

# ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL ATRAVÉS DE PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E ELETROCOAGULAÇÃO

**e-Xacta**

ISSN: 1984-3151

## STUDY OF THE TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENT BY COAGULATION/FLOCCULATION PROCESS AND ELECTROCOAGULATION

**Paula Cristina de Souza<sup>1</sup>; Nehemias Curvelo Pereira<sup>2</sup>; Morgana Suszek Gonçalves<sup>3</sup>;  
Nelson Consolin Filho<sup>4</sup>; Paulo Henrique Rodrigues<sup>5</sup>; Vanessa Marconi Jamarim<sup>6</sup>**

- 1 Doutoranda em Engenharia Química PEQ, Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade do Oeste do Paraná, 2006. Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão PR. [paulacsouza@uol.com.br](mailto:paulacsouza@uol.com.br).
- 2 Doutor em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1980. Professor titular da Universidade Estadual de Maringá, PR. [nehemiascp@yahoo.com.br](mailto:nehemiascp@yahoo.com.br).
- 3 Doutora em Engenharia Agrícola. Universidade do Oeste do Paraná, 2010. Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão PR. [morgana@utfpr.edu.br](mailto:morgana@utfpr.edu.br).
- 4 Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo, 2003. Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão PR. [consolin@utfpr.edu.br](mailto:consolin@utfpr.edu.br).
- 5 Mestrando em Engenharia Química PEQ/UEM. Engenheiro civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015 Campo Mourão PR. [paulo\\_rodrigues21@hotmail.com](mailto:paulo_rodrigues21@hotmail.com).
- 6 Mestranda em Engenharia Química PEQ/UEM. Engenheira civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015 Campo Mourão PR. [vanessa.marconi@hotmail.com](mailto:vanessa.marconi@hotmail.com).

Recebido em: 20/09/2016 - Aprovado em: 02/11/2016 - Disponibilizado em: 30/11/2016

*RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de parâmetros físico-químicos, os processos de tratamentos por coagulação/floculação, utilizando três diferentes coagulantes/floculantes: tanino, policloreto de alumínio e sulfato de alumínio, e o processo de eletrocoagulação, para o tratamento de efluentes líquidos de uma lavanderia têxtil. Para o processo de coagulação/floculação, foi realizado inicialmente um estudo para determinar a melhor dosagem dos coagulantes em relação ao efluente, em seguida o melhor pH inicial para cada dosagem estabelecida, nestas condições foram verificadas as percentagens de remoções de DQO, cor aparente e turbidez para cada coagulante. Para o tratamento de eletrocoagulação, foi utilizando um reator em escala laboratorial, do tipo batelada, com eletrodos de alumínio, capacidade de 4 litros e densidade de corrente de 1,51mA<sup>-2</sup>. O efluente têxtil apresentou para os quatro processos de tratamento, características físico-químicas dentro dos limites de despejo em corpos hídricos receptores impostos pelo CONAMA nº 430/2011, sendo o tratamento através do processo de coagulação/floculação utilizando o coagulante PAC o que apresentou a melhor eficiência de remoção dos parâmetros analisados. O tanino também demonstrou ser uma boa opção para o tratamento do*

*efluente têxtil, com a vantagem de ser um coagulante natural e não possuir metais pesados em sua composição, além de ser biodegradável.*

*PALAVRAS-CHAVE: Efluente têxtil. Coagulação/floculação. Eletrocoagulação.*

*ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate, through physical-chemical and economic parameters, the treatment processes by coagulation/flocculation, using three different coagulants/flocculants: tannin, polyaluminum chloride and aluminum sulfate, and the process of electrocoagulation, for the treatment of liquid effluents from a textile laundry. For the coagulation/flocculation process, a study was initially performed to determine the best coagulant dosage in relation to the effluent, then the best initial pH for each set dosage, in those circumstances it was verified the percentages of COD removal, apparent color and turbidity for each coagulant. For the treatment of electrocoagulation, by using a laboratory-scale reactor, of batch type, with aluminum electrodes, volumetric capacity of 4 liters and current density of 1,51 mA.m<sup>-2</sup>. The textile effluent presented for the four treatment processes, physicochemical characteristics within the disposal limits on receiving water bodies imposed by CONAMA 430/2011, being the treatment by the process of coagulation / flocculation using the PAC coagulant, It showed the best removal efficiency of the parameters analyzed. Tannins also demonstrated to be a good option for the treatment of the textile effluents, with the advantage of being a natural coagulant and have no heavy metals in their composition, in addition to being biodegradable.*

*KEYWORDS: Textile effluent. Coagulation/flocculation. Electrocoagulation*

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um bem natural cada dia mais escasso e o setor industrial vem se conscientizando em relação à este aspecto, demonstrado grande interesse em reduzir a poluição causada pelos seus processos industriais, não apenas na estação de tratamento, mas em cada etapa da cadeia produtiva.

