

ESTUDO DE PARÂMETROS NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS

Marcelo da Silva Batista (UFSJ) marcelobatista@hotmail.com

Ana Luiza P. Queiroz (UFSJ) pqueiroz.ana@gmail.com

Camylla Karen S. Silva (UFSJ) camyllakaren19@hotmail.com

Deborah Sant'Ana F. Pereira (UFSJ) deborahfreitasbh@gmail.com

Gustavo Santos (UFSJ) gsmc2121@gmail.com

Resumo: A clarificação visa à retirada de sólidos coloidais e em suspensão presentes em águas superficiais. As etapas do processo de clarificação são: coagulação, floculação, decantação e filtração, sendo que as duas primeiras influenciam fortemente no andamento das demais. Neste contexto, esse trabalho estudou a coagulação e floculação em uma única etapa com o objetivo de avaliar os seguintes parâmetros: dosagem de coagulante/floculante, pH e tipo de impelidor. Nos ensaios realizados em *Jar Test*, utilizou-se água proveniente do rio Camapuã em Jeceaba – MG, coagulante (sulfato ferroso), floculante (Kuriflock LA-340), cal hidratada para ajuste de pH e três tipos de impelidores (4 pás a 90°, 2 pás a 45° e 2 pás a 90°). Os resultados mostraram que a amostra de água bruta apresenta alta turbidez (70 NTU). Essa turbidez foi reduzida usando coagulante, na ausência de floculante. A quantidade de coagulante pode ser reduzida com a adição de floculante e, na presença de ambos (coagulante + floculante), o pH=9 apresentou a melhor redução de turbidez (97%). A avaliação do tipo de impelidores mostrou que a turbidez foi inversamente proporcional à turbulência gerada pelos impelidores (4 pás > 2 pás 45° > 2 pás 90°). Nesses ensaios foi observado que o impelidor com 2 pás a 90° foi o que mais contribuiu para a clarificação da água bruta. Os ensaios mostraram que a menor turbidez e a formação de flocos maiores e mais densos foram observadas nas seguintes condições: 6,5 mL de coagulante, 1 mL de floculante e pH entre 9-10.

Palavras-chave: Tratamento de água, coagulação/floculação, impelidor, turbidez.

PARAMETERS STUDY IN THE PROCESS OF COAGULATION/FLOCCULATION IN WATER TREATMENT

Abstract: Clarification aimed at the removal of colloidal and suspended solids present in surface water. The steps of clarification process are: coagulation, flocculation, decantation and filtration, whereas the first two strongly influence the progress of the other. In this context, this work studied the coagulation and flocculation in a single step in order to evaluate the following parameters: coagulant/flocculants dosage, pH and type of impeller. In the Jar Test was used water from Camapuã river in Jeceaba – MG, coagulant (ferrous sulfate), flocculant (Kuriflock LA-340), hydrated lime to adjust pH and three types of impellers (4 blades at 90°, 2 blades at 45°, and 2 blades at 90°). The results showed that the raw water has a high turbidity (70 NTU). This turbidity was reduced using coagulant in the absence of flocculant. The amount of coagulant may be reduced with the addition of flocculant. In the presence of both (coagulant + flocculant) and pH = 9 was observed the high turbidity reduction (97%). The evaluation of the type of impellers showed that the turbidity was inversely proportional to the turbulence generated by the impellers (4 blades at 90° > 2 blades at 45° > 2 blade at 90°). In these tests it was observed that the impeller with 2 blades at 90° was the largest contributor to the clarification of raw water. The tests showed the lowest turbidity remaining and the formation of larger and more dense flocs were observed under the following conditions: 6.5 ml of coagulant, 1 ml of flocculant and pH 9-10.

Keywords: Water treatment, coagulation/flocculation, impeller, turbidity.

