

Análise comparativa dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico no processo de clarificação de água residuária têxtil

Comparative analysis of the aluminum sulfate and ferric chloride coagulants in the textile wastewater clarification process

Igor Luz Gonçalves^{1}*

Frederico Carlos Martins de Menezes Filho²

Cassiano Rodrigues Oliveira³

Recebido: jul.2020 | Aceito: fev.2021

Resumo

A água é indispensável para a vida e para o desenvolvimento econômico. A pronunciada escassez hídrica atual promove a busca pelo consumo sustentável e a reutilização da água. Não menos importante, destaca-se a poluição dos recursos hídricos pelo lançamento de efluentes oriundos de diversos tipos de indústrias, sejam têxteis, de laticínios, de alimentos, dentre outras. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou comparar a eficiência de clarificação de água residuária têxtil pela utilização dos coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio. Para tal, formularam-se amostras sintéticas de águas residuárias têxteis, diluindo-se em meio aquoso caulim e corante para tecido, em diferentes concentrações. Procedeu-se à adição dos coagulantes em diferentes dosagens por meio de teste de jarros. Os resultados obtidos variaram de acordo com a concentração da mistura dos poluentes, sendo que o sulfato de alumínio apresentou maior eficiência de clarificação, atingindo valores adequados para turbidez e pH nas proporções corante/caulim 1:3 e 2:2 (m/m). Já o cloreto férrico apresentou melhor desempenho na proporção corante/caulim 2:4 (m/m).

Palavras-chave: tratamento de água, água residuária, teste de jarros.

Abstract

Water is indispensable for life and economic development. The current pronounced water scarcity promotes the search for sustainable consumption and reuse of water. No less important is the pollution of water resources by the discharge of effluents from various types of industries, such as textiles, dairy, food, among others. In this sense, this work aims to evaluate the efficiency of textile wastewater clarification through the use of iron chloride and aluminum sulfate coagulants. For this purpose, synthetic samples of textile wastewater were formulated and diluted in aqueous kaolin and textile dye in different concentrations. The coagulants were added in different dosages by jar test. The results obtained varied according to the concentration of pollutants, and the aluminum sulfate showed better clarification efficiency, achieving adequate values of turbidity and pH in the dye/kaolin proportions 1:3 and 2:2 (m/m). Ferric chloride showed best results of these parameters at dye/kaolin proportion 2:4 (m/m).

Keywords: water treatment, residuary water, jar test

^{1,2,3}Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas – Rio Paranaíba - MG

*Graduando de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, igorluzgoncalves@gmail.com

INTRODUÇÃO

A carência do saneamento ambiental presente na maioria das cidades brasileiras, ocasiona impactos ambientais diversos, dentre eles, o lançamento de esgotos domésticos *in natura* em corpos de água e conseqüente degradação dos mananciais urbanos. No âmbito da indústria têxtil, esse tipo de prática é extremamente danosa ao meio ambiente.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), o crescimento acelerado da demanda hídrica industrial vem acompanhando o crescimento populacional do país, fazendo com que os resíduos gerados e, posteriormente depositados, comprometam a qualidade da água nas áreas urbanas, afetando o abastecimento. Nesse sentido, consoante a Organização Mundial da Saúde (World Health Organization), as emissões e o descarte de resíduos podem acarretar na disseminação de doenças que geram uma baixa expectativa de vida em países com tratamento de água escasso (WHO, 2002).

É certo que o produto final da indústria têxtil está presente no dia a dia das pessoas, tendo seu consumo incentivado e constantemente alterado, acompanhando as tendências e influências (ANICET et al., 2011). No panorama ambiental, tal atitude se torna problemática, tendo em vista que o processo de produção gera resíduos altamente poluentes (VINETA, 2014).

No contexto das indústrias têxteis, há uma grande utilização de água, além de diversos produtos químicos complexos, fazendo com que seja necessário um tratamento prévio antes do descarte (VERMA et al., 2012). As águas residuárias provenientes desse tipo de indústria possuem alta coloração, turbidez e produtos tóxicos em sua composição, sendo essas provenientes das etapas de tingimento, onde há a incorporação do corante ao tecido, e do processo de lavagem, onde se retira o excesso de corante (CAVALCANTI et al., 2014).

Estudos de Estender, Takeuti e Juliano (2015) mostraram que há dois caminhos para um uso racional da água industrial têxtil: o reuso da água nos banhos de tingimento, considerando a qualidade da mesma e a alteração das máquinas com aprimoramentos técnicos para realização de banhos menores. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2012), o sistema de tratamento de águas residuárias reduz impactos não apenas em corpos de água, mas em contaminações de solo, ar e incômodos à população.

