

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFFLUENTE DA INDÚSTRIA TÊXTIL POR MEIO DE DIAGRAMAS DE COAGULAÇÃO

* Lucas Alves Batista Pequeno¹
Maria Eduarda Borges de Almeida¹
Rosângela Gomes Tavares¹
Marilda Nascimento Carvalho¹

EVALUATION OF THE PHYSICAL-CHEMICAL TREATMENT OF A TEXTILE INDUSTRY EFFLUENT THROUGH COAGULATION DIAGRAMS

Recibido el 24 de enero de 2023. Aceptado el 11 de septiembre de 2023

Abstract

The main environmental problem associated with textile industries is the produced effluent that is difficult to degrade. This effluent is composed of a mixture of dyes, metals, and other pollutants. When it is untreated and improperly disposed of in the environment, its toxicity can degrade ecosystems. The processes of coagulation, flocculation, and subsequent decantation are widely used in wastewater treatment in industrial textile systems. In this context, the purpose of this work was to compare the removal efficiency of physical-chemical parameters from textile effluent using the coagulants Aluminum Polychloride (PAC) and Aluminum Sulfate, in the coagulation/flocculation/decantation process in different pH variations. The characterization of the effluent was made through analysis of the pH parameters, turbidity, apparent color, total solids and chemical oxygen demand, according to the Standard Methods for Examination of Water and Wastewater protocol. The Jar Test was used for the simulation of the coagulation, flocculation, and decantation stages, and the Mini Tab 19 software for the elaboration of the coagulation diagrams. It was verified that the apparent color and turbidity parameters presented a reduction with the use of PAC, at a dosage of 75 mg/L for pH in the acid and near neutral ranges. Regarding total solids and Chemical Oxygen Demand (COD), it was observed difficulty in removing these parameters with the adopted technology.

Keywords: coagulants, textile effluent, aluminum polychloride, aluminum sulfate.

¹ Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil.

* *Autor corresponsal:* Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, CEP 52.171-901, Brasil. Email: lucas.pequeno@ufrpe.br

Resumo

O principal problema ambiental associado às indústrias têxteis está no efluente produzido de difícil degradabilidade. Este efluente é composto por uma mistura de corantes, metais e outros poluentes. Quando não tratado e disposto de forma irregular no ambiente, sua toxicidade pode vir a degradar os ecossistemas. Os processos de coagulação, floculação e posterior decantação são bastante utilizados no tratamento de águas residuárias nos sistemas industriais têxteis. Nesse contexto, o objetivo com este trabalho foi comparar a eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos de um efluente têxtil utilizando os coagulantes Policloreto de Alumínio (PAC) e Sulfato de Alumínio, no processo de coagulação/floculação/decantação em diferentes variações de pH. A caracterização do efluente foi realizada por análise dos parâmetros pH, turbidez, cor aparente, sólidos totais e demanda química de oxigênio, segundo protocolo do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Foi usado o Jar Test para a simulação das etapas de coagulação, floculação e decantação e o software Mini Tab 19 para a elaboração dos diagramas de coagulação. Constatou-se que os parâmetros cor aparente e turbidez apresentaram redução com a utilização do PAC, na dosagem de 75 mg/L para o pH nas faixas ácida e próxima a neutralidade. No que se refere aos sólidos totais e DQO, observou-se dificuldade na remoção desses parâmetros com a tecnologia adotada.

Palavras-chave: coagulantes, efluente têxtil, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio.

Introdução

A produção de corantes sintéticos para tingimentos de tecidos é hoje um importante segmento da indústria têxtil. De acordo com o Portal da Indústria (2021), os produtos têxteis geraram mais de 16 milhões de reais em produção e mais de 250 mil empregos formais para os anos de 2019 e 2020, respectivamente. No agreste pernambucano as lavanderias industriais são importantes para geração de renda com o beneficiamento de roupas. Contudo, em seu processo produtivo há uma alta geração de efluente líquido contaminado por resíduos químicos. No município de Caruaru, por exemplo, cerca de 40% dos efluentes são lançados na rede de esgoto municipal, fato este, que acarreta a poluição dos recursos hídricos, solo e afeta a qualidade de vida da população (Khattab, 2020; Da Silva *et al.*, 2021).

A água é um recurso finito, fundamental para a manutenção da vida e desenvolvimento socioeconômico. O uso racional e o tratamento adequado desse recurso são primordiais para evitar a escassez em todas as partes do globo. Cerca de 80% das águas residuárias retornam ao meio ambiente sem tratamento adequado. Além do tingimento têxtil ser o segundo maior poluidor de água, a indústria da moda é ainda responsável por 20% das águas residuárias globais e 10% das emissões globais de carbono. Esses efluentes têm em sua composição 99% de água e 1% de sólidos coloidais. O ciclo de gestão engloba a prevenção da poluição fonte, coleta e tratamento, uso das águas residuárias como fonte alternativa e a recuperação de subprodutos úteis (Unesco, 2017; Unesco, 2021).

