

Avaliação do processo de eletrocoagulação no tratamento de efluentes têxteis

Evaluation of the electrocoagulation process in the treatment of textile effluents



• **Data de entrada:**
04/05/2017


• **Data de aprovação:**
30/07/2018

Bruna Carina Menon^{1*} | Flávio Rubens Lapolli¹ | Maria Angeles Lobo-Recio¹ |
Maria Eliza Nagel-Hassemer¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.022>

ORCID ID

Menon, B. C.  <https://orcid.org/0000-0003-0489-1018>
Lapolli, F. R.  <https://orcid.org/0000-0002-4789-4019>

Lobo-Recio, M. A.  <https://orcid.org/0000-0002-4081-4629>
Hassemer, M. E. N.  <https://orcid.org/0000-0002-7732-7218>

Resumo

Devido, muitas vezes, à ineficiência dos processos de tratamento convencionais de efluentes têxteis utilizados pelas indústrias, a eletrocoagulação (EC) surge como alternativa. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo encontrar a melhor configuração de um reator eletroquímico, por meio de um planejamento fatorial 2^3 , tendo como respostas a remoção de cor e de compostos aromáticos. Para isso, foram realizados ensaios em reator de bancada com capacidade de 1,1 L, e eletrodos de alumínio conectados a uma fonte de corrente contínua com variação de 0-10A e 0-30V. As melhores eficiências foram alcançadas em pH 3, distância entre as placas de 3 cm e densidade de corrente de 200 A.m^{-2} . Em 15 minutos de tratamento atingiu-se remoção de 92%, 82%, 82% e 64% para os parâmetros cor, compostos aromáticos, turbidez e carbono orgânico dissolvido (COD), respectivamente.

Palavras-chave: Efluente têxtil. Eletrocoagulação. Remoção de cor.

Abstract

Due to the inefficacy of conventional treatment processes employed by textile industries, it is increasingly necessary to develop new treatment alternatives, such as the electrocoagulation (EC). In this context, this study aims to find the best configuration of an electrochemical reactor, through a factorial planning 2^3 , having as answers the removal of color and aromatic compounds. For this, tests were carried out on bench reactor with a capacity of 1.1 L, and aluminum electrodes connected to a direct current source with a variation of 0-10A and 0-30V. The best efficiencies were achieved at pH 3, distance between the plates of 1 cm and current intensity of 100 A.m^{-2} . In 15 minutes of treatment, removal of 92%, 82%, 82% and 64% was achieved for color, aromatic compounds, turbidity and dissolved organic carbon parameters, respectively.

Keywords: Textile wastewater. Electrocoagulation. Color removal.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC - Brasil.

* **Autor correspondente:** brunacarinamenon@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Dentre as diversas fontes de poluição dos recursos hídricos, as indústrias vêm mostrando significativa contribuição devido à falta de tratamento adequado dos seus efluentes, que constantemente são despejados nos corpos d'água, gerando diversos problemas ao meio ambiente.

As indústrias têxteis estão entre as indústrias mais poluentes em termos de retirada de água e geração de efluentes. Os efluentes têxteis são conhecidos por conter grande quantidade de compostos aromáticos e tóxicos, pH (alcalino ou ácido, dependendo do processo produtivo), temperatura elevada (DANESHVAR et al., 2005), grande variedade de corantes e aditivos químicos, alta demanda biológica de oxigênio (DBO), alta demanda química de oxigênio (DQO), elevada concentração de sais e sólidos suspensos, e cor devido aos corantes (TEZCAN & AYTAC, 2013).

Embora exista uma grande variedade de substâncias químicas presentes nesse tipo de efluente, a grande dificuldade encontrada pelas indústrias do ramo está centrada, principalmente, no controle e na remoção dos corantes presentes nos efluentes. Estima-se que cerca de 15% da produção mundial de corantes seja perdida para o meio ambiente durante a síntese, processamento ou aplicação destes em processos industriais (SOUZA, 2009).

Estima-se também que o volume gerado de efluente na fase de acabamento têxtil varie de 120 a 380 m³ por mil metros de tecido processado (MATOS, 2011). Quando esse efluente é descartado de forma inadequada nos corpos hídricos, a perturbação ambiental e a poluição estética são muito elevadas, por isso se faz necessário tratamento destes efluentes. Os métodos convencionais mais conhecidos de tratamento de efluentes têxteis consistem em processos biológicos combinados com físico-químicos (DANESHVAR et al., 2005).

No que tange ao processo biológico, geralmente, utiliza-se tratamento por lodos ativados; entretanto, muitas vezes não é eficiente devido ao risco de esse processo ser inibido por produtos tóxicos, temperaturas elevadas e por mudanças na composição do efluente. Segundo Gili (2015), o sistema de tratamento convencional, baseado em lodos ativados e acabamento físico-químico, apresenta elevado investimento inicial e grande área para construção, além do elevado consumo de insumos químicos e geração de lodo. Devido às limitações dos processos biológicos apresentadas acima, nas últimas décadas vários estudos vêm sendo desenvolvidos na busca de novas tecnologias eficientes para tratamento de efluentes industriais, em especial o têxtil.

