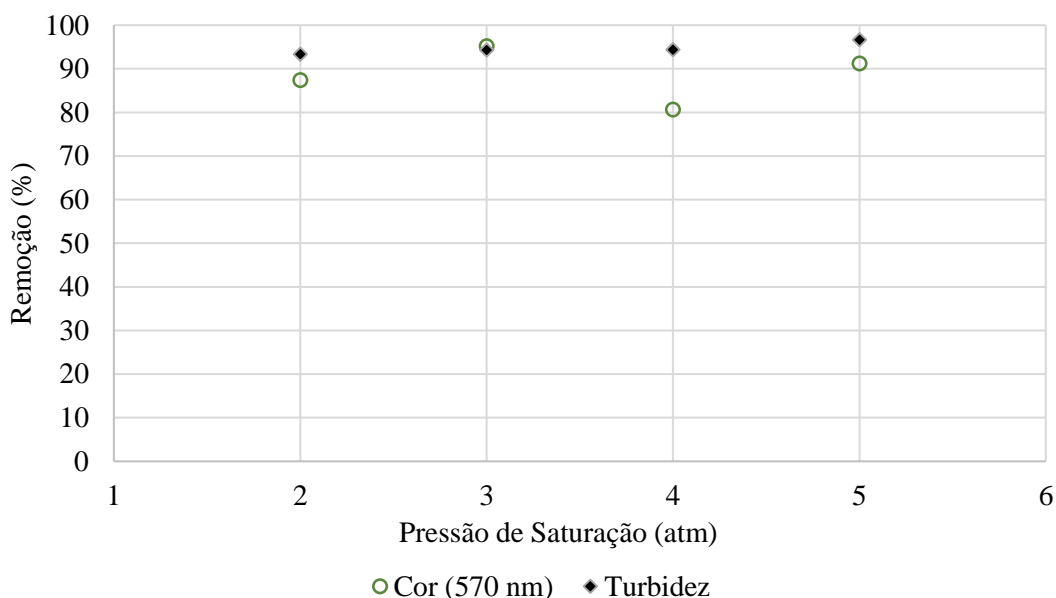


rpm) por 1 minuto; adição de 2 mg de Floerger NA 956 SH e agitação lenta por 5 minutos (50 rpm). Empregou-se, neste caso, uma taxa de reciclo de 20% (sendo que o fluido utilizado no saturador foi o próprio efluente após a remoção de um lote algas por coagulação-floculação e sedimentação).

Avaliaram-se as pressões de saturação de 2, 3, 4 e 5 atm, sendo mantido o tempo de 2 minutos para ascensão das microbolhas na coluna. Os valores de remoção de cor e turbidez estão apresentados na Figura 9. Os melhores resultados foram obtidos a uma pressão de saturação de 3 e 5 atm, sendo a remoção de cor mais eficiente a 3 atm e a remoção de turbidez, na pressão de 5 atm.

Deve-se ressaltar que o tamanho médio de microbolhas tem correlação positiva com o aumento da pressão de saturação, atingindo patamar constante após pressão de 5 atmosferas (atm), interferindo também na distribuição geral da ocorrência de diâmetros maiores e menores que a média (Diâmetro Médio de Sauter), sendo predominantes bolhas menores de 35  $\mu\text{m}$  nas pressões de 2 e 3 atm e atingindo 38  $\mu\text{m}$  em 5 atm (RODRIGUES & RUBIO, 2003).

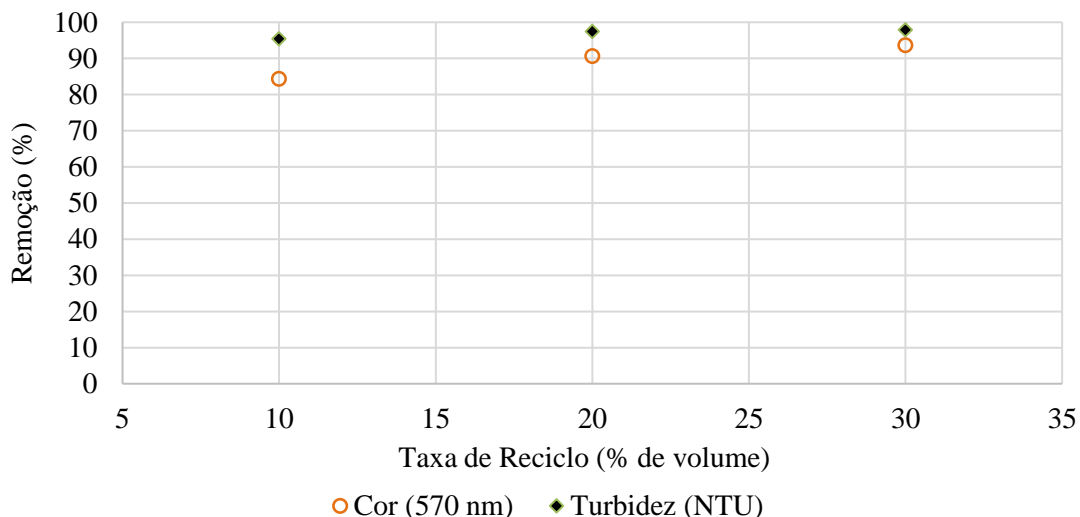
Figura 3 - Remoção de cor e turbidez em função da pressão de saturação do reciclo. Condições: 300 mg/L Tanfloc SG; agitação rápida = 300 RPM; 2 mg/L de Floerger AN 956 SH, agitação lenta = 50 RPM; pH = 8,0; taxa de reciclo de 20%.