Mesmo a água sendo essencial para o desenvolvimento econômico, a sua utilização de forma inadequada gera desperdício e contaminação, trazendo a necessidade de tratamento, pela utilização de coagulantes naturais e/ou químicos capazes de promover a aglutinação dos contaminantes na água (FRANCISCO, 2015).

Dentre os métodos utilizados para o tratamento de águas residuárias têxteis, destacam-se os processos de coagulação e floculação, que possuem altos índices de remoção de cor e turbidez, sendo métodos de simples aplicação e com baixo custo, comparado com outros processos. (VERMA et al, 2012; CHEN et al.; 2010; ZHRIM AND HILAL; 2013). Em contrapartida, a eficiência desses processos pode ser contrastada com o uso excessivo de coagulantes, que permanecem de forma residual na água e, ainda, geram grandes quantidades de lodo (HAN et al., 2016).

Devido à complexidade da composição das águas residuárias têxteis, há diversos fatores inter-relacionados que afetam na escolha do coagulante. No tratamento de águas, podem ser utilizados coagulantes como polímeros sintéticos e sais de alumínio e ferro, onde se enquadram o sulfato de alumínio e cloreto férrico (PAULA, 2014).

Ambos os coagulantes atuam hidrolisando as partículas, de forma a desestabilizá-las por adsorção, reduzindo as forças de repulsão (neutralização da carga) e fazendo com que as

mesmas possam ser removidas pelos processos subsequentes (HOWE et al., 2016). A etapa da coagulação química é determinante no processo de tratamento, já que sua ineficácia afeta os processos subsequentes, comprometendo o resultado final.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de remoção de turbidez e alterações de pH em amostras sintéticas de águas residuárias têxteis pela ação dos coagulantes sulfato de alumínio de cloreto férrico, buscando atingir os padrões de lançamento de efluentes definidos pela Resolução nº 430 do CONAMA (2011) em conjunto com a ABNT NBR 16783 (2019).

METODOLOGIA

A metodologia foi realizada em duas etapas: a etapa manual, com o objetivo de se definir a dose inicial de coagulante, e a etapa mecânica, com o objetivo de avaliar o intervalo da dosagem dos coagulantes no equipamento Jar Test.

Preparo de coagulantes

Os coagulantes utilizados foram preparados na concentração 1%, utilizando os reagentes em pó com pureza de 99%. Diluíram-se 5 gramas de coagulante em 500 mL de água destilada, sendo homogeneizados em balões volumétricos e armazenados em garrafas de vidro escuro.

Etapa manual

Preparou-se 200 mL de amostra de água residuária sintética nas concentrações 1:2, 2:2, 1:3 (partes de corante: partes de caulim, ambas em gramas). O corante de tecido utilizado tem pH, em média, neutro e composição orgânica. Já o caulim (silicato de alumínio hidratado) utilizado tem CAS NUMBER 1332-58-7, reagente da USP. Homogeneizou-se a mistura de corante e caulim, e logo após, acrescentou-se a solução de coagulante químico, agitando-se rapidamente por 30 segundos e lentamente por 2 minutos.

Após a agitação, observou-se a formação de flocos ou não. Em caso negativo, repetiu-se o processo acrescentando 0,5 mL de coagulante. O início da floculação determina a dose inicial para o ensaio mecânico.

Ensaio de jarros (Jar Test)

O teste de jarros seguiu a metodologia sugerida por Ritcher (2009), com alterações. O ensaio foi realizado no equipamento Jar Test, modelo JT303M/6, sendo este programado em etapas: homogeneização, mistura rápida, mistura lenta e sedimentação. As especificações de cada etapa são apresentadas no fluxograma, reproduzido na Figura 1.