Dentro do setor têxtil encontram-se as lavanderias industriais, grande maioria espalhadas no país e, em muitos casos, ineficientes no que tange às questões ecológicas, econômicas e sociais, mesmo assim são responsáveis pelo quinto lugar em empregos diretos no país (AFONSO, 1985).

O efluente da indústria têxtil apresenta uma ampla variação na sua composição devido às características de suas fibras e dos produtos químicos usados em diferentes processos. Existem mais de 100 mil corantes disponíveis no mercado com uma produção anual estimada de mais de 7.105 toneladas sendo que 10 a 50% desses corantes são perdidos no efluente. (KHANDEGAR; SAROHA, 2013), caracterizando, portanto, os despejos gerados neste setor como sendo fortemente colorido, devido à presença dos corantes que não se fixam na fibra durante o processo

de tingimento. A poluição de corpos d'água com esses compostos provocam, além da poluição visual, alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese. Além desse fato, estudos têm mostrado que algumas classes de corantes podem ser cancerígenos e/ou mutagênicos. (KUNZ, *et al.*, 2002).

O estudo de novas alternativas capazes de minimizar o volume empregado de água nos processos industriais e também a redução da sua toxicidade é um dos principais desafios no combate à contaminação ambiental. Tem-se visto muitas pesquisas realizadas com o objetivo de reciclar água e produtos de alto valor agregado dos efluentes têxteis, pela aplicação de processos que permitam separar a matéria poluente da água. Dentre as várias técnicas investigadas, podem-se citar os processos de eletrocoagulação e a utilização de polímeros naturais.

As técnicas de eletrocoagulação (EC) têm sido utilizadas por serem muito eficazes na remoção de DQO e descoloração com baixo consumo de energia, e têm a vantagem de eliminar as pequenas partículas coloidais, além de produzir uma quantidade relativamente baixa de lamas, tornando os métodos

eletroquímicos uma alternativa simples e eficiente para a purificação de muitos tipos de águas e efluentes.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi comparar, por meio de parâmetros físico-químicos e econômicos, os processos de tratamento com coagulantes/floculantes naturais (Tanino) e de coagulante químico (sulfato de alumínio e policloreto de alumínio) com o processo de eletrocoagulação e eletroflotação para o tratamento de efluentes líquidos de uma lavanderia industrial têxtil, destinada a lavagem de jeans, com capacidade de lavagem de aproximadamente 7000 kg de roupas por dia.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ÁGUAS RESIDUAIS TÊXTEIS

As amostras utilizadas neste trabalho provêm de uma lavanderia industrial localizada no município de Campo Mourão, noroeste do estado do Paraná, Brasil. A lavanderia consome no seu processo cerca de 100 m<sup>3</sup>/dia de água. O efluente final contém poluentes orgânicos e inorgânicos além de uma coloração escura, necessitando de tratamento para despejo final em corpo receptor segundo a norma ambiental CONAMA nº 430/2011. Como corpo receptor desse efluente, é utilizado o Rio do Campo, cujo afluente da margem esquerda é o Rio Mourão o qual deságua no Rio Ivaí, sendo que suas águas passam nos limítrofes de fundo da propriedade.

A determinação dos parâmetros: DQO, cor, turbidez, condutividade, sólidos totais (ST) e sólidos suspensos (SS), sólidos dissolvidos (SD), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV), foram feitos em duplicatas aplicando os métodos estabelecidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Análises de DQO foram realizadas em um reator de COD da MARCONI MA4004 e um

espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, para a medição da turbidez foi utilizado um turbidímetro da marca HANNA modelo HI93414 e para medição de cor foi empregado medidor de cor da marca HANNA modelo HI93727, sendo a leitura da turbidez de forma direta e os resultados expressos em FTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) e a medição da cor realizada a partir da leitura direta sendo os resultados expressos em mg PtCo/L, a evolução do pH foi determinada por meio de pHmetro. A condutividade elétrica foi determinada em um condutivímetro da marca METTLER TOLEDO.

### 2.2 COAGULANTES E PRODUTOS QUÍMICOS

Foram utilizados 3 coagulantes diferentes: Sulfato de alumínio na forma sólida, fornecido pela empresa Cinetica®, o tanino vegetal (Tanfloc®) da forma sólida, fornecido pela empresa TANAC S/A, e o policloreto de alumínio (PAC), na forma líquida.

O ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e o hidróxido de sódio (NaOH) foram usados para ajuste do pH. A força iônica, e conseqüentemente, a condutividade da água residuária, foram ajustados usando a adição de cloreto de sódio (NaCl) na seguinte quantidade, 0-6,0 g.L<sup>-1</sup>, que abrange os valores normalmente explorados na literatura (MERZOUK *et al.*, 2011; MERZOUK *et al.*, 2009). O NaCl é um sal com baixo custo e toxicidade, com alta condutividade e alta solubilidade, tendo um efeito negligenciável sobre o pH do efluente. Os demais produtos químicos usados nos experimentos eram de grau reagente e usados conforme recebidos.

### 2.3 EXPERIMENTOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Os experimentos de coagulação/floculação foram realizados em equipamento *jar-test* para seis amostras, marca Milan – Modelo JT 101/6, com

regulador de rotação das hastes misturadoras, em temperatura ambiente (19 a 33°C). Consistiram na adição de diferentes dosagens de coagulantes em béqueres de prova contendo 500 mL do efluente têxtil.

Cada coagulante/floculante, tanino, PAC e sulfato de alumínio, foi adicionado à água residuária. A mistura foi agitada a uma taxa de rotação e a um tempo fixada para cada experimento. As alíquotas de coagulantes/floculantes foram adicionadas diretamente à amostra, durante o tempo de mistura rápida (TMR) de 5 minutos a 95 rpm, para desestabilizar a suspensão. Seguiu-se uma agitação lenta (TML) durante 30 minutos a 35 rpm, para facilitar a floculação. Para ocorrer a sedimentação (SED) foi definido um tempo de 30 minutos, após esse tempo foram retiradas amostras do sobrenadante abaixo da superfície sendo os ensaios realizados em duplicata. Foram determinadas a DQO, cor aparente, turbidez, condutividade e absorvância a 450 nm. As amostras foram filtradas utilizando filtro de membrana de 0,45 µm e determinada a cor real. Com base nos resultados obtidos, para cada coagulante foram otimizadas as concentrações, para o efluente tratado, e repetidos os experimentos nas mesmas condições de TMR, TML e SED, variando valor de pH inicial do efluente entre 3 e 8, utilizando adições de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou NaCl. As porcentagens de remoções (Y) foram definidas conforme Equação 1.

$$Y(\%) = \frac{C_i - C}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Em que C<sub>i</sub> é a concentração do efluente real, e C do tratado. Para comparação múltipla das médias de cor, turbidez e DQO das amostras de cada ensaio, foram aplicados o teste de Tukey HSD ao nível de 5 % de significância. A análise estatística dos resultados foi realizada com apoio do software livre ACTION (Licença Pública Geral GNU).

## 2.4 EXPERIMENTO DE ELETROCOAGULAÇÃO

O reator de eletrocoagulação do tipo em batelada consiste em um tanque cilíndrico de acrílico com dimensões de 0,20 m de diâmetro e 0,20 m de altura, tendo um volume útil de 4 L. O conjunto de eletrodos é constituído por seis placas (10 cm de altura x 19,5 cm de largura x 3 mm de espessura), de íon alumínio, inserido verticalmente no reator, a uma distância de 10 mm entre as placas, apoiado por uma base de sustentação, parcialmente imerso na solução, com área efetiva de 660 cm<sup>2</sup>, interligado a uma fonte de energia de corrente contínua, fornecendo tensão na faixa de 0 a 50 V e intensidade de corrente na faixa de 0 a 10 A (Fonte de Alimentação DC - Instrutherm - FA-1030). Utilizando-se dois multímetros para o acompanhamento e fixação da corrente e evolução da ddp durante todo o processo. (Minipa ET-2082C).

Para promover um aumento do movimento browniano do sistema aquoso, contribuindo assim para a formação de flocos através do contato das partículas com o agente coagulante, além de proporcionar uma homogeneidade do efluente dentro do reator, foi utilizado um sistema de agitação mecânica, empregando um agitador mecânico da marca FISATON, modelo 711, cod.450-1, 230 V. A densidade de corrente (j) foi fixada em 1,51 mA/m<sup>2</sup>, o que corresponde a valor de corrente (I) de 5 A. Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente (19 – 29°C). O tempo de eletrólise foi fixado em 15 minutos, baseado nos estudos de alguns autores que comprovaram que este intervalo de tempo foi suficiente para a redução de parâmetros como cor e turbidez do efluente têxtil (MANENTI *et al.*, 2014, MERZOUK *et al.*, 2011, MERZOUK *et al.*, 2009).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 resume os valores médios das características principais obtidos após duas análises

de cada parâmetro, resultantes de três diferentes coletas, os efluentes foram coletados durante o período de outubro e novembro de 2014, e após a caracterização foram armazenados a 5°C.