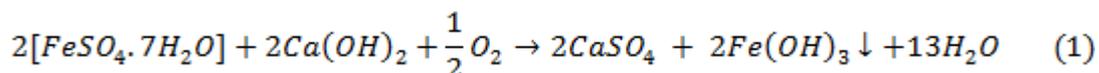
1. INTRODUÇÃO

As águas superficiais geralmente contêm sólidos suspensos sedimentáveis e coloidais, podendo ser oriundos de erosão do solo, decaimento da vegetação, microrganismos e compostos produtores de cor. Os sedimentos transportados em meio hídrico são depositados de maneira seletiva, relacionada à densidade das partículas. Os sólidos suspensos, como a areia e silte, com maior tamanho e mais denso podem ser maioritariamente eliminados na etapa de decantação, mas as partículas menores e menos densas devem ser removidas na

clarificação. O processo de clarificação da água é composto pelas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração (SOUSA Jr. 2011; Di BERNARDO, 2005).

As etapas de coagulação e floculação são consideradas as etapas mais importantes do processo de clarificação da água (BONGIOVANI et al., 2010; GUIDA et al., 2011). O processo de coagulação depende de algumas variáveis como pH, cor, turbidez, temperatura, tamanho e distribuição das partículas em estado coloidal e em suspensão. A eficiência do processo de coagulação depende também do tipo e da dosagem de coagulante, além de uma mistura rápida adequada, já que este processo está relacionado com a formação dos primeiros complexos de cátions metálicos hidrolisados. Esta reação de hidrólise é muito rápida e, para haver a desestabilização dos coloides, é indispensável a dispersão do coagulante sobre toda a massa de água em um tempo muito curto, o que implica na necessidade de aplicá-lo em uma região de grande turbulência, proporcionando uma distribuição uniforme (BARTIKO & JULIO, 2015). Já o processo de floculação ocorre em condições de agitação mais lenta e depende do desempenho da unidade de mistura rápida (coagulação) e do tempo de agitação. Como ambas as etapas dependem de uma agitação controlada e eficiente, uma das variáveis importantes em um equipamento *Jar Test* é a geometria dos impelidores (ALMUBADDAL et al., 2009; BRITO, 2014; LIBÂNIO, 2010). A geometria do impelidor influencia a hidrodinâmica do fluido, o consumo de potência, a transferência de massa e o cisalhamento. Vários tipos de impelidores vêm sendo avaliados em diferentes aplicações nas mais diferentes áreas (BUFFO et al., 2015). A seleção de um impelidor adequado para um processo requer informações precisas sobre as propriedades do fluido, condições do processo e peculiaridades do mesmo (GHOTLI et al., 2013).

No processo de clarificação de água bruta podem ser usados vários tipos de coagulantes, entre eles é o sulfato ferroso, que reage com a alcalinidade natural da suspensão (Equação 1). Os sais de ferro neutralizam as cargas negativas dos coloides favorecendo a formação e precipitação de hidróxido de ferro. A baixa solubilidade do hidróxido de ferro permite que a coagulação ocorra em uma ampla faixa de pH (MARTINS et al., 2014).



Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi estudar a dosagem de coagulante/floculante, pH de coagulação e o tipo de impelidor no processo de clarificação da água bruta. A turbidez foi utilizada como parâmetro de resposta nos ensaios, e está relacionada à presença de partículas em suspensão na água.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da amostra

A amostra de água bruta foi coletada no rio Camapuã, na cidade de Jeceaba - MG. As medidas de turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD) e sólidos totais dissolvidos (STD) foram realizadas em uma sonda multiparâmetro portátil (U-50 Horiba).

2.2 Ensaios em *Jar Test*

No ensaio padrão em *Jar Test* foi utilizado um equipamento construído no laboratório de Desenvolvimento de Processos Químicos da UFSJ (Figura 1). Nos ensaios foram utilizados 2 L de amostra de água bruta, solução de 90 g.L⁻¹ de coagulante (sulfato ferroso heptaidratado, PA), suspensão aquosa de cal hidratada 50% m/m para ajuste de pH, solução (0,2% m/m) de floculante (Kuriflock LA-340), em uma agitação de 120 rpm durante 10 min.