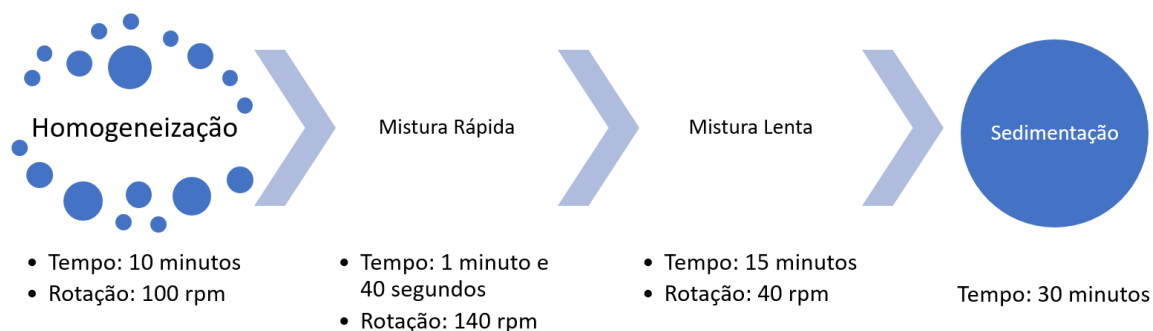
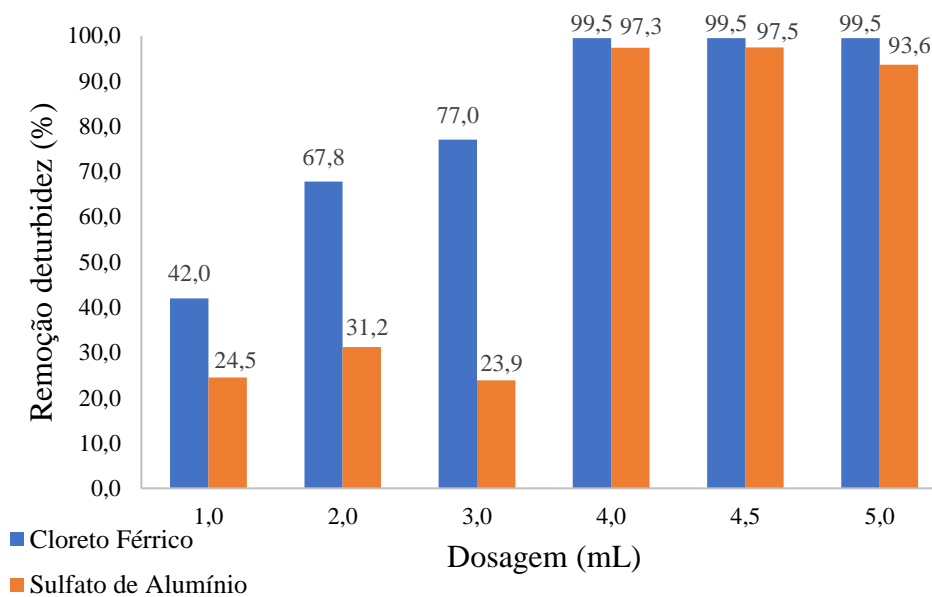


Figura 1 - Fluxograma de experimento

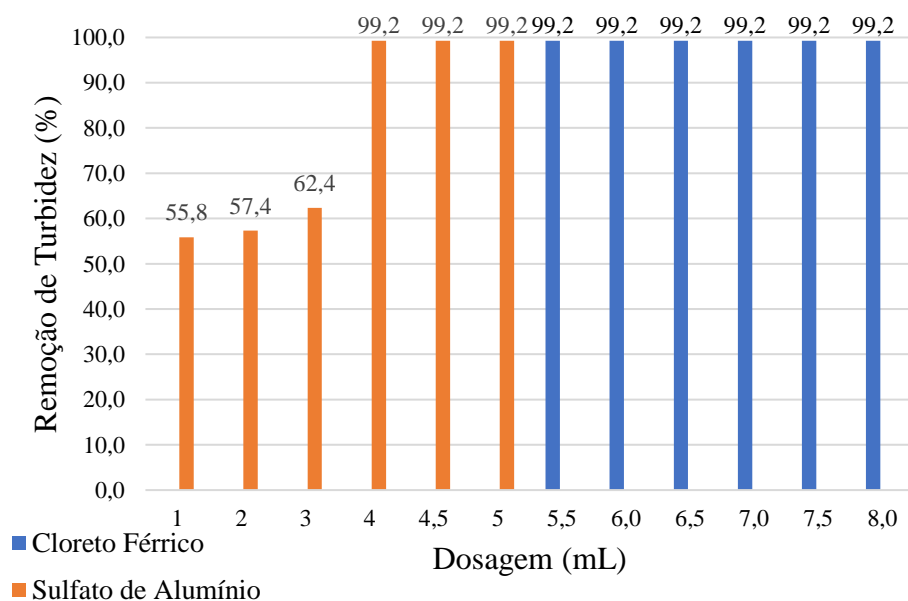
Ao final da etapa de sedimentação, retirou-se de cada jarro, utilizando-se o coletor simultâneo de altura fixa, os sobrenadantes, podendo ser efetuadas as leituras de pH, pelo método potenciométrico, e turbidez, por leitura nefelométrica (APHA, 1992). A cor foi comparada por método visual qualitativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