O principal problema ambiental associado às indústrias têxteis está no efluente produzido de difícil degradabilidade. Este efluente é composto por uma mistura de corantes, metais e outros poluentes. É na etapa de tingimento onde são adicionados os corantes e produtos químicos. Os corantes sintéticos são classificados de acordo com sua estrutura química e modo de aplicação. Os principais metais poluentes presentes são: cromo, zinco, ferro, mercúrio e chumbo. Nesse sentido, as águas residuárias dessa indústria variam em composição a depender do país, processo utilizado, equipamento, tipo de produção, estação do ano e tendências de moda. Quando não tratado e disposto de forma irregular no ambiente, sua toxicidade pode vir a degradar os ecossistemas (Yaseen, 2019).

No Brasil, não há uma padronização legal de parâmetros para reuso da água em nível federal. Dessa maneira, são empregadas orientações baseadas em padrões internacionais. Em nível municipal e estadual é possível encontrar algumas leis. Ademais, acrescenta-se a Resolução nº 54, de novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para prática de reuso direto não potável de água e a Resolução nº 430, de maio de 2011 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CONAMA) que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos de água; e a norma NBR 13.969/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que refere-se ao sistema de tratamento de esgotos, por exemplo (ABNT, 1997; Brasil, 2005; Brasil, 2011).

Os processos de coagulação, floculação e posterior decantação são bastante utilizados no tratamento de águas residuárias nos sistemas industriais têxteis devido a elevada carga de substâncias químicas não biodegradáveis utilizadas no processo de lavagem das peças. Para o sucesso dessa aplicação as variáveis de pH, tipo e dosagem de coagulante, tempo de coagulação e floculação, velocidade de agitação e tempo de decantação devem ser levadas em consideração. A coagulação química é usada para conseguir resultados de diminuição da turbidez, DQO, sólidos suspensos, fósforo e cor do efluente. Uma coagulação eficiente implica no sucesso das outras etapas. O princípio da coagulação consiste em adicionar uma substância coagulante no meio para que as partículas suspensas se desestabilizem por hidrólise formando coágulos que, posteriormente, se unem formando flocos densos. A fim de se obter uma dosagem ideal para as variáveis, são realizados estudos em laboratório com uso do equipamento Jar Test, comumente avaliado, com base nos parâmetros de turbidez e de cor aparente (Hussain e Wahab, 2018; Fernandes Junior *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2019; Kamiwada *et al.*, 2020).

Esse tratamento também pode ser utilizado como auxiliar ao tratamento biológico como pré ou pós-tratamento. Quando utilizado no pré-tratamento, objetiva-se diminuir a carga de materiais químicos potencialmente tóxicos aos microrganismos do tratamento biológico. A utilização como pós-tratamento dá-se, frequentemente, para diminuir os valores de alguns parâmetros e enquadrar o efluente tratado dentro dos valores máximos para lançamento no corpo aquático ou na rede coletora de esgoto, de acordo com a Resolução CONAMA 430 (Brasil, 2011), constatando-se assim, a dificuldade para tratar efluentes desse ramo industrial.

Um dos principais parâmetros de monitoramento de águas residuais de processos industriais é a turbidez. Vieira (2019) define a turbidez como a “dispersão dos raios luminosos devido à presença de partículas em suspensão”. Logo, por definição, quanto maior a presença de sólidos na água, em estado coloidal ou não, maior a turbidez.

O sulfato de alumínio é um dos coagulantes mais usado no tratamento de água no Brasil. Este possui baixo custo e alta eficiência. Quando adicionado na água irá dissociar produzindo íons trivalentes Al^{3+} . Os íons trivalentes hidratam-se formando complexos aquometais. Na maioria dos casos, são esses produtos hidrolisados os principais agentes da coagulação. Desta forma, é aconselhável que o pH do efluente, para coagulação com sulfato de alumínio, esteja entre 4.5 e 6.5, pois neste intervalo haverá a formação de espécies preponderantes para a maior eficiência do processo (Libânio, 2010; Howe *et al.*, 2016). Já o Policloreto de Alumínio (PAC) é caracterizado como um coagulante inorgânico polimerizado catiônico. Os flocos formados a partir dele são mais densos, assim a precipitação é mais rápida em comparação a outros. Devido a menor quantidade de ácido liberado na hidrólise, o PAC possibilita menor variação de pH (Lemos *et al.*, 2020).

A utilização de diagramas de coagulação permite uma melhor visualização das dosagens de coagulantes comparadas ao pH de coagulação e turbidez (Silveira *et al.*, 2019). A partir dessa ferramenta, Bartiko e De Julio (2015), verificaram que para velocidades mais baixas de sedimentação, melhor foi o valor de turbidez, no entanto, uma alternativa inviável economicamente. Os diagramas permitiram constatar que altas dosagens do coagulante não garantem resultados satisfatórios. No estudo, a partir da dosagem de 15 mg/L de coagulante numa faixa de pH entre 6.5 e 7.5 obteve-se valores significativos (Bartiko e De Julio, 2015).

Nesse contexto, o objetivo com este trabalho foi comparar a eficiência de remoção de parâmetros físico-químicos de um efluente têxtil utilizando os coagulantes Policloreto de Alumínio (PAC) e Sulfato de Alumínio, no processo de coagulação/floculação/decantação. Considerou-se usar variações do pH do efluente com o objetivo de avaliar a influência deste na ação do coagulante em meio ácido e próximo a neutralidade e a possível necessidade de correção. Utilizou-se diagramas de coagulação como instrumento avaliativo do tratamento.