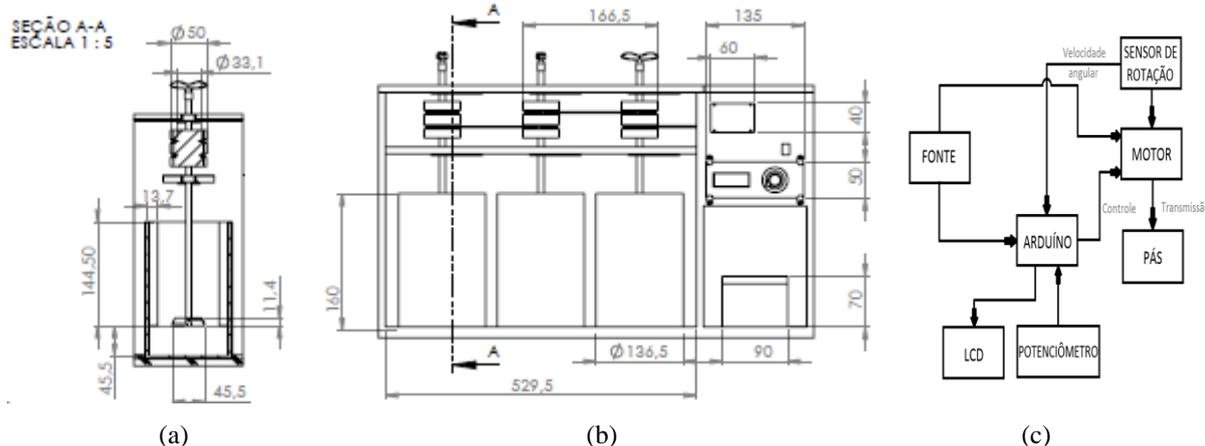


Figura 1. Representação do equipamento de Jar Test: (a) Dimensão do jarro e impelidor (mm); (b) Equipamento com três misturadores; (c) Esquema da parte eletrônica.

Os ensaios em *Jar Test* foram realizados para estudar:

- 1 - O teor de coagulante na ausência de floculante - Foram preparadas bateladas em ensaio padrão, na ausência de floculante e utilizando as seguintes dosagens de coagulantes: 6,5 mL; 7,0 mL; 7,5 mL; 8,0 mL; 8,5 mL e 9,5 mL.
- 2 - A influência da correção de pH e a presença de floculante - Foram preparadas bateladas em ensaio padrão ajustando o pH para valores de 6, 9 e 12. Esses ensaios foram realizados na presença e na ausência de solução de floculante (1 mL).
- 3 - O tipo de impelidor e a dosagem de coagulante/floculante - Foram realizadas bateladas em ensaio padrão utilizando os impelidores de 4 pás, 2 pás 45° e 2 pás 90° (Figura 2) e, as seguintes dosagens de coagulante: 3,5 mL, 4,5 mL, 5,5 mL, 6 mL, 6,5 mL e 7 mL. Após a realização dos ensaios foi possível avaliar os impelidores através dos resultados de turbidez e a melhor dosagem de coagulante/floculante.