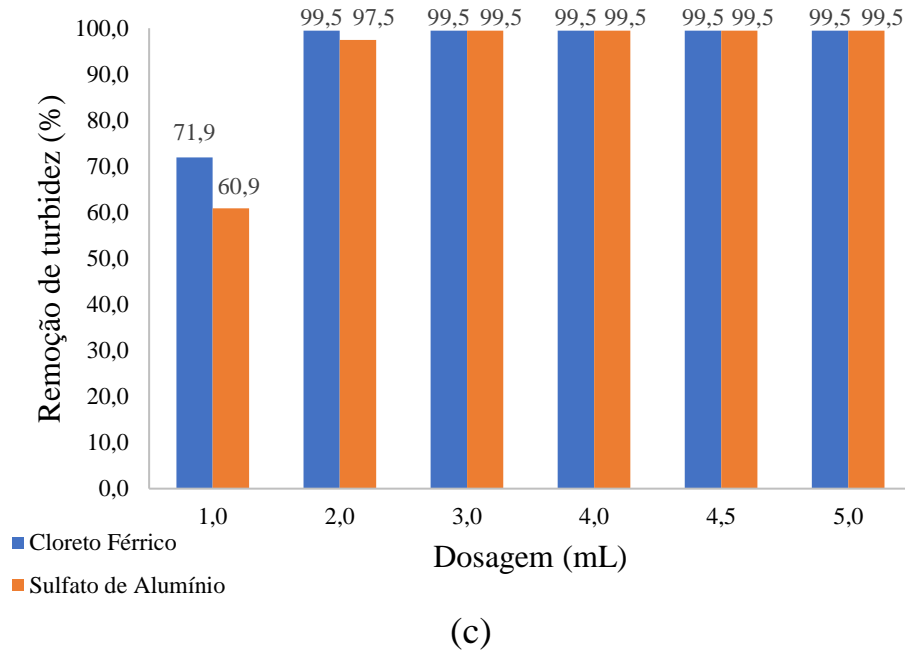
A remoção de turbidez e variação de pH são mostrados na Figura 2.



(a)



(b)



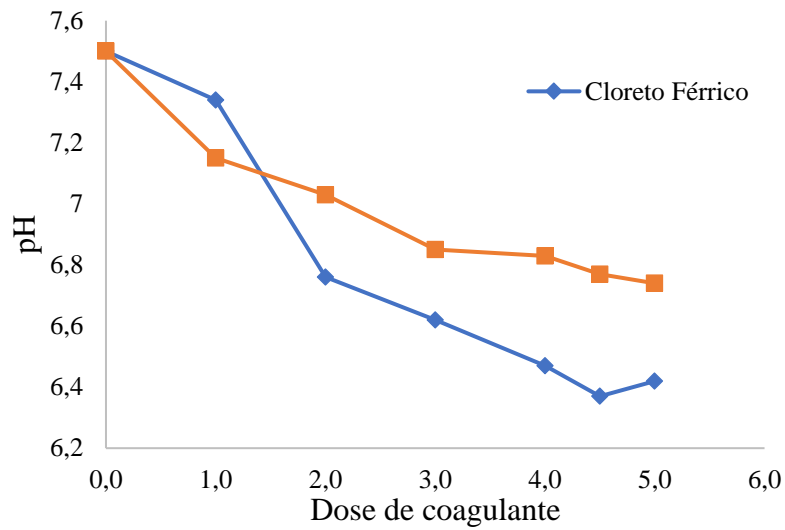
(c)
 Figura 2 - Remoção de turbidez. (a) Concentração 2:4, turbidez inicial: 984 NTU; (b) Concentração 2:2, turbidez inicial: 659 NTU; (c) Concentração 1:3, turbidez inicial: 959 NTU

Nota-se que para a concentração 2:4 (Figura 2a) há uma forte variação para o sulfato de alumínio, atingindo valores de turbidez de 25,0 NTU, na dosagem de 4,5 mL, diferentemente do cloreto férrico, que apresentou um crescimento gradativo, atingindo o objetivo de 5 NTU em 4,0 mL. Tal fato deve-se à possível presença de sulfato residual, que não atuou nas partículas suspensas, fazendo com que elas não fossem separadas no processo de sedimentação.