Metodologia

Caracterização da área de estudo

As amostras foram oriundas de processos de lavagem e beneficiamento de jeans de uma lavanderia têxtil, localizado no município de Caruaru, estado de Pernambuco, Brasil (Figura 1). O efluente foi coletado em recipientes plásticos, previamente higienizado antes da coleta para evitar contaminação.



Figura 2. Tanque de equalização.

Tratamento Coagulação-Floculação-Decantação

Com a utilização de um equipamento Jar Test Milan, modelo JT 303.M, com seis jarros, que proporciona a simulação das etapas de coagulação, floculação e decantação, foi possível a realização dos testes para avaliar a eficiência dos coagulantes na remoção da turbidez, cor aparente, sólidos totais e DQO do efluente da lavanderia. Os coagulantes inorgânicos utilizados foram o Sulfato de Alumínio e o Policloreto de Alumínio (PAC).

Foram realizados dois ensaios, o primeiro com o Sulfato de Alumínio e o segundo com o PAC. Nos dois casos o efluente bruto foi ajustado em dois valores de pH. Nos três primeiros jarros o pH foi ajustado em 4.8 e nos três últimos jarros em 7.3. Para cada valor de pH, as dosagens dos coagulantes inorgânicos variaram de 50 a 100 mg/L, com escalonamento de 25 mg/L (Tabela 1). Para a alteração do pH foram utilizadas soluções de ácido clorídrico (1%) e hidróxido de sódio (0.5 N).

Tabela 1. Valores de pH e dosagens de coagulante.

	Ensaio 1 (Sulfato de Alumínio)						Ensaio 2 (PAC)					
	Jarros						Jarros					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
pH	4.8	4.8	4.8	7.3	7.3	7.3	4.8	4.8	4.8	7.3	7.3	7.3
Dosagem de Coagulante (mg/L)	50	75	100	50	75	100	50	75	100	50	75	100

A Tabela 2 apresenta as configurações das variáveis operacionais empregadas no Jar Test para os ensaios de Coagulação-Floculação-Decantação. Foram empregados dois tempos de mistura lenta (TML).

Tabela 2. Configurações operacionais do equipamento.

Variáveis Operacionais	
Velocidade de mistura rápida (VMR)	100 rpm
Tempo de mistura rápida (TMR)	30 seg
Tempo de mistura lenta 1 (TML1)	30 min
Tempo de mistura lenta 2 (TML2)	15 min
Velocidade de mistura lenta 1 (VML1)	50 rpm
Velocidade de mistura lenta 2 (VML2)	25 rpm
Tempo de sedimentação	10 min

Após os ensaios de Jar Test, foram coletados cerca de 100 mL de amostra de cada jarro do equipamento para as análises em triplicata dos parâmetros de estudo. Em seguida, com os valores médios das análises, foram construídos os diagramas de coagulação, a partir do Software MiniTab 19, para elaboração dos gráficos de contornos. Cada coagulante gerou quatro diagramas distintos: um para turbidez, um para cor aparente, um para sólidos totais e outro para DQO.

Resultados e discussão

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da caracterização físico-química do efluente, realizada antes de receber o tratamento de coagulação/floculação/sedimentação em Jar-Test com o emprego dos coagulantes Sulfato de Alumínio e Ploricloreto de Alumínio (PAC).

Tabela 3. Caracterização do efluente bruto.

Parâmetros	Média dos valores e desvio padrão
Turbidez (uT)	279.3 ± 4.163
Cor Aparente (Abs)	0.5387 ± 0.013
DQO (mg/L)	831.03 ± 45.147
Sólidos Totais (mg/L)	3220 ± 30.550
pH	7.18 ± 0.106

A análise da DQO é fundamental para a decisão de qual será o método usado para tratar os efluentes. O alto valor desse parâmetro no efluente estudado, indica a viabilidade do tratamento físico-químico por coagulação/floculação/decantação. Os parâmetros turbidez, cor aparente e

sólidos totais, também apresentaram valores elevados, o que reafirma o efluente como uma mistura com alto potencial poluidor para o meio ambiente.

Na Figura 3 são apresentados os diagramas de coagulação com os resultados para a turbidez do efluente tratado por coagulação/floculação/sedimentação utilizando o Sulfato de Alumínio (A) e o Policloreto de Alumínio - PAC (B).