Nesse sentido, surgem tratamentos alternativos aos convencionais, como é o caso do processo de eletrocoagulação (EC). Este, por sua vez, é uma das mais eficientes técnicas para remover cor e poluentes orgânicos das águas residuárias (DANESHVAR et al., 2007), bem como metais pesados (MERZOUK et al., 2009), nitrogênio e fósforo (GILI, 2015), salinidade (LIN; SHYU; SUN, 1998), turbidez, DQO, DBO e carbono orgânico total (COT) (MERZOUK et al., 2011), sólidos, entre outros.

A EC é um processo que envolve fenômenos físicos e químicos, e utiliza eletrodos de sacrifício para fornecer íons ao meio. Nesse processo, o coagulante é gerado *in situ* em três etapas sucessivas (MOLLAH, 2004):

- 1) formação de coagulantes pela oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício;
- 2) desestabilização dos contaminantes, partículas em suspensão e quebra de emulsão;
- 3) agregação das fases desestabilizadas em forma de flocos.

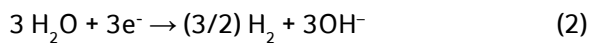
Um reator eletroquímico simples é composto por um par de eletrodos (ânodo e cátodo). Quando um potencial é aplicado a partir de uma fon-

te externa, o material do ânodo sofre oxidação, enquanto o cátodo será submetido à redução ou deposição de elementos metálicos (MOLLAH et al., 2004). Segundo Khandegar & Saroha (2013), quando o alumínio é utilizado como material do ânodo, as reações que ocorrem nos eletrodos durante a EC são as mostradas nas Eq. 1 e 2:

Reação de oxidação no ânodo:



Reação de redução no cátodo:



Entretanto, a eficiência do processo de EC depende de vários parâmetros operacionais, tais como condutividade da solução, forma e arranjo dos eletrodos, tipo de alimentação, pH da solução, densidade de corrente aplicada, distância entre os eletrodos, velocidade de agitação, tempo de eletrólise, concentração inicial do poluente, entre outros (KHANDEGAR; SAROHA, 2013).

Nesse contexto, destacando a problemática principal, que é tratar de modo mais eficiente os efluentes têxteis, o presente trabalho tem, por objetivo geral, encontrar a melhor configuração de um reator eletroquímico, por meio de planejamento fatorial, para então avaliar a eficiência do processo de EC na remoção da cor, compostos aromáticos, turbidez e COD.

2 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Reúso de Águas (LaRA) pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As amostras de efluente têxtil industrial foram coletadas na estação de tratamento de efluentes de uma empresa de tinturaria localizada em Brusque/SC. As amostras foram coletadas na saída do decantador secundário do tanque de

equalização (efluente pós-biológico - EP), caracterizadas em laboratório e submetidas ao processo de eletrocoagulação (EC).

Os experimentos do processo de EC foram executados em reator de bancada com volume útil de 1100 mL e equipado com um par de eletrodos constituído por duas placas planas de alumínio (ânodo e cátodo), com dimensões de 16,0 x 5,5 x 0,2 cm e com distância ajustável entre eles (1, 2 ou 3 cm). Esses eletrodos foram conectados aos terminais de uma fonte de alimentação digital de corrente contínua ajustável, modelo PS – 1001 da marca ICEL, com variação de 0-10 A e tensão 0-30 V. O reator foi instalado sobre um agitador magnético, e a velocidade de rotação aplicada foi de 200 rpm, para manter as amostras homogêneas. Essa velocidade de agitação foi escolhida com base nos estudos de Kobya et al. (2003) e Can et al. (2006).

Os ensaios de eletrocoagulação tiveram duração de 15 minutos; os parâmetros pH, densidade de corrente aplicada (A.m^{-2}) e distância entre as placas (cm) foram ajustados para atender ao planejamento fatorial 2^3 . O pH do efluente estudado foi ajustado pela adição de ácido sulfúrico 50% até o valor desejado com o auxílio de um pHmetro. A representação esquemática do sistema eletroquímico é apresentada na Fig. 1.

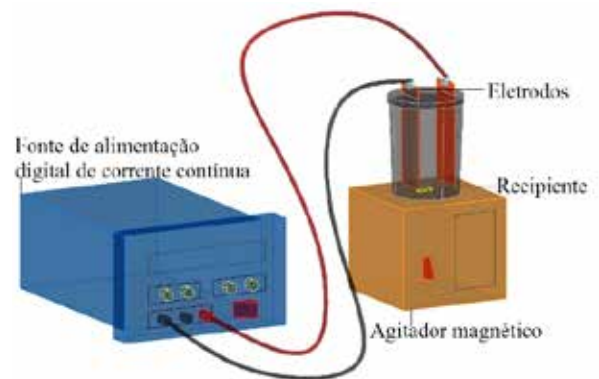


Figura 1 - Esquema do sistema eletroquímico.