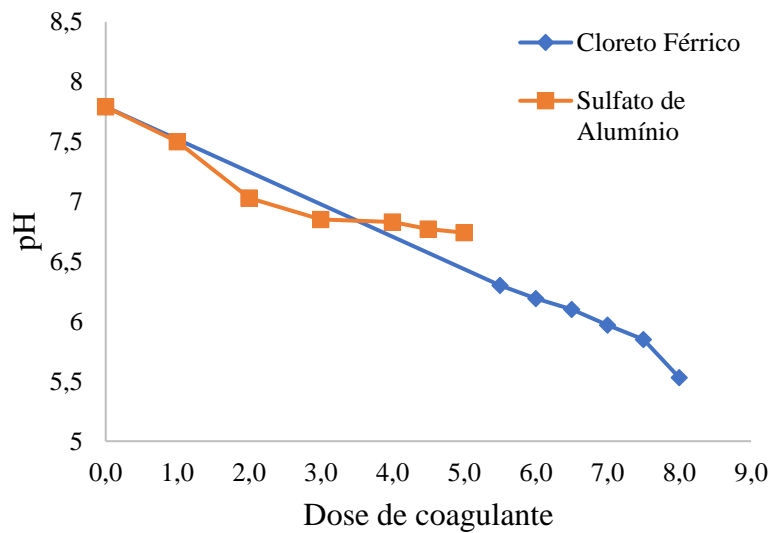
Para a concentração de 2:2 (Figura 2b), nota-se que o sulfato de alumínio atinge sua remoção de turbidez adequada em 4,0 mL, enquanto o cloreto férrico atinge em 5,5 mL, onde se inicia de forma efetiva a formação dos flocos. Ressalta-se que, em dosagens inferiores a 5,0 mL de cloreto férrico não houve formação de flocos, sendo realizado o ensaio novamente acrescentando mais coagulante. Em contrapartida, na concentração 1:3 (Figura 3c), ambos os coagulantes apresentaram comportamento semelhante, com resultados finais satisfatórios em cerca de 2,0 mL de dosagem.

Na Figura 3, a variação de pH ao longo das dosagens é apresentada. Como esperado, em todos os casos, o pH reduz à medida que se eleva a dosagem de coagulante. Nota-se que a inclinação das tendências referentes à variação de pH por meio do sulfato de alumínio é consideravelmente menor que as do cloreto férrico. Essa informação mostra que o consumo de agentes neutralizadores é menor quando o sulfato de alumínio é utilizado, em uma mesma dosagem, quando comparado ao cloreto férrico.

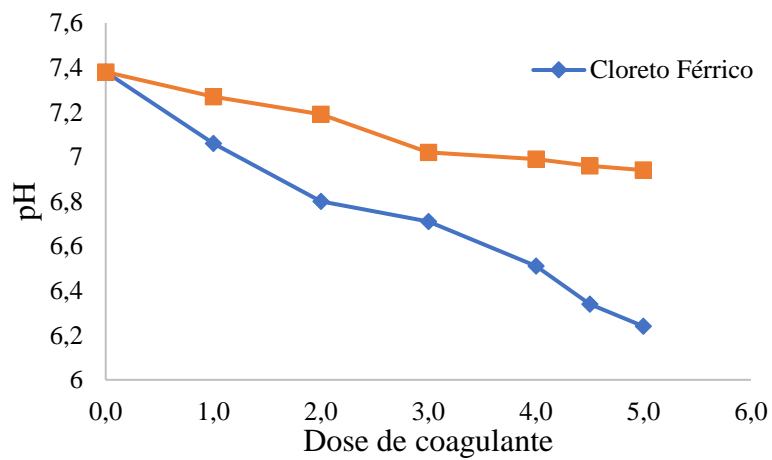
A Tabela 1 mostra os resultados ótimos obtidos para os parâmetros de turbidez e pH final. Em **negrito** destacam-se as amostras adequadas aos padrões definidos pelas normativas do CONAMA e pela ABNT NBR 16783, para pH e turbidez. Nota-se que, para a concentração de 2:4, apenas o cloreto férrico atinge os limites exigidos, diferentemente da concentração 2:2, onde o sulfato de alumínio possui o mesmo comportamento. Para a concentração de 1:3, ambos os coagulantes atingem os objetivos. Entretanto, nota-se que, para o pH, o sulfato de alumínio trouxe menor redução, sendo o coagulante preferencial para este caso.