Tabela 1

## Característica do Efluente Têxtil

Parâmetros	Unidade	Valor	Desvio
pH		6,37	1,03
Temperatura	°C	19,60	5,43
Condutividade	mScm <sup>-1</sup>	2,65	1,52
Sólidos Totais (ST)	mg L <sup>-1</sup>	4297,65	1472,47
Sólidos Fixos	mg L <sup>-1</sup>	3091,91	1070,2
Sólidos Voláteis	mg L <sup>-1</sup>	1205,74	919,01
Sólidos Suspensos Totais	mg L <sup>-1</sup>	559,85	214,85
Sólidos Suspensos Fixos	mg L <sup>-1</sup>	239,41	107,02
Sólidos Suspensos Voláteis	mg L <sup>-1</sup>	343,54	229,36
Turbidez	NTU	134,88	48,78
Cor Real	gPt-Co L <sup>-1</sup>	138,88	55,51
Cor Aparente	gPt-Co L <sup>-1</sup>	303	120,9
DQO	mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	407,87	76,11

Fonte – Próprio autor.

### 3.1 COAGULAÇÃO QUÍMICA

#### • DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTES.

As concentrações dos coagulantes foram determinadas por variação da dosagem de coagulante em condições reais, com valor médio de pH de aproximadamente 6,00, sem alteração das condições iniciais. O intervalo de estudo das concentrações de coagulantes foram de 0,2 – 0,6 mL.L<sup>-1</sup> para o coagulante policloreto de alumínio (PAC). A faixa de dosagem do coagulante tanino foi baseada em estudos de efluentes de lavanderias de Stroher (2013) e Moreti *et al.* (2013), utilizou PAC para tratamento de

água para fins potáveis, para tanto utilizou uma faixa de dosagem mais alta.

A Figura 1 apresenta as percentagens de remoção de cor, DQO e turbidez, com valores médio, máximos e mínimos.

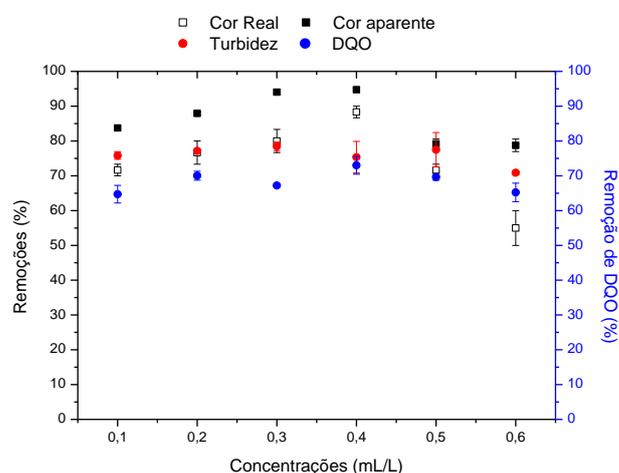


Figura 1 – Porcentagens de remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante PAC.

Fonte – Próprio autor.

O coagulante PAC apresentou redução de cor aparente de aproximadamente 95% na dosagem de 0,3 e 0,4 mL.L<sup>-1</sup>. Nessas dosagens, a turbidez apresentou redução em torno de 75% e a DQO apresentou resultados variando entre 60% e 70%. Para a escolha da melhor dosagem utilizada para o coagulante PAC no tratamento do efluente da lavanderia, foi aplicado o teste de Tukey para os valores de remoção dos parâmetros de DQO, cor aparente e cor real. Observou-se ao nível de significância de 5%, não existem diferenças significativas entre as dosagens 0,2 a 0,4 mL.L<sup>-1</sup> para os parâmetros DQO e cor real estudados. Logo, o coagulante PAC permite o tratamento com dosagem de 0,2 mL.L<sup>-1</sup>, sem comprometer a eficiência do processo. Com base nos resultados de percentual de redução da DQO, a concentração considerada para o coagulante PAC foi de 0,2 mL.L<sup>-1</sup>, obtendo as seguintes remoções: DQO 70%, cor aparente 88%, cor real 77% e turbidez de 77%.

Na Figura 2, são apresentadas as percentagens de remoção de cor, turbidez e DQO do coagulante tanino, com valores médio, máximos e mínimos, estudado na faixa de dosagem de 80-150 mg.L<sup>-1</sup>.