Os ensaios de flotação para otimização da taxa de reciclo foram realizados com os parâmetros definidos nas etapas de coagulação e floculação: adição de 300 mg/L de Tanfloc SG e agitação rápida (300 rpm) por 1 minuto; adição de 2 mg de Floerger NA 956 SH e agitação lenta por 5 minutos (50 rpm). Empregou-se, neste caso, uma pressão de saturação de 5 atm. Os resultados mostram valores altos de remoção de cor e turbidez para taxas de reciclo de 20 e 30%. Os dados obtidos estão de acordo com literatura, sendo a taxa de recirculação ideal em processos de flotação geralmente encontrada entre 10 e 30 % (WANG et al., 2004). Uma maior taxa de recirculação potencializa de forma significativa a eficácia do processo de flotação, porém implica em custos energéticos significativos (AZEVEDO, 2013).

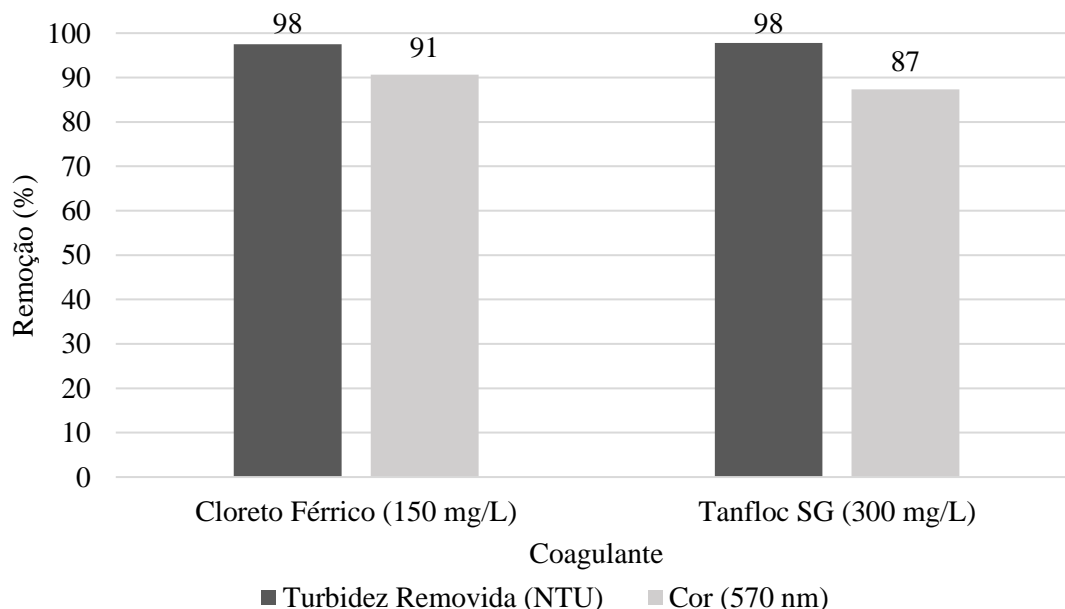


Figura 4 - Remoção de cor e turbidez em função da taxa de reciclo. Condições: 300 mg/L Tanfloc SG; agitação rápida = 300 RPM; 2 mg/L de Floerger NA 956 SH; agitação lenta = 50 RPM; pH = 8; Psat = 5 atm.



Para fins de comparação, foi realizado um ensaio de flotação, com as mesmas condições de processo, substituindo o Tanfloc SG por cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) na concentração de 150 mg/L. Os resultados estão na Figura 11.

Figura 5 - Comparativo entre remoção de cor e turbidez entre o uso de  $\text{FeCl}_3$  e Tanfloc SG. Condições: Agitação lenta = 50 RPM; Agitação rápida = 300 RPM; pH = 8,0; 2 mg/L de Floerger NA 956 SH; Psat = 5 atm.



Os valores obtidos foram muito próximos. Todavia, o Tanfloc SG, por ser um composto de origem orgânica, portanto biodegradável, o mais indicado para os usos potenciais levantados para o concentrado de gas, que são a geração de biodiesel e biogás.



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

#### 4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo permitiu concluir que os coagulantes à base de tanino, em especial o Tanfloc SG, nas das condições deste trabalho, são uma alternativa viável para a operacionalização da flotação por ar dissolvido na remoção e concentração de biomassa de microalgas. A utilização dos taninos permite utilizar um reagente orgânico passível de biodigestão, além de serem subprodutos da indústria de extração de madeira, possibilitando que se feche um ciclo ecologicamente eficiente no uso destes recursos. Da mesma maneira, o processo de flotação por dissolvido (FAD) mostrou-se eficaz na remoção da biomassa de algas, desde que estejam devidamente floculadas.

