

II-253 - ELETROCOAGULAÇÃO APLICADO AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE SERIGRAFIA

Luciano André Deitos Koslowski⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Regional de Blumenau- FURB, Mestre em Química pela Universidade Regional de Blumenau-FURB. Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Docente do Centro de Educação do Alto Vale do Itajaí-CEAVI, Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC.

Edésio Luis Simionatto⁽²⁾

Graduado em Química pela Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. Docente e pesquisador do Programa de Pós-Graduação (Mestrado) da Universidade Regional de Blumenau-FURB.

Jonathan Davide de Abreu⁽³⁾

Graduado de Engenharia Sanitária pelo Centro de Educação do Alto Vale do Itajaí-CEAVI, Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC.

Carlos Eduardo Lach⁽⁴⁾

Graduado de Engenharia Sanitária pelo Centro de Educação do Alto Vale do Itajaí-CEAVI, Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC. Bolsista do Programa de Iniciação à Pesquisa (PROIP/UDESC).

Camila Schwarz Pauli⁽⁵⁾

Graduanda de Engenharia Sanitária pelo Centro de Educação do Alto Vale do Itajaí-CEAVI, Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC. Bolsista Voluntária do Programa de Iniciação à Pesquisa (PROIP/UDESC).

Endereço⁽¹⁾: Rua Getúlio Vargas, 2822 – Bela Vista – Ibirama – SC- CEP: 89.217-365 - Brasil - Tel: (47) 3357-8484 - e-mail: luciano.koslowski@udesc.br

RESUMO

A indústria gráfica de Santa Catarina apresenta problemas ambientais com o descarte de efluentes provenientes da pré-impressão lançados indiscriminadamente na rede de esgotos ou em corpos d'água. O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a eficiência do método de eletrocoagulação no tratamento de efluentes proveniente da indústria serigráfica, avaliando os seguintes parâmetros analíticos: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez, Cor e concentração de Alumínio. As variáveis de estudo nesta pesquisa foram: concentração de eletrólito (4 g L^{-1} e 8 g L^{-1}), tempo de aplicação (15 e 20 min), material do eletrodo (alumínio) e intensidade de corrente (3 A e 5 A). Os resultados apresentados demonstram que a redução do tempo de aplicação (15 min) e o aumento da intensidade de corrente (5A) resultam em aumento na eficiência do tratamento (95%) decorrente da formação de íons metálicos bem como a formação de flocos de hidróxido de alumínio, favorecendo portanto o desempenho da eletrocoagulação. Entretanto, constatou-se por meio das análises que a concentração de alumínio total dissolvido no efluente tratado apresentou valores na faixa de $(0,41 \text{ a } 0,83 \text{ mg L}^{-1})$, acima do permitido a corpos hídricos de classe III ($0,10 \text{ mg L}^{-1}$) sendo necessária atenção na questão da lixiviação do metal na água.

PALAVRAS-CHAVE: Eletrocoagulação, Efluente industrial, Indústria gráfica, Alumínio.

INTRODUÇÃO

Verma, Dash e Bhunia (2012), reportam que o processo de coagulação química em tratamento de esgoto envolve a adição de produtos químicos, normalmente sais de ferro ou alumínio, aplicado como coagulantes, capazes de alterar o estado físico de sólidos suspensos e/ou dissolvidos e facilitar sua remoção. O método tem sido empregado para remoção de sólidos suspensos, partículas coloidais, compostos orgânicos não biodegradáveis e metais pesados lixiviados de aterros sanitários. Neste sentido, a formação de macroflocos facilita os mecanismos de decantação (Guo et al, 2010). O processo de eletrocoagulação apresenta vantagens quando comparado à coagulação química. A primeira vantagem se refere ao grau de pureza dos eletrodos, geralmente constituídos de ferro ou alumínio puro, comparativamente os produtos químicos utilizados pelo processo convencional apresentam uma fração do metal. A eletrocoagulação geralmente minimiza a formação