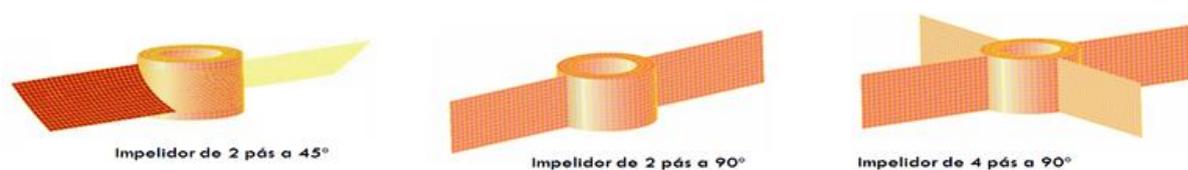


Figura 2. Geometria dos impelidores usado nos ensaios em *Jar Test* (Fonte: adaptado de COKER, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise da água bruta do rio Camapuã mostraram turbidez de 70 NTU, pH de 6,52, oxigênio dissolvido (OD) de 6,80 mg.L⁻¹ e sólidos totais dissolvidos (STD) de 0,045 g.L⁻¹. No processo de clarificação da água bruta foram avaliados os seguintes parâmetros: dosagem de coagulante/floculante, pH e tipo de impelidor.

Na Figura 3 são apresentados os resultados de turbidez com a variação da quantidade de coagulante, na ausência de floculante. Nota-se que a turbidez diminui com o aumento da quantidade de coagulante. A turbidez foi reduzida em 96% quando foram usados 9,5 mL de solução coagulante. O coagulante atua como desestabilizador de partícula em suspensão levando a formação de flocos através de colisões. No entanto, elevadas dosagens de

coagulante não se traduzem, necessariamente, em melhores resultados de redução da turbidez (BARTIKO & JULIO, 2015). Logo, foi investigada também, a influência da presença de floculante e do pH na redução da turbidez remanescente da água bruta.

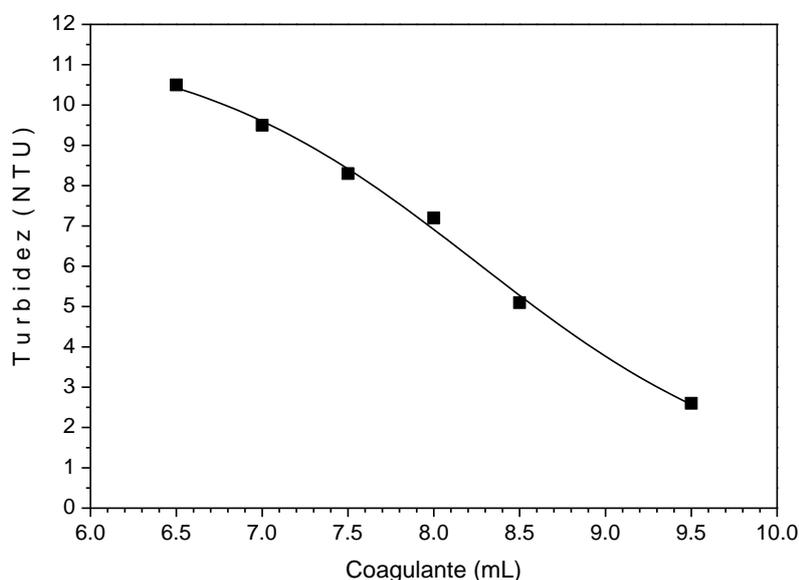


Figura 3. Avaliação do teor de coagulante na ausência de floculante e pH=10.

Para avaliar a influência da presença de floculante e do pH na clarificação da água bruta foi utilizado 6,5 mL de coagulante, 0-1 mL de floculante e ajuste do pH entre 6 e 12. Na Tabela 1 pode-se observar que a adição de 1 mL de floculante, em pH=9, reduz a turbidez de 85% para 97%. No entanto, o melhor desempenho do coagulante/floculante é influenciado pelo pH. Note que na presença de coagulante/floculante, o pH=9 apresentou a melhor redução de turbidez, comparado com pH 6 ou 12. Os floculantes são polímeros com alta massa molecular que ajudam na agregação dos flocos através da formação de pontes entre as partículas do meio. Dessa forma, o uso de floculante reduziria a quantidade de coagulante.