Ao finalizar cada experimento, os sólidos flutuantes eram removidos da superfície, bem como esperavam-se 60 minutos para que ocorresse a sedimentação dos materiais suspensos no meio ainda presentes.

Após cada experimento, foi realizada a limpeza dos eletrodos, baseada na metodologia de Souza (2016), para remoção de qualquer incrustação que tenha se formado na sua superfície, visando a manter a eficiência do processo nos experimentos seguintes. Para isso, as placas de alumínio eram lavadas com água e sabão, em seguida imersas durante 5 minutos em solução de HCl (3 mol.L^{-1}), e novamente lavadas com água e secas em estufa.

2.1 Planejamento fatorial

De modo a obter as melhores condições de operação do reator eletroquímico, foram analisadas três variáveis independentes: pH, densidade de

corrente (A.m^{-2}) e distância entre os eletrodos (cm), enquanto dois parâmetros de respostas foram considerados: redução da cor e de compostos aromáticos. Seguindo a metodologia descrita por Montgomery (2008), realizou-se um planejamento fatorial completo (PFC) 2^3 com adicional de 3 pontos centrais; todos os ensaios foram realizados em triplicata, totalizando 27 experimentos. Os valores referentes aos níveis estudados para cada fator foram escolhidos com base em ensaios preliminares (não apresentados neste trabalho).

O estudo de Can et al. (2006), que mostrou que a eficiência do processo de EC em efluente têxtil pode diminuir ao passo que o pH aumenta, foi levado em consideração para delimitar as faixas de variação de pH. Os autores supracitados indicam que para um melhor desempenho o pH deve ser ajustado inicialmente em, no máximo, 6 sendo esse valor corrigido com ácido durante processo.

Os valores referentes aos níveis estudados estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1- Níveis estudados para as variáveis independentes.

Parâmetros	Fatores	Níveis		
		(-1)	(0)	(1)
pH	q1	3,0	4,5	6,0
Densidade de corrente (A.m^{-2})	q2	100	150	200
Distância entre os eletrodos (cm)	q3	1,0	2,0	3,0

2.2 Monitoramento Analítico

As amostras coletadas durante o processo de EC eram submetidas à filtração em membrana de $0,45 \mu\text{m}$, para que os sólidos presentes não interferissem nas análises.

A cor e os compostos aromáticos foram medidos por espectrofotometria por meio da leitura da absorbância. A leitura da cor foi realizada no comprimento de onda de maior absorção do efluente na faixa do Visível (510 nm) e os compostos aromáticos na faixa UV (280 nm), para ve-

rificar a presença de aromaticidade proveniente dos corantes presentes no efluente, utilizando espectrofotômetro Hach modelo DR/5000. A cor em mgPtCo.L^{-1} também foi avaliada com o objetivo de comparar com a legislação vigente.

A turbidez foi determinada pelo método Nefelométrico em turbidímetro Hach 2100N.

A DBO5 foi monitorada pelo método da incubação por cinco dias a 20°C , sob agitação em medidor de DBO Hach Trak II.

Os sólidos totais (ST) foram quantificados pelo método Gravimétrico.

Para o pH e a condutividade foram realizadas leituras diretas em medidor multiparâmetro Qualx-tron QX110.

O carbono orgânico dissolvido foi avaliado em analisador de carbono orgânico TOC-L SHIMADZU, por oxidação catalítica de compostos orgânicos

sob elevadas temperaturas e detecção de CO₂ por espectroscopia na região do infravermelho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e biológicos analisados na caracterização do efluente estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Caracterização do efluente da indústria têxtil.

Parâmetro	EP	Unidade
pH	7,60±0,13	-
Cor (mgPtCo.L ⁻¹)	720,00±65,00	
Cor (Abs. 510 nm)	0,79±0,15	-
Compostos aromáticos (Abs. 280 nm)	2,80±0,30	-
Condutividade	12,40±0,07	mS.cm ⁻¹
COD	80,50±0,54	mg.L ⁻¹
DBO	8,70±0,50	mgO ₂ .L ⁻¹
ST	6396,70±58,60	mg.L ⁻¹
Turbidez	5,92±1,20	NTU

O efluente apresentava forte coloração, além da elevada presença de compostos aromáticos, que não foram removidos no processo biológico. A condutividade da solução é muito importante no processo de eletrólise, já que a eficiência de remoção do poluente e o custo operacional estão diretamente relacionados com essa característica; além do consumo de energia ser reduzido quando uma solução apresenta alta condutividade (KHANDEGAR; SAROHA, 2013). Por meio da caracterização do efluente estudado observou-se que existia uma elevada concentração de poluentes além de alta condutividade, fatos que favoreceram o processo de EC.