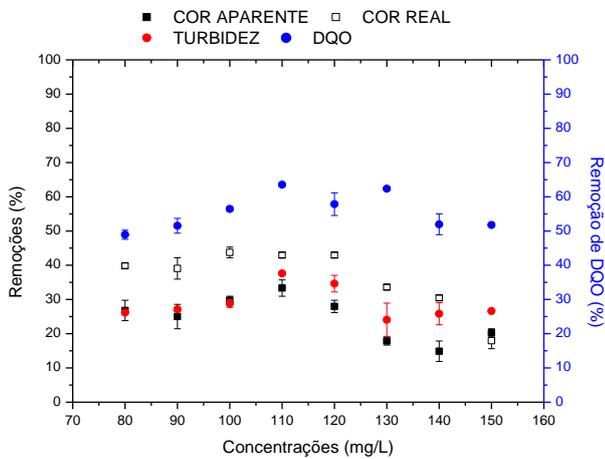


Figura 2 – Percentagens de remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante tanino.  
Fonte – Próprio autor.

A melhor remoção de DQO ocorreu na concentração de 110 mg.L<sup>-1</sup>, aplicando o teste de Tukey com um grau de significância de 5% para o parâmetro DQO. Observou-se que não há diferenças significativas para esses parâmetros nas concentrações 100, 110, 120 e 130 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, pode-se utilizar dosagem inferior da faixa analisada sem afetar a eficiência de remoção deste parâmetro. Portanto, com base nesses fatores, considerando o parâmetro principal: a remoção de DQO com o coagulante tanino; a dosagem definida para o tratamento do efluente da lavanderia foi determinada em 100 mg.L<sup>-1</sup>, com as seguintes remoções: DQO 56,45%, cor aparente 43,65%, cor real 29,76% e turbidez de 28,82%. A faixa de dosagem do coagulante tanino foi baseada em estudos de efluentes de lavanderias de Stroher (2013).

Para o coagulante sulfato de alumínio as dosagens estudadas foram de 200-900 mg.L<sup>-1</sup>. A Figura 3 apresenta as percentagens de remoção deste coagulante, com valores médio, máximos e mínimos. A cor aparente apresenta um valor máximo na

concentração de 500 mg.L<sup>-1</sup>. A turbidez manteve, para as concentrações estudadas, valores na faixa 65% a 75% de redução. Quanto a DQO, a melhor remoção ocorreu na concentração de 800 mg.L<sup>-1</sup>. Sendo a DQO o parâmetro mais relevante para o estudo, foi aplicado o teste de Tukey com um grau de significância de 5% para este parâmetro. Observou-se que não há diferenças significativas para esse parâmetro, nas concentrações de 200, 300, 400, 600, 700, 800 e 900 mg.L<sup>-1</sup>.

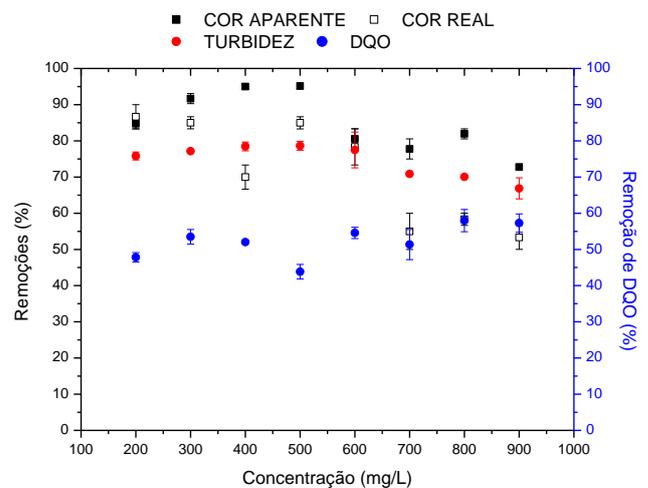


Figura 3 – Percentagens de remoção de cor, turbidez e DQO utilizando o coagulante Sulfato de Alumínio.  
Fonte – Próprio autor.

Logo, com base nesses fatores, para o coagulante sulfato de alumínio a dosagem determinada para o tratamento do efluente da lavanderia foi de 200 mg.L<sup>-1</sup>, com as seguintes remoções: DQO 53,49%, cor aparente 91,67%, cor real 85,00% e turbidez de 77,14%.

#### ● INFLUÊNCIA DO PH INICIAL

O pH inicial do efluente é parâmetro essencial para a coagulação do processo (MERZOUK *et al.*, 2011), a fim de determinar o melhor pH dos processos de coagulação foram adicionados a cada amostra de efluente real a melhor dosagem obtida em diferentes valores de pH, ajustados com soluções de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e NaOH.