Tabela 1. Influência da presença de floculante e do valor de pH na redução da turbidez.

pH	Dosagens (mL)		Turbidez (NTU)	Redução da turbidez (%)
	Coagulante	Floculante		
6	6,5	1	4,5	94
9	6,5	1	2,4	97
9	6,5	0	10,5	85
12	6,5	1	2,5	96

A faixa de pH 9-11 é considerada a melhor faixa para atuação do coagulante (sulfato ferroso), pois nesse intervalo predomina a formação e precipitação de hidróxido férrico na solução (Equação 1), e este contribui para melhor decantação das partículas. Fora desse intervalo de pH, o ferro forma complexos solúveis e reduz a eficiência do processos de coagulação/floculação das partículas (DROPPA et al., 2008).

Na Figura 4 foi avaliado o tipo de impelidores usado na agitação, em ensaios realizados em *Jar Test*, através de medidas de turbidez em diferentes dosagens de coagulante. Nessa figura observa-se que a turbidez foi inversamente proporcional à turbulência gerada pelos impelidores ($4 \text{ pás} > 2 \text{ pás } 45^\circ > 2 \text{ pás } 90^\circ$). A maior turbulência gerada pelo impelidor de 4 pás impede o aumento do tamanho dos flocos formados, devido o seu rompimento e, conseqüentemente, retarda a floculação (BRITO, 2014). Por outro lado, o impelidor com 2 pás a 90° foi o que mais contribuiu para a clarificação da água bruta, onde foi obtida a redução de 97% da turbidez (Figura 5).

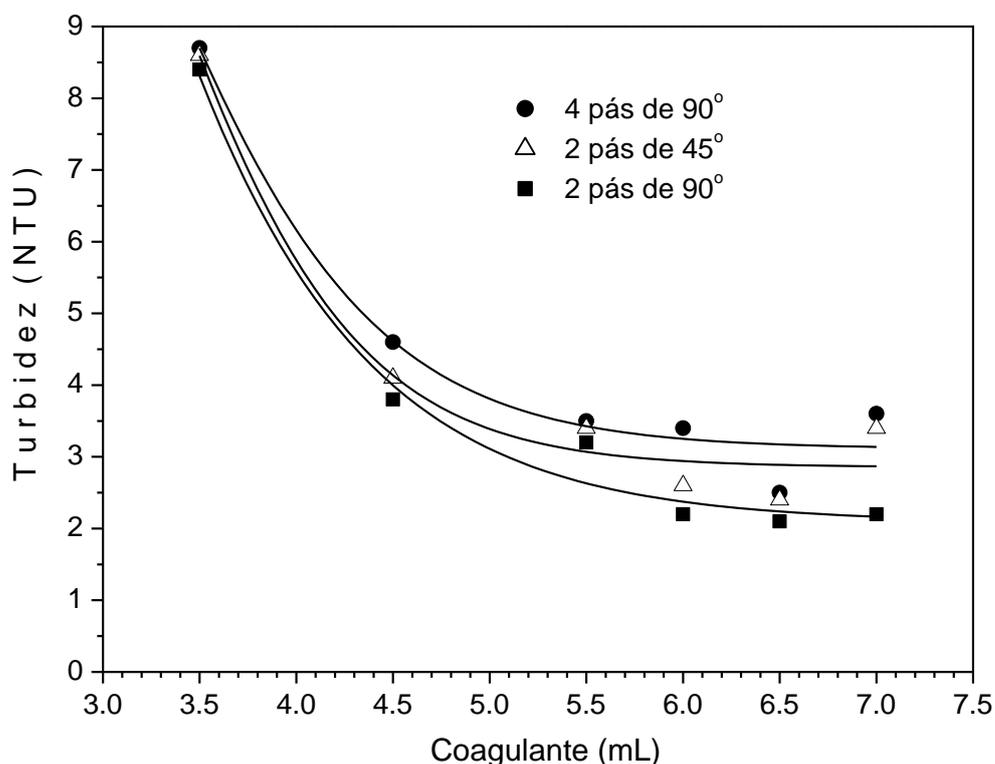


Figura 4. Avaliação de impelidores através de medidas de turbidez em diferentes dosagens de coagulante, usando 0,2% m/m floculante e pH entre 9-10.