3.1 Planejamento Fatorial

O EP foi submetido aos ensaios de EC, e esses ensaios foram realizados de forma aleatória, pois segundo Galdámez (2002) e Brasil et al. (2007), a aleatoriedade visa evitar distorções estatísticas que possam comprometer a qualidade dos resultados obtidos e dos efeitos calculados para as variáveis estudadas. O delineamento experimental e os valores de porcentagem de redução dos parâmetros estudados, obtidos no PFC 23, foram utilizados como dados de entrada no *software Statistica 7.0*, e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Matriz do delineamento experimental com as respostas de redução dos parâmetros estudados.

Ensaio	Fatores			Redução abs.(%)	
	q_1	q_2	q_3	510 (nm)	280 (nm)
1	-1	-1	-1	93,13	84,44
2	1	-1	-1	32,82	47,60
3	-1	1	-1	90,84	84,21
4	1	1	-1	61,83	70,02
5	-1	-1	1	83,21	77,80
6	1	-1	1	32,82	47,6
7	-1	1	1	89,31	83,98
8	1	1	1	54,20	62,24
9	0	0	0	84,73	84,90
10	-1	-1	-1	92,37	82,15
11	1	-1	-1	35,88	50,57
12	-1	1	-1	91,30	85,83
13	1	1	-1	63,36	68,88
14	-1	-1	1	77,10	70,71
15	1	-1	1	54,96	62,93
16	-1	1	1	86,26	81,69
17	1	1	1	68,70	73,46
18	0	0	0	96,95	92,45
19	-1	-1	-1	90,84	80,01
20	1	-1	-1	32,06	47,37
21	-1	1	-1	85,50	79,86
22	1	1	-1	54,20	64,53
23	-1	-1	1	79,39	74,37
24	1	-1	1	47,33	60,87
25	-1	1	1	88,55	86,50
26	1	1	1	72,52	75,06
27	0	0	0	86,31	86,27

A partir da Tabela 3 é possível notar que as melhores respostas correspondem ao ensaio 18, com redução de 96% e 92% para o parâmetro cor e compostos aromáticos, respectivamente. Ao observar os níveis referentes às variáveis, percebe-se que esses resultados foram obtidos com pH ácido (4,5), densidade de corrente de 150 A.m⁻² e distância entre as placas de 2 cm.

As análises estatísticas foram realizadas por meio de gráficos de Superfície de Resposta e pelo Diagrama de Pareto, com o objetivo de avaliar os efeitos das variáveis sobre as respostas.

Utilizando-se Diagrama de Pareto para a redução da cor (Fig. 2), verificou-se a influência do pH e densidade de corrente (J), estando além da linha de significância, e essas variáveis apresen-

taram interação entre si. Nota-se que o pH é a variável mais significativa no processo, seguido pela densidade de corrente (J).

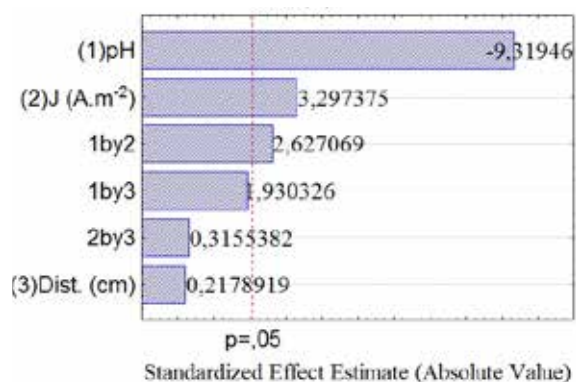


Figura 2- Diagrama de Pareto dos efeitos estimados sobre a remoção da cor (diminuição da absorvância no comprimento de onda de 510 nm).

Para a redução dos compostos aromáticos, observou-se comportamento semelhante ao ocorrido com a cor. A variável mais significativa no processo foi o pH, seguido pela J, como exposto na Fig. 3. Os resultados apresentados confirmam o fato de que o pH e a densidade de corrente são as variáveis-chave do processo (KHANDEGAR & SAROHA (2013); MOLLHA et al. (2001).

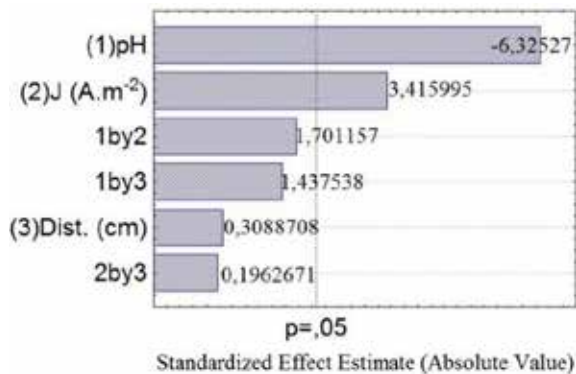


Figura 3- Diagrama de Pareto dos efeitos estimados sobre a remoção de compostos aromáticos (diminuição da absorbância no comprimento de onda de 280 nm).