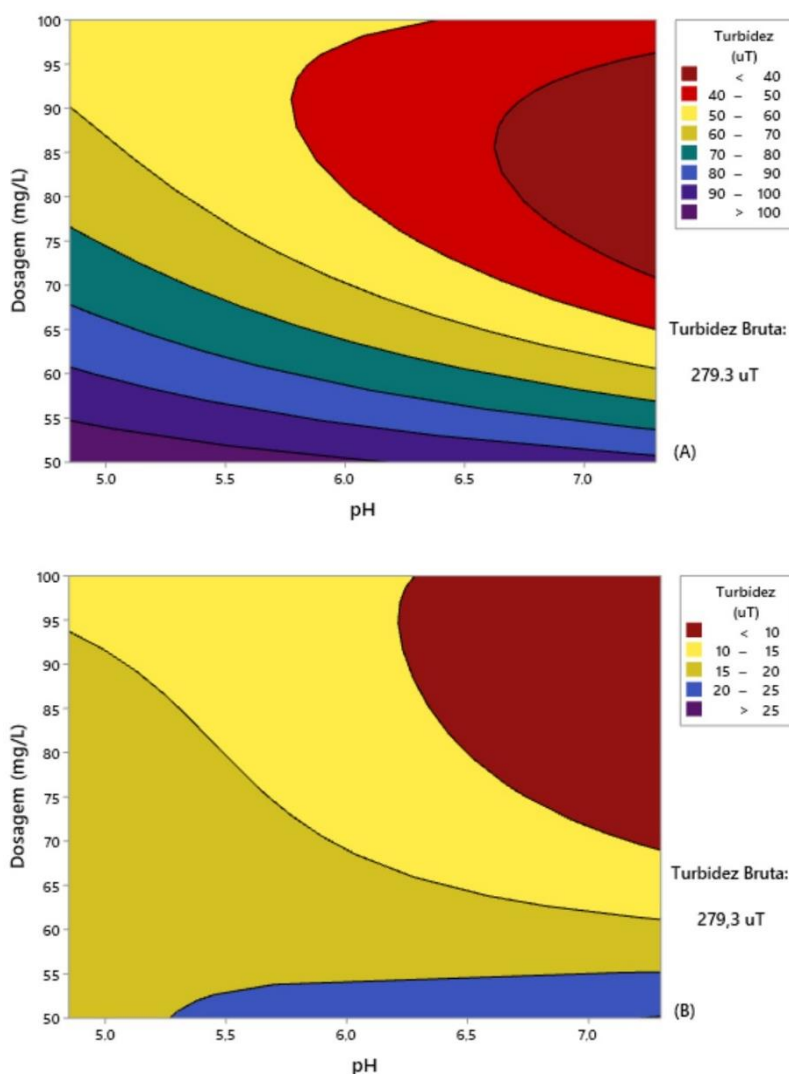


Figura 3. Diagramas de coagulação para turbidez referentes aos ensaios com o Sulfato de Alumínio (A) e o PAC (B).

Para o Sulfato de Alumínio, o diagrama de coagulação (Figura 3A) ilustra que para toda a faixa de pH e dosagem de coagulantes estudadas, houve remoção da turbidez da água bruta. Todavia, observa-se que os melhores resultados para o parâmetro (remoção de 87%), são obtidos em pH acima de 7.0 e em dosagens de Sulfato de Alumínio entre 75 mg/L e 95 mg/L, indicando uma prevalência do mecanismo de adsorção-desestabilização na coagulação, uma vez que a faixa de pH ideal para o uso de sulfato de alumínio é restrita, aproximando-se do pH neutro, como também apontou o estudo de Silveira *et al.* (2019).

Esse resultado é superior ao obtido por Silva *et al.* (2019) ao tratar o efluente de uma lavanderia têxtil também pelo processo de coagulação/floculação/sedimentação. Os autores realizaram um ensaio de Jar Test com um tempo total superior ao utilizado neste estudo. Utilizando um tempo de mistura rápida de 2 min e gradiente de velocidade de 120 rpm, mistura lenta com um tempo de 10 min e gradiente de velocidade de 25 rpm e tempo de decantação de 60 min, com dosagem de Sulfato de Alumínio de 100 mg/L, obtiveram uma redução de turbidez de cerca de 67%. Já Cunha *et al.* (2019) ao aplicar uma dosagem de 50 mg/L com condições operacionais de jar test diferentes, obteve uma redução de 95% da turbidez do efluente têxtil.

Já em relação ao uso do Policloreto de Alumínio – PAC (Figura 3B) observa-se que para todas as dosagens do coagulante houve uma remoção significativa do parâmetro, sendo que em valores de pH próximo a neutralidade, com dosagens de coagulante entre 70 mg/L e 100 mg/L, a turbidez consegue ficar menor que 10 uT, alcançando o valor de 7.3 uT na dosagem de 75 mg/L, o que representa uma redução da turbidez de cerca de 97%. Sendo assim, os resultados apontam que para os dois coagulantes, dosagens acima de 75 mg/L com pH próximo a neutralidade, são mais eficientes. Contudo, nessas condições, o PAC se destaca em relação ao Sulfato de Alumínio por proporcionar uma redução da turbidez mais próxima de 100%. Entende-se que em relação a turbidez, o efluente estaria em condições de ser lançado no meio ambiente, sem a necessidade de um pós-tratamento.

A Figura 4 apresenta os diagramas de coagulação para cor aparente do efluente após a decantação utilizando o Sulfato de Alumínio (A) e o Policloreto de Alumínio - PAC (B). Observa-se que para o Sulfato de Alumínio (Figura 4A) e para o Policloreto de Alumínio – PAC (Figura 4B) em todas as faixas de pH e dosagem de coagulante estudadas, houve remoção de cor aparente. Os resultados estão expressos em absorvância, ou seja, a capacidade da água em absorver luz. Dessa forma, a cor aparente está diretamente ligada a turbidez, pois esta relaciona-se com a dispersão dos raios luminosos devido à presença de partículas em suspensão (Vieira, 2019). Assim, as partículas que conferem turbidez também são responsáveis por absorver a luz. Logo, quanto maior a turbidez menor a capacidade da água transmitir a luz.