Os efeitos do pH inicial na remoção da DQO (valores médios, máximos e mínimos) são representados na Figura 4, onde verifica-se uma alteração do pH durante o processo para os coagulantes estudados, esta observação também foi feita por Merzouk *et al* (2011), que justificou a alteração devido a formação de  $Al(OH)_3$ , esta evolução depende do pH inicial, como a precipitação de  $Al(OH)_3$  só é possível quando o pH inicial é maior que 4, isto impede uma mudança no pH final para valores inferiores à 4.

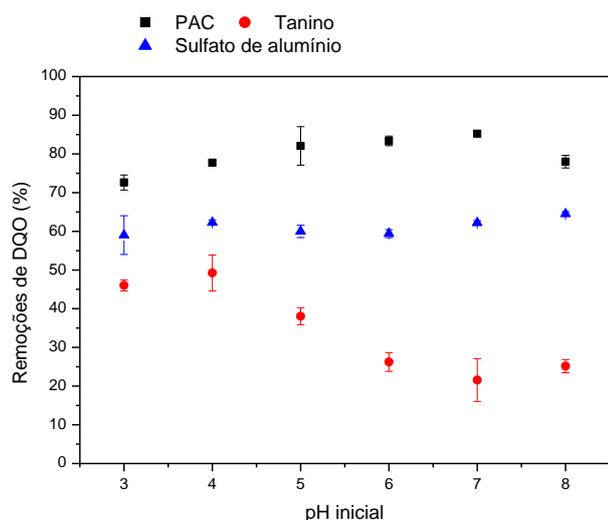


Figura 4 – Efeitos do pH inicial na remoção da DQO no processo de CC com Tanino: Ci 100mg.L<sup>-1</sup>; PAC: Ci 0,2mL.L<sup>-1</sup> e Sulfato de alumínio: Ci 200mg.L<sup>-1</sup>.  
Fonte – Próprio autor.

Com base nos dados apresentados na Figura 4, temos que, para o coagulante PAC o melhor pH inicial de trabalho ficou compreendido entre as faixas 4,00 a 8,00. Para o coagulante tanino o melhor pH inicial de trabalho é a faixa compreendida entre o pH 3,00 e o pH 5,00, e para o sulfato de alumínio, a remoção de DQO apresentou melhores resultados nas faixas de pH inicial 5,00 a 8,00. Demonstrando que os coagulantes PAC e sulfato de alumínio apresentam uma grande faixa de trabalho quanto ao pH inicial, permitindo que o efluente estudado possa ser utilizado sem correção do pH, uma vez que o efluente bruto se mantém com valor médio de pH dentro da faixa de trabalho para os três coagulantes.

### 3.2 ELETROCOAGULAÇÃO

Para verificar a redução dos poluentes do efluente têxtil pela eletrocoagulação foram realizados experimentos com o reator operando com espaçamento de 10 mm, pH 6 e densidade de corrente 1,51 mA/m<sup>2</sup>. Para elevar a condutividade do efluente bruto foram adicionadas alíquotas de NaCl, a fim de aumentar a força iônica do efluente a ser tratado, mantendo a condutividade na faixa de 6-9 mS.cm<sup>-1</sup>.

Os ensaios foram executados variando o tempo de 15-120 minutos e analisados a eficiência das reduções de DQO, COT, cor e turbidez. Os valores de degradação de DQO e COT podem ser observados na Figura 5.

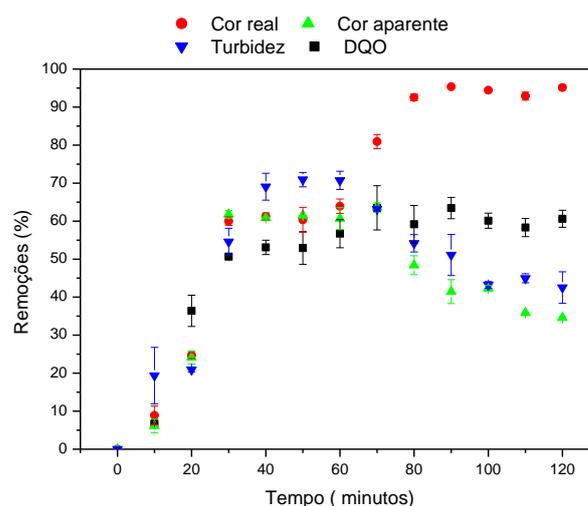


Figura 5 – Eficiência da eletrocoagulação em relação à remoção de cor real, aparente, turbidez e DQO.  
Fonte – Próprio autor.