De acordo com o Diagrama de Pareto, em ambos os casos (Fig. 2 e 3), a variável distância entre os eletrodos não apresentou efeito significativo no processo, nem interação com as outras variáveis.

Segundo Daneshvar; Sorkhabi; Kasiri (2004), quando a distância entre os eletrodos aumenta, a eficiência de remoção de cor e outros poluentes aumentam. Isso ocorre provavelmente porque os

efeitos eletrostáticos dependem da distância entre os eletrodos, pois quando a distância aumentasse, a circulação de íons produzidos seria mais lenta e haveria mais oportunidades para produzir e agregar flocos capazes de adsorver mais moléculas. Na literatura encontram-se valores de distância entre os eletrodos variando geralmente de 1 a 4 cm (MERZOUK et al., 2009; ZODI, et al., 2013; TYAGI; MATHUR; KUMAR, 2014). Merzouk et al. (2009), em seus estudos com eletrodos de alumínio no processo EC para remoção de parâmetros físico-químicos de efluentes têxteis, avaliaram distâncias de 1, 2 e 3 cm, encontrando os melhores resultados utilizando a distância inter-eletrodos de 1 cm. Neste trabalho, a variação da distância não teve diferença significativa nos resultados. Assim, para os gráficos de superfície de resposta adotou-se a distância média, referente aos valores centrais.

Os gráficos de superfície de resposta são mostrados nas Fig. 4 e 5, para a cor e compostos aromáticos, respectivamente. Estes foram obtidos a partir das variáveis pH e densidade de corrente por serem os mais significativos, enquanto a distância entre os eletrodos foi fixada no ponto central (valor médio). Observam-se melhores eficiências de remoção dos parâmetros supracitados quando o pH se encontra no nível (-1) e a densidade de corrente no nível (+1). Ou seja, há uma tendência de a eficiência aumentar quando o pH do efluente tratado está baixo e a densidade de corrente está alta.

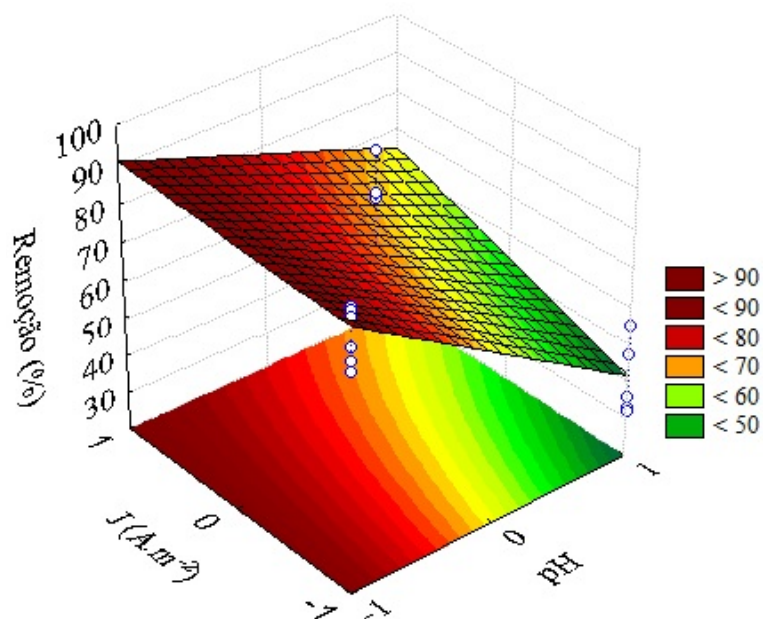


Figura 4- Superfície de resposta para a redução da cor (absorbância no comprimento de onda de 510 nm).

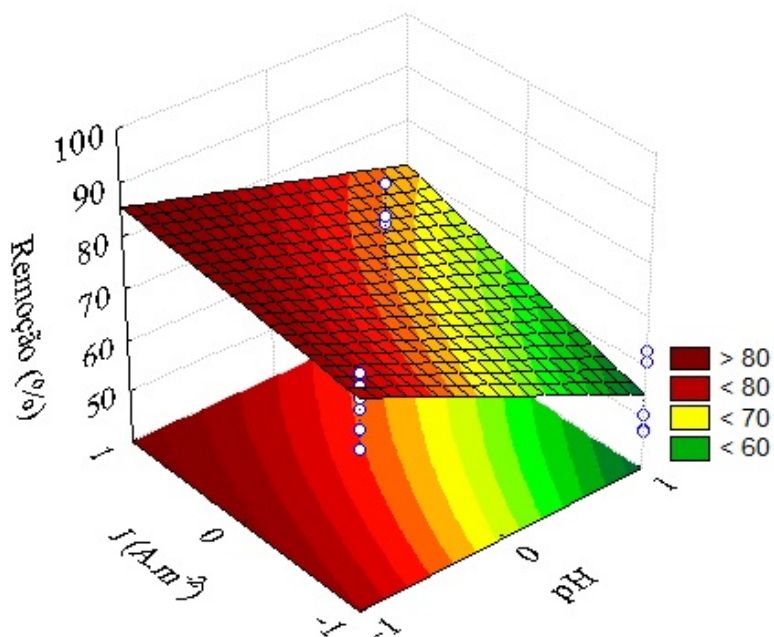


Figura 5- Superfície de resposta para redução de compostos aromáticos (absorbância no comprimento de onda de 280 nm).