Ao analisar a Figura 4 verificou-se que a melhor dosagem de coagulante foi 6,5 mL, dosagem na qual se obteve a menor turbidez e formação de flocos maiores e mais densos (Figura 6), justificando sua maior eficiência na sedimentação dos coloides. A melhor dosagem de coagulante também foi confirmada através da análise do potencial zeta, (potencial da superfície parcialmente blindado), que indica se há agregamento ou dispersão das partículas na suspensão. Os resultados mostraram que, nas condições de melhor dosagem de coagulante (6,5 mL de coagulante, 1 mL de solução floculante e pH entre 9-10), o potencial zeta mostrou o menor valor próximo de zero. Nessas condições, seria mais favorecida a agregação das partículas (SILVA et al., 2011; DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

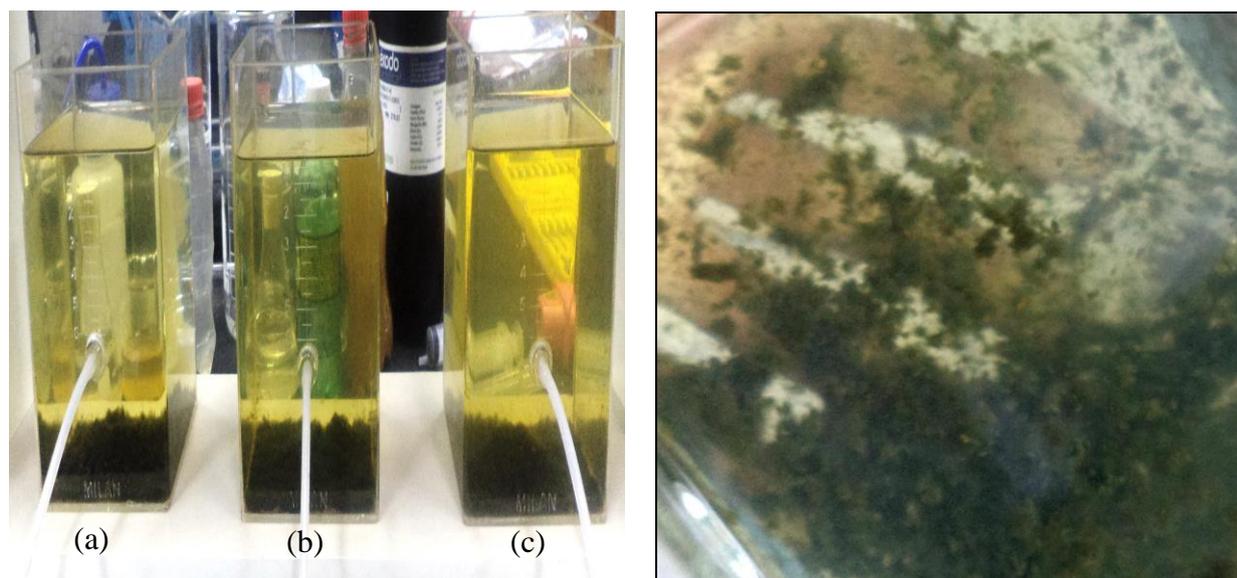


Figura 5. Amostra após coagulação/floculação e sedimentação com impelidor: (a) 2 pás a 90° (b) 4 pás a 90° (c) 2 pás a 45° usando 6,5 mL de coagulante, 1 mL de solução floculante e pH entre 9-10.