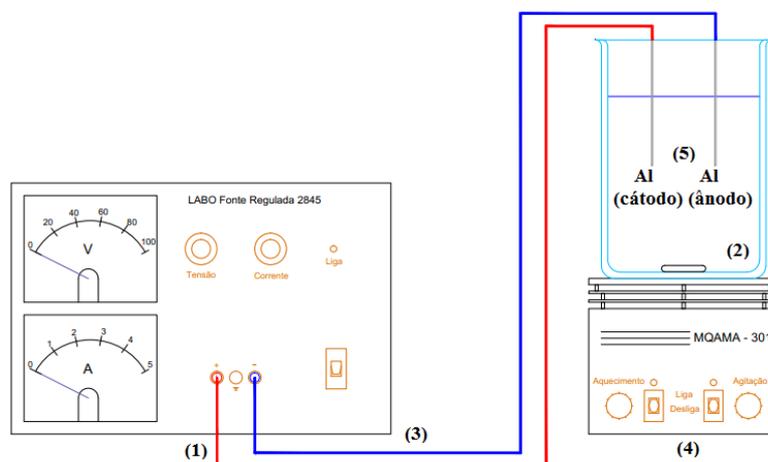
de lodo e favorece a alcalinidade da solução, não sendo necessários ajustes de pH (LEE e GAGNON, 2014). Os eletrodos mais utilizados para tratamento de efluentes via eletrocoagulação são eletrodos de alumínio e de ferro. Os eletrodos de alumínio e o ferro são os materiais mais utilizados devido ao baixo custo, elevada disponibilidade e flexibilidade operacional (Strate, 2014). Shen et al (2006) afirmam que a corrente elétrica no processo de eletrocoagulação pode ser dividida em duas correntes. Na primeira corrente, ocorre a degradação de compostos orgânicos sendo proporcional ao efeito de remoção de cor. A segunda corrente está relacionada com a ruptura de moléculas de água e consequente liberação de gases. Neste contexto, alguns fatores como a concentração de eletrólito, temperatura, agitação e voltagem elétrica apresentam-se associados à distribuição da corrente elétrica em um reator de eletrocoagulação (Dubrawski e Mohseni, 2013)

OBJETIVO

- Avaliar a eficiência do tratamento de efluente proveniente de uma indústria gráfica empregando a análise dos seguintes parâmetros analíticos: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Turbidez, e Cor).
- Avaliar comparativamente o efluente tratado com o padrão de qualidade de água preconizado pela Resolução Conama 357/2005.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para a aplicação do processo de eletrocoagulação foi o estudo realizado com o emprego de o objetivo proposto foi utilizado utilizado uma fonte de energia LABO – Fonte Regulada 2845 115 VCA, com capacidade de corrente máxima de 5 Amperes e tensão máxima de 120 Volts e um reator de 1 L em escala de bancada, com volume útil de 1 L (Figura 1). No interior do reator foi instalado um par de eletrodos de alumínio como ânodo e cátodo, nas seguintes dimensões: 8 cm de comprimento, 3 cm de largura e 0,1 cm de espessura.



- (1) Painel de controle e Fonte de alimentação de corrente contínua; (2) Reservatório do efluente; (3) Fios de transmissão do circuito elétrico; (4) Sistema de agitação com barra magnética; (5) Eletrodos de alumínio

Figura 1. Representação da unidade de bancada experimental.

A Tabela 1 sumariza os ensaios realizados (n=3) conforme planejamento estatístico utilizado.

Tabela 1. Variáveis de estudo empregadas no processo de eletrocoagulação (n=3)

Ensaio	Variáveis de estudo		
	Concentração Eletrólito	Tempo de Detenção	Corrente
01	4 g L ⁻¹	15 min	5 A
02	8 g L ⁻¹	15 min	5 A
03	4 g L ⁻¹	20 min	5 A
04	8 g.L ⁻¹	20 min	5 A
05	4 g L ⁻¹	15 min	3 A
06	8 g L ⁻¹	15 min	3 A
07	4 g L ⁻¹	20 min	3 A
08	8 g L ⁻¹	20 min	3 A

Fonte: Elaborado pelos autores. 2019.