O pH da solução é um importante parâmetro operacional na EC, pois a máxima eficiência de remoção de poluentes ocorre em um pH ideal para determinado poluente. Assim, a eficiência de remoção dos poluentes pode aumentar ou diminuir dependendo da sua variação (KHANDEGAR; SAROHA, 2013).

No presente estudo observa-se uma tendência em obter melhores resultados de remoção dos parâmetros estudados quando a faixa de pH está baixa. De acordo com Mollah et al. (2004), o pH afeta a solubilidade dos hidróxidos metálicos, quando o mesmo está ácido, há maior produção de íons Al^{3+} . Como destacado por Can et al. (2006), a eficiência do tratamento por EC diminui quando o pH aumenta, por isso sugere-se que o mesmo seja mantido em faixa ácida.

Em relação à densidade de corrente aplicada (J), este é um parâmetro muito importante, pois é o que determina a quantidade de coagulante, a produção de bolhas, o tamanho e o crescimento dos flocos, que podem afetar a eficiência da EC (KHANDEGAR; SAROHA, 2013). De acordo com os resultados mostrados nas Fig. 4 e 5, tanto para a cor como para os compostos aromáticos, a melhor eficiência de remoção foi alcançada na maior corrente testada: 200 A.m⁻². Para Mollah et al. (2001), a densidade de corrente elétrica é identificada como sendo o parâmetro operacional chave da EC, afetando não só o tempo de resposta do sistema mas também influenciando fortemente o modo dominante de separação e

remoção de poluentes. Daneshvar, Sorkhabi e Kasiri (2004), em sua pesquisa, ao aumentar a densidade de corrente de 40 para 60 A.m⁻², conseguiram um aumento de 52,0 para 91,12% na remoção de cor de uma solução de corante (*Acid red 14*). Zodi et al. (2013) atingiram 90% de descoloração de uma solução de corantes (*Direct red 81*), utilizando J de 200 A.m⁻².

Neste estudo, nota-se que há uma tendência e uma melhora significativa quando se aumenta a densidade da corrente; o mesmo comportamento foi observado pelos autores supracitados.

A partir do PFC foi possível observar uma tendência a obter melhores resultados quando a faixa de pH está no seu nível mais baixo (-1) e quando a densidade da corrente está no seu nível mais alto (+1). Assim, escolheu-se como melhor configuração para os ensaios de EC: pH 3, densidade de corrente aplicada de 200 A.m⁻², e distância entre os eletrodos de 3 cm, mesmo não havendo variação significativa nas respostas pela variação da distância entre os eletrodos. Optou-se, então, pela maior distância estudada, em virtude dos resultados de Daneshvar, Sorkhabu e Kasiri (2004), que relataram que a eficiência pode aumentar em distâncias maiores.

Com essa configuração, novos ensaios foram realizados com objetivo de avaliar a redução de cor, compostos aromáticos, COD e turbidez para o efluente antes e após o tratamento pelo processo de EC, e os valores estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado das análises realizadas antes e após o processo de EC do efluente testado (n = 3).

Parâmetro	EP	EC
Cor (mgPtCo.L ⁻¹)	720,00±65,00	212,67±31,54
Cor (Abs. 510 nm)	0,798±0,15	0,062 ±0,01
Compostos aromáticos (Abs. 280 nm)	2,804±0,30	0,458±0,04
COD (mg.L ⁻¹)	80,50±0,54	28,68±1,57
Turbidez (NTU)	5,92±1,20	1,06±0,23

EP – Efluente Pós Biológico

EC – Efluente eletrocoagulado

No Brasil, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 430/2011 complementa e altera a Resolução nº 357/2005, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. A mesma dispõe do valor máximo de cor verdadeira de até 75 mg PtCo.L⁻¹ para lançamento de efluentes em corpos hídricos classificados como águas doce classe II e III. Para fins

de comparação com a legislação, embora a remoção de cor analisada pelo método mg PtCo.L⁻¹ tenha atingido 70% de remoção, não atingiu o padrão de lançamento, pois após 15 minutos de EC a cor do efluente ficou em 212,67 mg PtCo.L⁻¹.

Na Fig. 6 estão expostas as eficiências de remoção após o processo de EC para os parâmetros apresentados na Tabela 4.