(a)



(b)



(c)

Figura 3- Variação de pH de acordo com a dosagem de coagulante (em mL). (a) Concentração 2:4; (b) Concentração 2:2; (c) Concentração 1:3

Tabela 1- Resultados ótimos finais

Concentração	Cloreto Férrico			Sulfato de Alumínio		
	Dose	Turb.	pH	Dose	Turb.	pH
2:4	4,0	5,0	6,47	4,0	26,1	6,83
2:2	8,0	5,0	5,53	5,0	5,0	6,74
1:3	4,5	5,0	6,34	4,5	5,0	6,96

CONCLUSÃO

Os coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico são eficientes no tratamento físico-químico de águas residuárias têxteis. A eficiência de tratamento é dependente das condições da amostra, da dosagem de coagulante e da dosagem de agente neutralizador, quando as variáveis físico-mecânicas de coagulação são mantidas constantes.

As dosagens mínimas que permitiram a adequação da amostra sintética têxtil para a turbidez foram 4,5mL para sulfato de alumínio e para cloreto férrico, ambos na proporção de corante/caulim 1:3 (m/m). Contudo, ressalta-se que o pH final do meio após a dosagem de sulfato de alumínio foi maior que do cloreto férrico.

A metodologia apresentada neste trabalho demonstra a viabilidade técnica para implantação de um sistema de tratamento que permite o reuso de águas têxteis residuárias em circuito fechado em indústrias têxteis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Viçosa, *campus* Rio Paranaíba, e aos amigos e familiares pelo apoio recebido durante a pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Portal da Qualidade das águas. Secretária Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/default.aspx>>. Acesso em: 25 mai. 2020.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Water and Wastewater Examination. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION, 18th ed., Washington (1992).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16783: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ANICET, A.; BESSA, P.; BROEGA, A. C. Ações na área da moda em busca de um design sustentável. Portugal, 2011. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/14959>>. Acesso em: 18 mai. 2020.

BRASIL, Resolução do CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 2011.

CAVALCANTI, M. D.; LYRA, M. R. C. C.; OLIVEIRA, E. J. A.; SILVA, R. F. Considerações sobre o uso e o descarte da água em lavanderias têxteis industriais. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. v.2. p.389-394, 2014.

CHEN, T.; GAO, B.; YUE, Q. Effect of dosing method and pH on color removal performance and floc aggregation of polyferric chloride-polyamine dual- coagulant in synthetic dyeing wastewater treatment. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. v. 355; p.121-129; 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. Têxtil e Confecção: Inovar, desenvolver e sustentar. Brasília, 2012.

ESTENDER, A. C.; TAKEUTI, C. H. S.; JULIANO, M. C. Gestão ambiental e a utilização da água de reuso em tinturarias. Revista de Geografia e Interdisciplinaridade, v.1, n.2, p. 237-255. Maranhão, 2015.

FRANSCISCO, A. A. Comparação entre a aplicação do coagulante natural Moringa Oleífera e do coagulante químico Sulfato de Alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. Paraná, 2015.

HAN, G. et al. Combination of forward osmosis (FO) process with coagulation/flocculation (CF) for potential treatment of textile wastewater. Water Research. v.91, p. 361-370, 2016.

HOWE, K. J. Princípios de tratamento de água. v. 6, p.128-136, São Paulo, 2018.

PAULA, H. M. Uso de suspensões preparadas com sementes de moringa oleífera associada a coagulantes químicos no tratamento da água residuária de usinas de concreto. [Doutorado]. Campinas: UNICAMP, 2014.

RITCHER, C. A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. Relatório Técnico. São Paulo, 2009.

THEODORO, P. S. et al. Uso de coagulantes químicos (cloreto férrico) e orgânico (Moringa oleífera) no tratamento de águas provenientes de Sistema Lântico. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia- CONTECC. Foz do Iguaçu, 2016.

VERMA, A. K. et al. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. Journal of Environmental Management 93, p. 154-168, 2012.

VINETA, S. et al. Methods for waste Waters treatment in textile industry. International Scientific Conference- UNITECH. p. 248-252. Gabrovo, 2014.

WHO. Water Pollutants. World Health Organization: biological agents, dissolved chemical, non-dissolved chemical, sediments, heat. WHO CEHA, 2002.

ZHRIN, A. Y.; HILAL, N. Treatment of highly concentrated dye solution by coagulation/flocculation-sand filtration and nanofiltration. Water Resources and Industry, v.3 , p23-34; 2013.