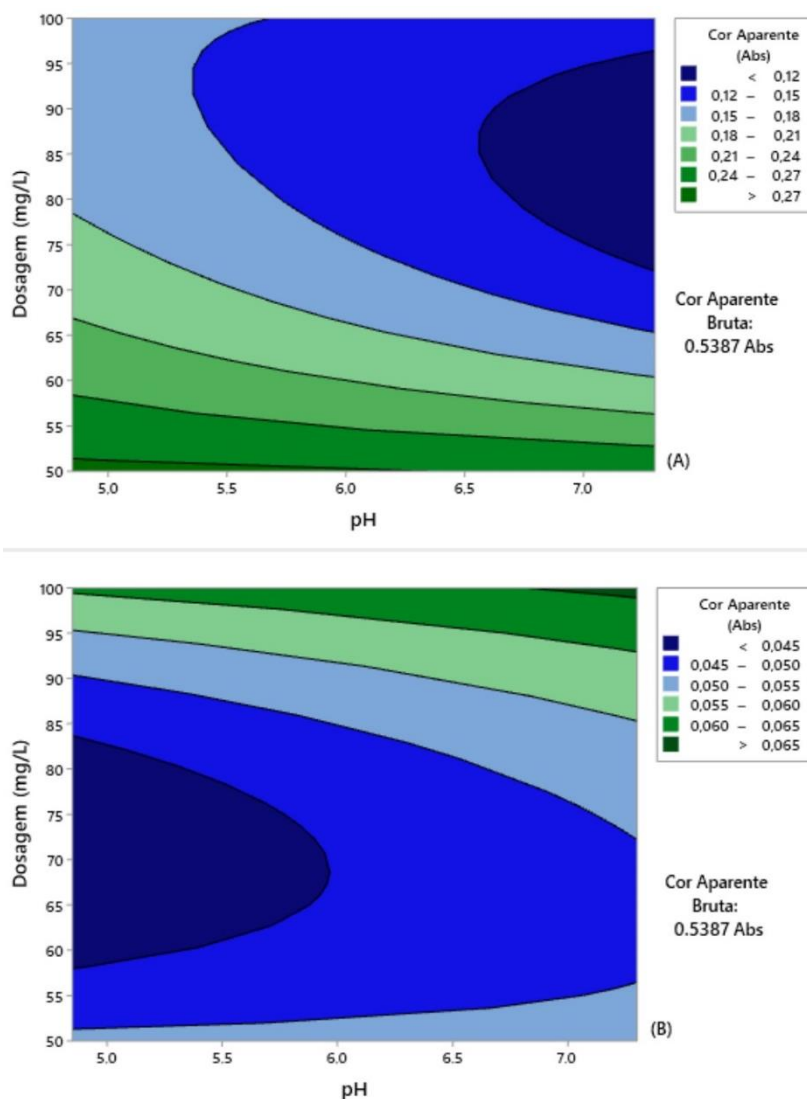


Figura 4. Diagramas de coagulação para cor aparente referentes aos ensaios com o Sulfato de Alumínio (A) e o PAC (B).

É possível notar que para o Sulfato de Alumínio os melhores resultados foram obtidos em pH acima de 7.0 e em dosagens do coagulante entre 75 mg/L e 95 mg/L, resultado que se assemelha ao obtido para a turbidez com a utilização desse coagulante. Silva *et al.* (2019) também obtiveram melhores remoções de cor em dosagens mais elevadas de sulfato de alumínio. No entanto, tal semelhança de intervalos não é observado para o PAC. Em relação a cor aparente, os menores valores foram obtidos em dosagens entre 60 mg/L e 85 mg/L em pH ácido, sendo o melhor resultado na dosagem de 75 mg/L e pH de aproximadamente 4.8, no qual, foi possível obter uma redução de 92%.

Os diagramas de coagulação para os sólidos totais utilizando o Sulfato de Alumínio (A) e o Policloreto de Alumínio - PAC (B), podem ser observados nos diagramas de coagulação da Figura 5.