Aproximadamente 50% de redução da DQO foi obtida nos primeiros 30 minutos de eletrólise, atingindo um valor máximo de remoção em torno de 60 minutos, permanecendo este valor praticamente constante ao longo do tempo. Verifica-se que para a cor, a redução significativa ocorre com 15 minutos de eletrólise, assim como a turbidez. Os melhores resultados para as reduções de cor aparente foram obtidos no tempo de 30 minutos com redução de 53,5% e para a cor real, a partir de 70 minutos obtiveram-se resultados

constantes com redução na faixa de 95%. Quanto à turbidez, o resultado para a redução foi de 75,5% no tempo de 110 minutos, ficando na faixa acima de 90% a partir dos 100 minutos. Após 70 minutos de eletrólise, ocorre uma redução nas remoções de cor aparente e turbidez. Isso se deve, possivelmente, ao desgaste ocorrido nos eletrodos. Segundo Aouni *et al.*, 2012, a densidade de corrente aplicada ao sistema e o tempo de eletrólise irão determinar a taxa de produção do agente coagulante, influenciando na eficiência do tratamento. À medida que uma maior quantidade de cátions de alumínio ( $Al^{3+}$ ) são gerados em solução, a taxa de formação do hidróxido de alumínio  $Al(OH)_3$ , desde que a coagulação é alcançada pela neutralização de carga e desestabilização dos coloides carregados negativamente pela hidrólise catiônica dos produtos de  $Al^{3+}$ , o excesso de coagulante pode dar uma carga reversa e re-estabilização dos coloides (MOUEDHEN *et al.*, 2008).

### 3.3 COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Na Figura 7 estão representadas as eficiências de remoções dos coagulantes estudados nas melhores condições de dosagem e pH inicial, e as eficiências de remoções obtidas para o tratamento com eletrocoagulação.

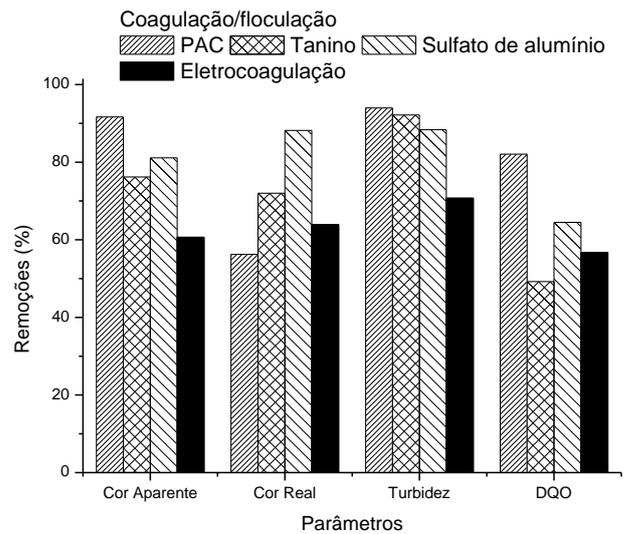


Figura 7 – Eficiência dos três coagulantes/floculantes e da EC em termos de remoção de cor real, turbidez e DQO.

Fonte – Próprio autor.

Verifica-se que, para cor aparente, turbidez e DQO, os melhores resultados de remoção foram obtidos com o processo de coagulação/floculação utilizando o coagulante PAC.

Na Tabela 2 são apresentados os valores absolutos obtidos para cada tratamento.

Tabela 2

Valores absolutos dos diferentes coagulantes para os parâmetros analisados

	Coagulação/Floculação			EC
	PAC	Tanino	Sulfato de alumínio	
Cor Aparente (gPt-Co L <sup>-1</sup> )	25,30	72,27	57,30	112,10
Cor Real (gPt-Co L <sup>-1</sup> )	60,76	38,89	16,41	50,11
Turbidez (NTU)	8,14	10,59	15,72	39,49
DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	73,09	207,03	144,79	176,62

Fonte – Próprio autor.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece padrões de lançamento de efluentes industriais nos corpos hídricos, fixando valores de até 100 unidades nefelométricas de turbidez e cor inferior a 75 mg Pt-Co L<sup>-1</sup>, apesar de não especificar os valores para os

parâmetros de DQO, recomenda-se que este parâmetro seja inferior a 300 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. Pode ser observado que os quatro tratamentos propostos atendem a Resolução citada, ou seja, permitem o lançamento após o tratamento nos corpos hídricos brasileiros.

### 3.4 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO NO EFLUENTE TRATADO

Foram analisadas as concentrações de alumínio nas amostras do efluente têxtil, tanto do bruto quanto do tratado, separando o efluente líquido tratado e o lodo residual, através do cone de Imhoff (NBR 10561). Das alíquotas do efluente bruto tratado e do lodo foram determinadas as concentrações através da metodologia de APHA (2012). A Figura 8 mostra os resultados obtidos nesse ensaio.