Os procedimentos de coleta, armazenamento e preservação das amostras seguiram o disposto na NBR 9898, 1987. As análises de cor, turbidez, pH, alumínio, condutividade e Demanda Química de Oxigênio foram realizadas no Laboratório A do curso de B, do C, da Universidade D. Os parâmetros físico-químicos foram determinados, seguindo procedimentos descritos no American Public Health Association (APHA, 2012), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Metodologia utilizada nas análises físico-químicas

PARÂMETRO	Procedimento Analítico
Alumínio	Preparação: SMEWW -3030 E; Determinação: SMEWW - 3120 B
Cor Verdadeira (mg Pt-Co L ⁻¹)	SMEWW - 2120 D
DQO (mg L ⁻¹)	SMEWW – 5220D
pH	SMEWW-4500H+.B
Turbidez (UNT)	SMEWW 2130B

SMEWW: Standard Methods for Examination Water and Wastewater 22. Edition

Fonte: Elaborado pelos autores. 2019.

Os ensaios físico-químicos foram realizados por meio da determinação de pH via método eletrométrico (Hanna HI 3221), turbidez via método nefelométrico (Hanna HI 93703), alumínio dissolvido total avaliado em espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) (Optima 8300 Perkin-Elmer), e Demanda Química de Oxigênio e cor verdadeira (HACH DR/2010).

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos neste estudo encontram-se sumarizados na Tabela 3 com os respectivos valores médios e desvio padrão e comparados com o disposto pela Resolução Conama 357/2005.

Tabela 3. Média e Desvio Padrão para as análises do efluente de serigrafia pós tratamento e comparação com os VMP¹ para rios de Classe 2.

ENSAIO	Alumínio (mg L ⁻¹)	Cor Verdadeira (mg Pt-Co L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	pH	Turbidez (UNT)
01	0,41± 0,10	97,5± 25,00	1595± 230	8,08± 0,42	17,96± 2,50
02	0,75± 0,23	86± 24,00	1600± 270	7,10± 0,16	16,69± 3,31
03	0,50± 0,11	41± 15,00	1359± 9,20	8,10± 0,80	11,19± 1,97
04	0,83± 0,16	32± 15,00	790± 9,20	7,10± 0,17	3,95± 0,80
05	0,70± 0,20	96± 30,00	1875± 9,20	6,71± 0,30	12,03± 2,50
06	0,51± 0,18	27± 4,50	1435± 9,20	7,50± 0,37	7,70± 1,44
07	0,60± 0,12	68± 20,00	1284± 220	6,81± 0,50	14,90± 2,40
08	0,63± 0,21	58± 16,00	813± 160	8,45± 0,75	3,31± 1,28
Efluente Bruto	0,30± 0,16	3320± 407	4890± 589	4,22± 2,40	2112± 1450
(VMP)⁽¹⁾ (mg L⁻¹)	0,10 ⁽²⁾	≤ 75	ND*	6,0 a 9,0	Até 100 UNT

Fonte: Elaborado pelos autores. 2019.

(1) Valor Máximo Permitido Resolução Conama 357/2005 para rio Classe II.

(2) Valor Máximo Permitido Resolução Conama 357/2005 para rio Classe I.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados demonstram que a redução do tempo de aplicação e o aumento da intensidade de corrente resultam em redução da eficiência do tratamento. Neste sentido, Drouiche et al (2009), reportam que um tempo mais significativo da eletrólise e aumento da intensidade de corrente favorece a formação de íons metálicos bem como a formação de flocos de hidróxido metálico, melhorando assim o desempenho da eletrocoagulação. Para todos os ensaios realizados, obteve-se o aumento do pH até a uma faixa máxima de 9. Harif et al (2012) sugere que durante a precipitação do hidróxido de alumínio, ocorre consumo de íons de hidrogênio, elevando assim o valor do pH para efluentes ácidos e reduzindo o valor do pH para soluções alcalinas.