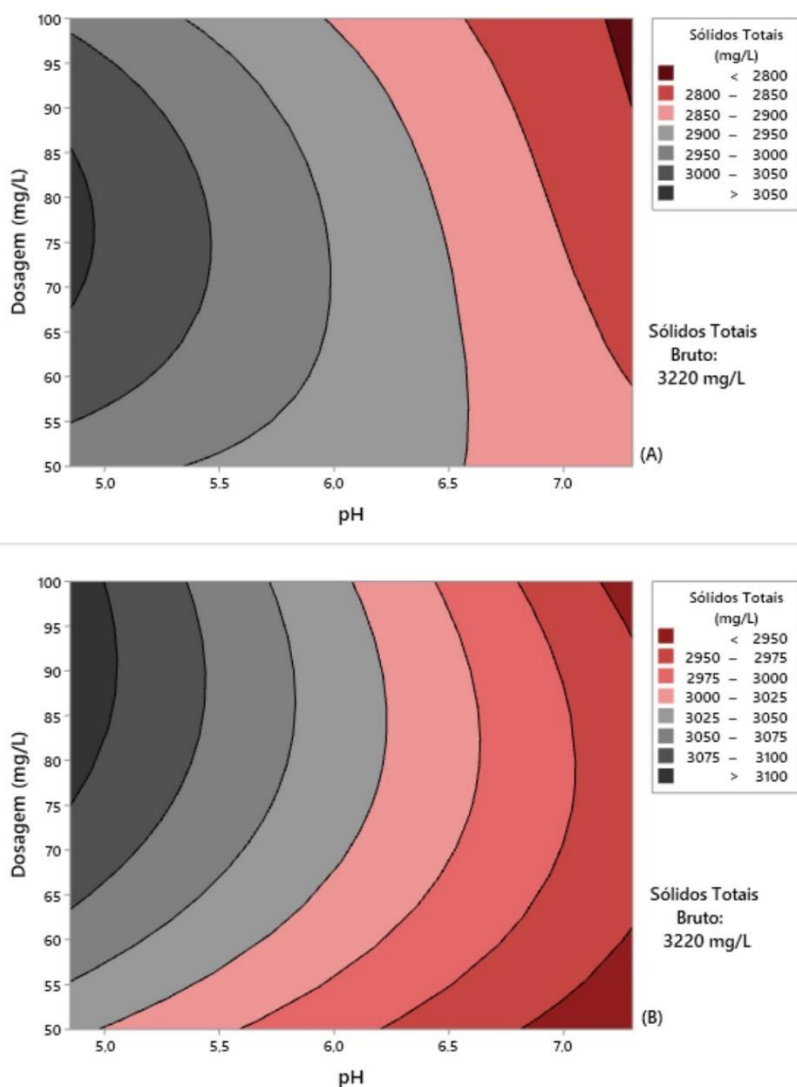


Figura 5. Diagramas de coagulação para sólidos totais referentes aos ensaios com o Sulfato de Alumínio (A) e o PAC (B).

Para os dois coagulantes, observa-se que para todas as faixas estudadas de dosagem de coagulante e pH, ocorreu a diminuição dos valores de sólidos totais. Isso acontece porque o coagulante tem a função de unir as partículas sólidas, aumentando sua densidade, levando a decantação das partículas e por consequência, tornando o efluente mais límpido. Assim, a remoção dos sólidos totais, influencia

diretamente em menores valores de turbidez, já que a mesma, é causada devido a presença de partículas sólidas na água que dificultam a penetração da luz. Todavia, os resultados não foram satisfatórios. A maior remoção ocorreu em pH 7.0 com dosagem de 100 mg/L de coagulante, tanto para o Sulfato de Alumínio, quanto para o PAC, alcançando remoção de 13.35% e 8.7%, respectivamente. Prestes *et al.* (2016) também apresentaram dificuldades na diminuição dos valores de sólidos totais por meio desta tecnologia de tratamento, obtendo um percentual de remoção de apenas 7%, utilizando coagulante orgânico. A eficiência de remoção do parâmetro DQO utilizando o Sulfato de Alumínio (A) e o Policloreto de Alumínio - PAC (B), pode ser observada nos diagramas de coagulação da Figura 6.

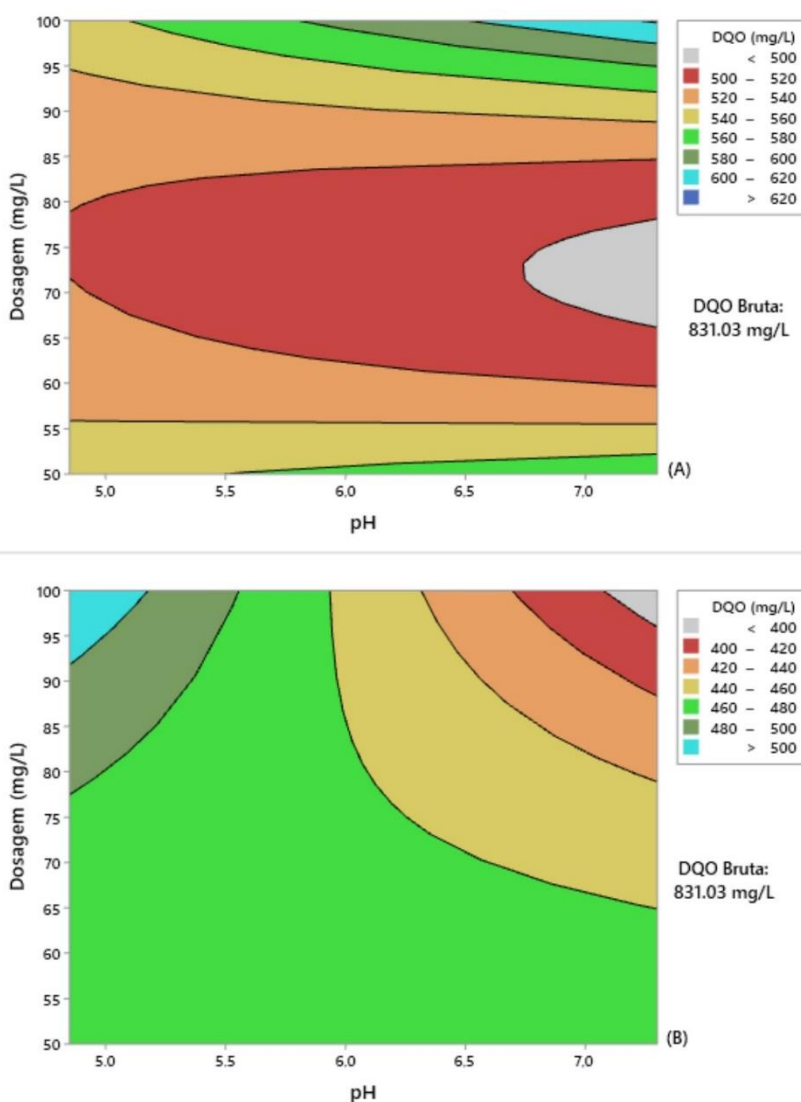


Figura 6. Diagramas de coagulação para DQO referentes aos ensaios com o Sulfato de Alumínio (A) e o PAC (B).