Estudos futuros se fazem necessários, em especial estudos em escala piloto, na análise financeira comparativa entre o uso de taninos e coagulantes consagrados pela literatura – como sais de ferro e de alumínio. Ainda, podem permitir a produção em maior escala de microalgas, permitindo estudos sobre biodigestão desta massa biológica acrescida dos reagentes à base de taninos.

Os resultados podem subsidiar um uso complementar da água de mineração, no caso em lagoas de tratamento biológico (polimento de efluente) em condições de desenvolvimento de algas, acrescentando valor comercial aos sistemas convencionais de tratamento de efluentes de empreendimentos minerários, em especial da mineração de carvão no sul do Brasil.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq, FAPERGS e UFRGS pelo apoio para o desenvolvimento da presente pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. **Estudos de Flotação por Ar Dissolvido com Bomba Multifásica (FAD-B) e Sedimentação Lamelar (SL) no Tratamento de Água Bruta para Abastecimento Público (Canoas-RS)**. Porto Alegre, 163 p., 2013. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CHENG, Y. L.; JUANG, Y. C.; LIAO, G. Y.; TSAI, P. W.; HO, S. H.; YEH, K. L.; CHEN, C. Y.; CHANG, J. S.; LIU, J. C.; CHEN, W. M.; LEE, D. J. Harvesting of *Scenedesmus obliquus* FSP-3 using dispersed ozone flotation. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 1, p. 82–87, 2011.

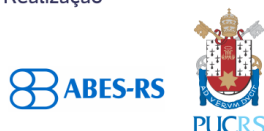
DI BERNARDO, L.; SABOGAL, L. P.; **Seleção de Tecnologias de Tratamento da Água**. São Carlos: LDiBe, 2009. 897 p.

FREITAS, A. P. P. **Algas perifíticas como indicadoras de qualidade em ambientes impactados pela drenagem ácida de minas na região carbonífera de Santa Catarina**. Porto Alegre, 76 p., 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FREITAS, A. P. P.; SCHNEIDER, I. A. H.; SCHWARTZBOLD, A. Biosorption of heavy metals by algal communities in water streams affected by the acid mine drainage in the coal-mining region of Santa Catarina state, Brazil. **Minerals Engineering**, v. 24, n. 11, p. 1215–1218, 2011.

GHORBANI, A.; RAHIMPOUR, M. R.; GHASEMI, Y.; RAEISSI, S. The Biodiesel of Microalgae as

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

a Solution for Diesel. **Energies**, n. April 2018, p. 1–17, 2018.

IDE, W. R.; IDE, C. N.; RIBEIRO, M. L.; BONCZ, M. Á. Uso da Flotação por Ar Dissolvido (FAD) para colheita de microalgas presentes em lagoas de polimento. **AIDIS**, n. April 2016, p. 4, 2016.

LEITE, G. B.; ABDELAZIZ, A. E. M.; HALLENBECK, P. C. Algal biofuels: Challenges and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 145, p. 134–141, 2013.

LOURENÇO, S. D. O. **Cultivo de Microalgas Marinhas: Princípios e Aplicações**. São Carlos - SP, Brasil. Editora RiMa, 2006. 606 p.

RAMIREZ, N. N. V. **Estudo do Crescimento Da Microalga Scenedesmus Sp. em Vinhaça**. Porto Alegre, 109 p., 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

RODRIGUES, R. T.; RUBIO, J. New basis for measuring the size distribution of bubbles. **Minerals Engineering**, v. 16, n. 8, p. 757–765, 2003.

SILVA, R.D.B.; RUBIO, J. Treatment of acid mine drainage (AMD) from coal mines in South Brazil. **International Journal of Coal Preparation and Utilization**, v. 29, p. 192-2002, 2009.

SILVEIRA, A.N.; SILVA, R.D.B.; RUBIO, J. Treatment of acid mine drainage (AMD) from coal mines in South Brazil: comparative active processes and water reuse. **International Journal of Mineral Processing**, v.93, n.2, p.103-109, 2009.

SIM, T. S.; GOH, A.; BECKER, E. W. Comparison of centrifugation, dissolved air flotation and drum filtration techniques for harvesting sewage-grown algae. **Biomass**, v. 16, n. 1, p. 51–62, 1988.

SOARES, P. S. M.; SANTOS, M. D. C. Dos; POSSA, M. V. **Carvão Brasileiro : tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. 150 p.

STEIN, J; **Handbook of Phycological Methods: Culture and Growth Measurements**. Cambridge: Cambridge University Press, 1980. 420 p.

WANG, L. K.; SHAMMAS, N. K.; SELKE, W. A.; AULENBACH, D. B. **Handbook of Environmental Engineering**. Londres: Humana Press, 2004. 694 p.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375