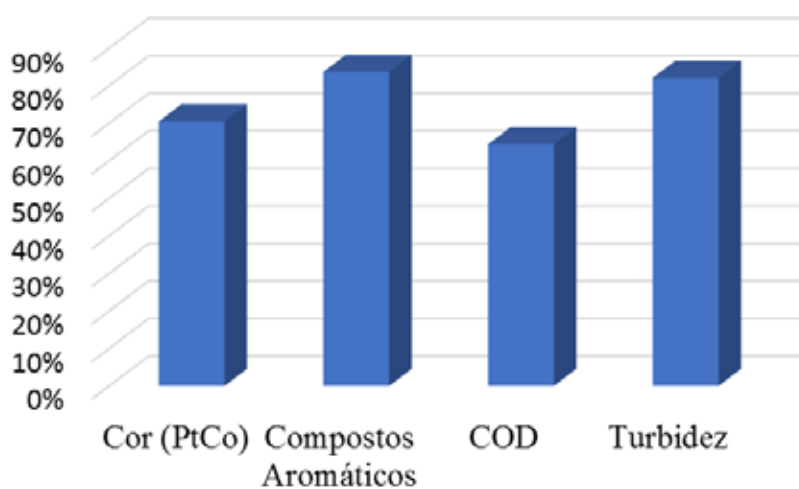


Figura 6- Eficiência de remoção dos parâmetros Cor (PtCo), compostos aromáticos, COD e turbidez.

Observa-se ainda que além da remoção da cor e de compostos aromáticos, o processo de EC foi eficiente na remoção de carbono orgânico dissolvido (COD) e turbidez, atingindo um percentual de 64% e 82%, respectivamente.

Neste estudo, a EC mostra ser uma técnica promissora no tratamento de efluentes têxteis, na remoção dos parâmetros cor, compostos aromáticos, turbidez e COD. Entretanto, para o parâmetro cor, esse processo sozinho não conseguiu atingir os padrões de lançamento exigidos em legislação. Assim, torna-se evidente que o processo aplicado isoladamente não solucionaria o problema, sugerindo então, a junção da EC com outras tecnologias para a remoção da cor do efluente. Diversos estudos realizados mostram a eficiência da

eletrocoagulação combinada a outros processos para tratamento de efluentes têxteis.

Quanto à turbidez, para Vasconcelos e Gomes (2009), a mesma se dá pela presença de partículas em suspensão, causada por uma gama de materiais que provocam dispersão e absorção da luz, dando aspecto turvo ao meio aquoso. Observa-se no presente estudo que, após a EC, a turbidez diminuiu, possivelmente devido ao fato de que as partículas em suspensão formaram flocos maiores e foram removidos por flotação ou sedimentação dos mesmos.

García-García et al. (2015), em sua pesquisa, aplicando o processo de EC em águas residuárias de uma estação de tratamento de efluentes industriais proveniente de 136 indústrias diferentes,

em pH 4, e intensidade de corrente variando de 1 a 3 A, alcançou uma remoção de cor, turbidez e carbono orgânico total de 97%, 91% e 48%, respectivamente. O autor mostra a eficiência do processo, também comprovada neste estudo, porém evidencia-se a necessidade de mais estudos complementares, envolvendo outras técnicas de tratamento, para atingir um percentual de remoção de parâmetros físico-químicos ainda maiores.

4 CONCLUSÃO

A avaliação dos resultados obtidos no estudo do processo EC aplicado no tratamento de efluentes de indústria têxtil permite as conclusões apresentadas a seguir.

As melhores condições de operação do processo de EC encontram-se quando o pH do meio está ácido e a densidade de corrente aplicada é alta.

Neste estudo, os melhores valores, dentre os experimentos realizados, foram: pH 3, distância entre os eletrodos de 3 cm e corrente aplicada de 200 A.m⁻². Nessas condições, os parâmetros cor (Abs. 510 nm), compostos aromáticos, turbidez e COD foram reduzidos ao longo do tempo de tratamento, tendo-se obtido, em 15 minutos, remoção de 92%, 82%, 82% e 64%, para os mesmos, respectivamente.

O tratamento não foi suficiente para atingir o padrão de lançamento para o parâmetro cor. Por esse motivo, sugere-se a associação desse processo com outros, como, por exemplo, o processo oxidativo UV/H₂O₂, por ser amplamente conhecido pela alta eficiência na remoção de cor.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Reuso de Águas (LaRA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, e ao Conselho Nacional de Desen-

volvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo aporte financeiro.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