A elevada carga de DQO em um efluente da indústria têxtil deve-se ao fato da quantidade de substâncias orgânicas, biodegradáveis ou não, presentes nos insumos utilizados no processo produtivo. Verifica-se que para o Sulfato de Alumínio (Figura 7A) em todas as faixas de dosagem do coagulante e de pH estudadas, houve remoção da DQO, sendo que em pH próximo a neutralidade com dosagens de coagulantes entre 70 mg/L e 75 mg/L obteve-se a melhor eficiência: 40.8%. Já para o Policloreto de Alumínio – PAC (Figura 7B), o melhor resultado foi de 53.3% de redução da DQO, obtido em pH na faixa de neutralidade e dosagem de 100 mg/L. Fica nítido, portanto, que o PAC na mesma faixa de pH que o Sulfato de Alumínio e com o aumento da dosagem, forneceu melhores percentuais. Todavia, os dois tratamentos apresentaram dificuldades em remover de maneira significativa a carga orgânica. Os resultados obtidos na remoção de turbidez e cor, foram mais satisfatórios.

Prestes *et al.* (2016) e Bender *et al.* (2019), tratando efluentes da indústria de papel e celulose por meio da coagulação/floculação/decantação obtiveram uma remoção da DQO de apenas 46% e 16%, respectivamente. Cunha *et al.* (2019) tratando um efluente de indústria têxtil com Sulfato de Alumínio lograram eficiência de redução de DQO de 44.53% com a concentração de 100 mg/L, o melhor resultado que os autores conseguiram com uso desse coagulante. Silva *et al.* (2019) alcançaram resultados de remoção de DQO entre 58% e 68% variando as configurações de operação do jar test.

Desse modo, constata-se que diversos autores apresentaram dificuldades na redução dos valores da DQO. Assim, esse parâmetro torna-se um dos mais preocupantes dentro do monitoramento, já que uma carga elevada, promove um grande consumo de oxigênio, fator que inviabiliza a existência de seres aquáticos no corpo d'água no qual deverá ser lançado o efluente. Portanto, há a necessidade de um tratamento posterior, de natureza biológica, por exemplo, objetivando o alcance de melhores eficiências de remoção da matéria orgânica.

A Resolução Federal CONAMA 430 (Brasil, 2011) que trata do lançamento de efluentes em corpos d'água, não especifica limites para demanda química de oxigênio (DQO), referindo-se apenas a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Já a Norma Técnica 2001 (Agência Estadual do Meio Ambiente do Estado de Pernambuco, 2003), que aborda o controle de carga orgânica em efluentes líquidos industriais, aponta que para uma indústria têxtil, a remoção de DQO deverá ser de 80%. As duas resoluções, Federal e Estadual, não apresentam valores de referência para turbidez, cor aparente e sólidos totais.

É importante ressaltar que nenhum dos dois coagulantes utilizados, independente da dosagem, promoveram alterações significativas dos valores de pH do efluente tratado em relação ao pH inicial do efluente, antes do tratamento. Sendo assim, a utilização dos mesmos, diminui o custo em relação a correção posterior de pH para se adequar as normas de lançamento de efluentes.

Todavía, alguns estudos de viabilidade econômica dos coagulantes, destacam que apesar de na maioria dos casos o PAC apresentar desempenho mais satisfatório em dosagens menores que o Sulfato de Alumínio, a utilização deste último ainda tem melhor retorno financeiro, mesmo sendo consumido em dosagens maiores, devido o preço de mercado mais baixo (Santos e Madeira, 2015; Lemos *et al.*, 2020).

Conclusões

Houve redução significativa dos parâmetros cor aparente e turbidez principalmente com a utilização do PAC, na dosagem de 75 mg/L. A cor aparente obteve uma redução de 92%, enquanto a turbidez foi removida em 97%. No entanto, para a cor aparente esse resultado foi obtido em pH ácido, já para a turbidez essa remoção ocorreu em pH próximo a neutralidade. No que se refere aos sólidos totais e DQO, observa-se dificuldade na remoção desses parâmetros com a tecnologia adotada, sendo necessário mudanças no processo produtivo ou aplicação de outra tecnologia para um pós-tratamento, principalmente devido à importância da DQO no lançamento de efluentes em corpos receptores, já que esse parâmetro se refere a matéria orgânica. Sugere-se, um estudo com a utilização de outros coagulantes, como os de natureza orgânica, verificando se esses coagulantes fornecem valores similares, além de alteração no pH final do efluente. Além disso, para trabalhos futuros, pode-se explorar a coagulação em mais níveis de dosagem do coagulante e em maiores variações de pH do efluente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio (bolsa) de estudos concedido.