Da mesma maneira, foi evidenciado que o pH inicial (efluente bruto) pode ter influência na remoção de cor. Segundo Dermentriz et al (2011), o pH possui considerável efeito na eficiência do processo de eletrocoagulação, cuja variação depende do material do anodo utilizado e do pH inicial da solução a ser tratada. Para todos os ensaios realizados, obteve-se o aumento do pH até a uma faixa máxima de 9. Adhoum e Monser (2004) reportam que soluções com pH inicial menor que 9, tendem a alcançar este valor durante o processo de eletrocoagulação, enquanto que soluções com pH próximos a 9, mantem-se constante nesta faixa. Harif et al (2012) sugere que enquanto o hidróxido de alumínio precipita, reduzindo assim a concentração de íons de hidrogênio, elevando assim o valor de pH para efluentes ácidos e reduzindo o valor de pH para soluções alcalinas. A resolução CONAMA n° 357 de 2005 estipula um valor máximo de alumínio dissolvido presente em efluentes para disposição em rios de classe I no valor máximo de 0,10 mg L⁻¹. De acordo com os resultados obtidos, foi evidenciado em todos os ensaios com o eletrodo de alumínio, aumento da concentração do metal (Al) no efluente tratado. Neste sentido percebe-se para as reações com maior demanda de corrente (5A), aumento significativo no desgaste dos eletrodos, impactando no aumento da concentração de alumínio no efluente tratado. Deste modo, a formação de íons Al³⁺ pode promover a agregação dos sólidos em suspensão para partículas grandes o suficiente para sedimentar ou serem removidas. Entretanto, percebe-se que o aumento da intensidade de corrente elétrica promove a formação excessiva de íons Al³⁺ no efluente, aumentando o potencial repulsivo entre as cargas resultando no aumento da Turbidez e concentração de alumínio no efluente tratado. de forma a realizar um tratamento via filtração com zeólitas ou membrana para a remoção do metal no efluente tratado.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo vislumbram possibilidades de tratamento para este efluente em conformidade com os limites impostos pela legislação federal. De acordo com os testes realizados, percebeu-se uma redução satisfatória de turbidez, cujo valor médio mais elevado não ultrapassou o limite estabelecido pela legislação brasileira na qual é de 100 UNT (Conama 357, 2005). A remoção de DQO do sistema é bastante significativa, considerando a difícil biodegradabilidade do efluente. Contudo, deve-se ressaltar que todos os ensaios com o eletrodo de alumínio apresentaram no efluente tratado, altas concentrações do metal, muito superiores ao estipulado pela legislação, que conforme a resolução Conama n° 357/2005 para rios de classe III (0,1 mg.L⁻¹).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADHOUM, N., MONSER, L.. Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation. *Chemical Engineering and Processing*. V. 43 (10). P. 1281–1287. 2004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.
2. APHA – American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012. 1496p.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
4. DERMENTRIZ, K.; VALSAMIDOU, E.; LAZARIDOU, A. Nickel removal from wastewater by electrocoagulation with aluminum electrodes. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. V 4. P. 188 – 192. 2011.
5. DROUICHE, N. et al. Study on the treatment of photovoltaic wastewater using electrocoagulation: Fluoride removal with aluminium electrodes—Characteristics of products. *Journal Of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 169, n. 1-3, p.65-69, set. 2009.
6. DUBRAWSKI, K.L., MOHSENI, M. Standardizing electrocoagulation reactor design: iron electrodes for NOM removal. *Chemosphere*. n. 91 55–60, 2013.
7. HARIF, T.; KHAI, M.; ADIN, A. Electrocoagulation versus chemical coagulation: coagulation/flocculation mechanisms and resulting floc characteristics. *Water Research*. V 46. P. 3177 – 3188. 2012
8. GUO, J. S. Treatment of landfill leachate using a combined stripping, Fenton, SBR, and coagulation process. *Journal Of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 178, n. 1-3, p.699-705, 2010.
9. LEE, S. Y., GAGNON, G. A. Review of the factors relevant to the design and operation of an electrocoagulation system for wastewater treatment. *Environ. Rev.*, [s.l.], v. 22, n. 4, p. 421-429. 2014.
10. SHEN, Z et al. Methods to improve electrochemical treatment effect of dye wastewater. *Journal Of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 131, n. 1-3, p.90-97, 2006.
11. STRATE, Julio. Avaliação do processo de eletrocoagulação/flotação para tratamento de efluente de uma indústria de laticínios. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental. Centro Universitário Univates. 2014.
12. VERMA, A., KSHAYA K., DASH, R. R., BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal Of Environmental Management*, [s.l.], v. 93, n. 1, p.154-168, 2012.