7 REFERÊNCIAS

- BALBINOT, E. **Eletrocoagulação No Tratamento De Efluentes Da Filetagem De Pescado**. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015.
- BRASIL, J.L.; VAGHETTI, J.C.P.; SANTOS JR., B.R.A.; SIMON, N.M.; PAVAN, F.A.; DIAS, S.L.P.; LIMA, E.C. Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu(II) em batelada utilizando-se casca de nozes-pecã como biossorvente. **Quím. Nova**, v. 30, n. 3, p. 548-553, 2007.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005.
- CAN, O. T.; KOBYA, M.; DEMIRBAS, E.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. **Chemosphere**, v. 62, p. 181-187, 2006.
- DANESHVAR, N.; KHATAEE, A.R.; AMANI GHADIM, A.R.; RASOULIFARD, M.H. Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC). **J. Hazard. Mater.**, v. 148, n. 3, p. 566-72, 30 set. 2007.
- DANESHVAR, N.; SALARI, D.; NIAEI, A.; RASOULIFARD, M.H.; KHATAEE, A.R. Immobilization of TiO₂ nanopowder on glass beads for the photocatalytic decolorization of an azo dye C.I. Direct Red 23. **J. Environ. Sci. Health** 40, p. 1-13, 2005.
- DANESHVAR, N.; SORKHABI, H. A.; KASIRI, M. B. Decolorization of dye solution containing Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections. **J. Hazard. Mater.**, v. 112, n. 1-2, p. 55-62, 9 ago. 2004.
- GALDÁMEZ, E.V.C. **Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos na melhoria da qualidade de um processo de fabricação de produtos plásticos**. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.
- GARCÍA-GARCÍA, A.; MARTÍNEZ-MIRANDA, V.; MARTÍNEZ-CIENFUEGOS, I. G.; ALMAZÁN-SÁNCHEZ, P. T.; CASTAÑEDA-JUÁREZ,

- M.; LINARES-HERNÁNDEZ, I. Industrial wastewater treatment by electrocoagulation–electrooxidation processes powered by solar cells. *Fuel*, v. 149, p. 46-54, 2015.
- GILL, I. **Tratamento De Efluentes Por Eletrolise: Estudo De Caso Para Efluentes Têxteis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015.
- KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent – A review. *J. Environ. Manage.*, v. 128, p. 949–963, 2013.
- KOBYA, M.; CAN, O.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *J. Hazard. Mater.*, p. 163–178, 2003.
- LIN, S. H.; SHYU, C. T.; SUN, M. C. Saline wastewater treatment by electrochemical method. *Water Research*, v. 32, n. 4, p. 1059–1066, abr. 1998.
- MATOS, A. T. **Poluição Ambiental: Impactos no Meio Ambiente**. Editora UFV, Viçosa – MG, 260p, 2011.
- MERZOUK, B.; GOURICH, B.; SEKKI, A.; MADANI, K.; CHIBANE, M. Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation–electroflotation technique: A case study. *J. Hazard. Mater.*, 164 (1), p. 215–222, 2009.
- MERZOUK, B.; YAKOUBI, M.; ZONGO, I.; LECLERC, J.–P.; PATERNOTTE, G.; PONTVIANNE, S.; LAPICQUE, F. Effect of modification of textile wastewater composition on electrocoagulation efficiency. *Desalination*, v. 275, n. 1-3, p. 181–186, jul. 2011.
- MOLLAH, M. Y.; MORKOVSKY, P.; GOMES, J. A.; KESMEZ, M.; PARAGA, J.; COCKE, D. L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *J. Hazard. Mater.*, v. 114, n. 1, p. 199–210, 2004.
- MOLLAH, M. Y.; SCHENNACH, R.; PARGA, J. R.; COCKE, D. L. Electrocoagulation (EC)—science and applications. *J. Hazard. Mater.*, v. 84, n. 1, p. 29–41, 2001.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 7. ed. New York: Wiley, p.656, 2008.
- SOUZA, A. R. C. **Remoção do fármaco cloridrato de ciprofloxacina em solução pelo processo de eletrocoagulação**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Toledo, 2016.
- SOUZA, K.V. **Desenvolvimento de espécies de ferro imobilizadas em matrizes poliméricas e sua utilização na remediação de resíduos industriais**. 167 f. Tese (Doutorado em Química Orgânica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- TEZCAN UN, U.; AYTAC, E. Electrocoagulation in a packed bed reactor—complete treatment of color and cod from real textile wastewater. *J. Environ. Manage.*, v. 123, p. 113–119, 2013.
- TYAGI, N.; MATHUR, S.; KUMAR, D. Electrocoagulation process for textile wastewater treatment in continuous upflow reactor. *J. Sci. Ind. Res.*, v. 73, p. 195–198, 2014.
- VASCONCELOS, D. V.; GOMES, A. Tratamento de efluentes de postos de combustíveis para o reúso usando processos oxidativos avançados. *Cadernos UniFOA*, ed. 11, Dezembro, 2009.
- ZODI, S.; MERZOUK, B.; POTIER, O.; LAPICQUE, F.; LECLERC, J.P. Direct red 81 dye removal by a continuous flow electrocoagulation/flotation reactor. *Sep. Purif. Technol.*, v. 108, p. 215–222, 2013.