Referências bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) *NBR 13969: 1997 - Tanques sépticos. Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação*, Rio de Janeiro, 60p. Acesso em 19 de outubro de 2022. Disponível em: https://acquasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf.
- APHA, American Public Health Association (2017) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: American public health association.
- Bartiko, D., De Julio, M. (2015) Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento, *Revista Ambiente & Água*, **10**, 71-81. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1239>
- Bender, A. F., Souza, J. B., Vidal, C. M. S. (2019) Tecnologias avançadas de tratamento visando à remoção de cor e fenol de efluente de indústria de celulose e papel, *Ciência Florestal*, **29**(2), 571-582. <https://doi.org/10.5902/1980509832503>

- Brasil (2005) *Resolução n° 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, 09 de março de 2006, Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Diário Oficial da União, Brasília, DF, Brasil 3p.* Acesso em 19 de outubro de 2022. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/838F10BD/Resol5408_ReusoDiretoAgua1.pdf
- Brasil (2011) *Resolução n° 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, Brasil. 9p.* Acesso em 19 de outubro de 2022. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>
- Cunha, A. L. X., Neto Pereira, L. M., Arruda, V. C. M., Silva, V. P., Filho Cunha, M., Tavares, R. G. (2019) Tratamento físico-químicos de efluente têxtil utilizando sulfato de alumínio, carvão ativado e Moringa Oleífera (*Moringa moringa* (L.)), *Revista Geama: Ciências Ambientais e Biotecnologia*, **5**(3), 47-55.
- Da Silva, M. F., Menelau, A. S., Ribeiro, A. R. B. (2021) Impactos ambientais registrados nos estudos das lavanderias têxteis do arranjo produtivo do agreste pernambucano: uma releitura pela perspectiva da sustentabilidade ambiental. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, **10**(3), 77-103. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v10e3202177-103>
- Fernandes Junior, J., Cicilinski, A. D., Döll, M. M. R. (2019) Avaliação da eficiência do processo de coagulação/floculação como tratamento de efluentes de lava car, *Revista de Engenharia e Tecnologia*, **11**(2), 220-226.
- Howe, K. J., Hand, D. W., Crittenden, J. C., Trussel, R. R., Tchobanaglou, G. (2016) *Princípios de Tratamento de Água*, Cengage Learning, São Paulo, 624 pp.
- Hussain, T., Wahab, A. (2018) A critical review of the current water conservation practices in textile wet processing. *Journal of Cleaner Production*, **198**, 806-819. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.051>
- Kamiwada, W. Y., Andrade, P. V., Reis, A. (2020) Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **25**(5), 667-676. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180005>.
- Khattab, T. A., Abdelrahman, M., S., Rehan, M. (2020) Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation, *Environmental Science and Pollution Research*, **27**(4), 3803-3818. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07137-z>.
- Lemos, K. S., Aguiar Filho, S. Q., Cavallini, G. S. (2020) Avaliação comparativa entre os coagulantes sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo de viabilidade econômica. *DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, **7**(1), 109-119. <https://doi.org/10.20873/uftv7-7824>
- Libânio, M. (2010) *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*, 3a ed., Átomo, Campinas, São Paulo, 496 pp.
- Santos, T. D. K. N., Madeira, V. S. (2015) Avaliação em jar teste e em planta de diferentes coagulantes na clarificação da água para uso industrial. *Blucher Chemical Engineering Proceedings, XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-list/cobeq2014-245/list>
- Silva, L. D., Dantas, P. R., Neto Pereira, L., Arruda, V. C. M., Tavares, R. G., SILVA, V. P. (2019) Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil, *Revista Geama: Ciências Ambientais e Biotecnologia*, **(5)1**, p. 36-40.
- Silveira, T. N., Barbosa, M. G. N., Pequeno, L. A. B., Santos, W. B., Ferreira, W. B. (2019) Performance de coagulantes orgânicos e inorgânicos por meio de diagrama de coagulação em águas naturais. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, **7**(1), 16-25. <https://doi.org/10.9771/gesta.v7i1.28068>
- Portal da Indústria (2021) *Indústria da Transformação: Produtos têxteis* Acesso em 22 de outubro de 2022. Disponível em: <https://perfilsetorialdaindustria.portaldaindustria.com.br/categorias/13-produtos-texteis/>.
- Prestes, A. P. B., Bender, A. F., Vidal, C. M. S., Neves, L. C., Manuca, M. (2016) Tratamento de efluente de indústria de papel com agente coagulante tanino vegetal, *Enciclopédia Biosfera*, **13**(24), 1043-1051. http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio_2016B_098

- Unesco, World Water Assesment Programme (2017) *Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 2017: Águas residuais: o recurso inexplorado, resumo executivo*. Acesso em 01 de dezembro de 2022. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552>
- Unesco, World Water Assesment Programme (2021) *Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 2021: o valor da água; fatos e dados*. Acesso em 01 de dezembro de 2022. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por.
- Vieira, M. R. (2019) *Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são: pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido*. Agencia Nacional das Aguas–ana-2015.
- Yaseen, D. A., Scholz, M. (2019) Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **16**, 1193–1226. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2130-z>