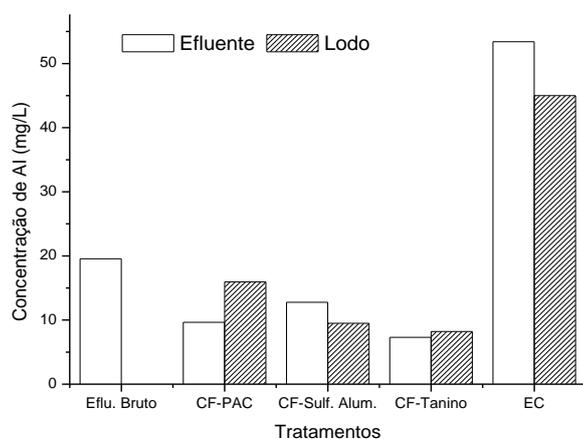


Figura 8 – Determinação das quantidades de alumínio no efluente tratado e no lodo gerado dos tratamentos de coagulação/ floculação (CF) com os três diferentes coagulantes e a eletrocoagulação (EF).

Fonte – Próprio autor.

O efluente bruto apresenta concentrações de alumínio, o que sofre uma pequena redução nos processos de tratamento por coagulação/floculação, tanto no efluente líquido como no lodo do tratamento.

No entanto, o processo de tratamento utilizando a eletrocoagulação apresentou um grande aumento na concentração deste metal, isto se deve ao fato de que os eletrodos utilizados no reator são de alumínio, e os mesmos sofrem desgaste durante o processo de eletrólise.

A quantidade de alumínio no efluente bruto foi de 17,95 mg.L<sup>-1</sup>. Após o tratamento por eletrocoagulação, os valores da concentração de alumínio sofreram um aumento, chegando a 58,60 mg.L<sup>-1</sup> no lodo e 42,93 mg.L<sup>-1</sup> no efluente tratado, a presença de alumínio em grande concentração pode resultar em um efluente mais tóxico.

## 4 CONCLUSÃO

O efluente têxtil apresentou para os quatro processos de tratamento, as características físico-químicas dentro dos limites de despejo em corpos hídricos receptores impostos pelo CONAMA n° 430/2011, sendo o tratamento através do processo de coagulação/floculação utilizando o coagulante PAC o que apresentou a melhor eficiência de remoção dos parâmetros analisados. Quanto à presença de alumínio no efluente tratado e no lodo gerado, verificou-se que a eletrocoagulação apresenta uma grande quantidade desse metal residual após o tratamento, tanto no efluente líquido tratado como no lodo oriundo deste tratamento. O tanino também demonstrou ser uma boa opção para o tratamento do efluente têxtil, com a vantagem de ser um coagulante natural e não possuir metais pesados em sua composição, além de ser biodegradável, garantiu resultados satisfatórios para o tratamento do efluente em estudo, conferindo valores de DQO, cor e turbidez dentro dos limites exigidos pela legislação vigente.

**REFERÊNCIAS**

AFONSO, Esmeralda Tomaz. **Beneficiamento de artigos têxteis**. Viçosa: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1985.

AOUNI A. *et al.* Reactive dyes rejection and textile effluent treatment study using ultrafiltration and nanofiltration processes. **Desalination** 297 78–96. 2012

APHA/WEF/AWWA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. In: CLESCERI, L.S, GREENBREG, E.; EATON, A.D. (Ed). American public health association. 20 th ed. Washington, 2012

CONAMA. **Resolução Conama 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, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF: 16 maio 2011.

KHANDEGAR, V., SAROHA, A.K . Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent – review. **Journal of Environmental Management**. p. 949 -963, 2013.

KUNZ, A. *et al.* Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Quim. Nova**, Vol. 25, No. 1, 78-82, 2002.

MANENTI, D. R. *et al.* Avaliação do desempenho de um sistema de tratamento utilizando os processos eletrocoagulação e foto-fenton integrados no tratamento de um efluente têxtil. **Engevista**, v. 16, n. 3, p.420-431, 2014.

MERZOUK B. *et al.* Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process, **Chem. Eng. J.** 149. 2009.

MERZOUK, B. *et al.* A. Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study. **Desalination**. Volume 272, Issues 1–3, 3 May 2011.

MORETI, L. O. R. *et al.* Emprego das sementes de moringa oleífera lam, como coagulante alternativo ao policloreto de alumínio (PAC), no tratamento de água para fins potáveis. **Revista E-xacta**. V.6, n.1, p 153-165, 2013.

MOUEDHEN, G. *et al.* Behavior of aluminum electrodes in electrocoagulation process. **Journal of Hazardous Materials**. v. 150, p. 124–13. 2008.

STROHER, A. P. *et al.* Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans. **Engevista**, V. 15, n. 3. p. 255-260, 2013.