Figura 6. Flocos formados com impelidor de 2 pás 90° usando 6,5 mL de coagulante, 1 mL de solução floculante e pH entre 9-10.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a amostra de água bruta coletada no rio Camapuã em Jeceaba – MG apresenta alta turbidez (70 NTU). Essa turbidez foi reduzida usando coagulante, na ausência de floculante. Foi observada a redução de 96% da turbidez quando foram usados 9,5 mL de solução coagulante. A quantidade de coagulante pode ser reduzida com a adição de floculante e, na presença de ambos (coagulante + floculante), o pH=9 apresentou a melhor redução de turbidez (97%). A avaliação do tipo de impelidores usado na agitação, em ensaios realizados em *Jar Test*, mostrou que a turbidez foi inversamente proporcional à turbulência gerada pelos impelidores (4 pás > 2 pás 45° > 2 pás 90°). Nesses ensaios foi observado que o impelidor com 2 pás a 90° foi o que mais contribuiu para a clarificação da água bruta.

Os ensaios realizados mostraram que a menor turbidez e a formação de flocos maiores e mais densos foram observadas nas seguintes condições: 6,5 mL de coagulante, 1 mL de floculante e pH entre 9-10. Essa melhor dosagem de coagulante também foi confirmada através da análise do potencial zeta.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São João del Rei pelo suporte físico na realização do trabalho e pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ALMUBADDAL, F.; ALRUMAIHI, K.; AJBAR, A. *Performance optimization of coagulation/flocculation in the treatment of wastewater from a polyvinyl chloride plant*, Journal of Hazardous Materials 161, p. 431- 438, 2009.

BARTIKO, D.; JULIO, M. D. *Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento*, Revista Ambiente & Água, vol. 10, n. 1, p. 71-81, 2015.

BONGIOVANI, M. C.; KONRADT-MORAES, L. C.; BERGAMASCO, R.; LOURENÇO, B. S. S.; TAVARES, C. R. G. *Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável*. Acta Scientiarum Technology, 32, p.167-170, 2010.

BRITO, R. A. *Ozonização catalítica de chorume proveniente do aterro sanitário de Cachoeira Paulista – SP na presença de ferro em sistema contínuo*. Dissertação (M. Sc.), Universidade de São Paulo, Lorena, SP, Brasil, 2014.

BUFFO, M. M.; CORRÊA, L. J.; CRUZ, A. J. G.; FARINAS, C. S.; BADINO, A. C. *Análise do consumo de potência e da transferência de oxigênio em tanque agitado com diferentes associações de impelidores utilizando fluido pseudoplástico*, XXXVII ENEMP – Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, São Carlos, 2015.

COKER, A. K. *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*, 4th edition, Burlington, MA, Gulf Professional Publishing, 2007.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. São Carlos, Rima, 2ed., v. 2, 1565 p., 2005.

DROPPO, I. G.; EXALL, K.; STAFFORD, K. *Effects of chemical amendments on aquatic floc structure, settling and strength*, Water Research, v. 42, p. 169-179, 2008.

GHOTLI, R.A., AZIZ, A.R.A., IBRAHIM, S., BAROUTIAN, S., ARAMI-NIYA, A. *Study of various curved-blade impeller geometries on power consumption in stirred vessel*, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, v. 44, p. 192-201, 2013.

GUIDA, M.; MATTEI, M.; ROCCA, C. D.; MELLUSO, G.; S. MERIÇ. *Optimization of alum-coagulation/floculation for COD and TSS removal from five municipal wastewater*, Desalination, 211, p. 113-127, 2011.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3.ed. Campinas: Átomo, 2010.

MARTINS, A. A.; OLIVEIRA, R. M. S.; GUARDA, E. A. *Potencial de uso de compostos orgânicos como coagulantes, floculantes e adsorventes no tratamento de águas e efluentes*. X Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 10, n. 12, p.168-183, 2014.

SILVA, R. D. R.; RUBIO J.; BAUER M. A. *O problema da remoção de íons sulfato no reuso de águas tratadas de dam's no Brasil*. HOLOS, Ano 27, Vol 5, p. 10-19, 2011.

SOUSA Jr, W. C. *Pagamento por Serviços Ecossistêmicos: Mata Ciliar, Erosão, Turbidez e Qualidade de Água*. Projeto de Recuperação de Matas Ciliares, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2011.