



Tratamento de Efluentes da Indústria Têxtil por Eletrocoagulação

Milton P. de Melo Júnior¹, Michaele P. S. de Miranda², Alyson S. G. Tenório²,
Sheyla F. Lima-Coelho³, Abel Coelho da Silva Neto⁴.

¹Estudante do Curso Tecnológico em Sistemas Elétricos e Bolsista IFAL/CNPq.

²Estudantes do Curso de Eletrotécnica e Bolsistas PIBIC-IFAL.

³Doutoranda em Ciências e Professora de Biologia - IFAL.

⁴Doutor em Ciências/Físico-Química e Professor de Química – IFAL. e-mail: abel.coelho@ifalpalmeira.edu.br

Resumo: A busca por métodos alternativos para o tratamento de efluentes é um campo amplo e promissor para contribuição com a sustentabilidade no uso e reaproveitamento dos recursos naturais. A produção industrial é uma realidade necessária para o mundo moderno e o uso da água nos processos, em especial na indústria têxtil, alvo desta pesquisa, é inevitável. A aplicação de métodos rápidos, de baixo custo e elevada eficiência para promover o reaproveitamento dos efluentes é de grande valia para a preservação do meio ambiente. No presente estudo investiga-se a eficiência da eletrocoagulação com ânodos ativos de alumínio para eliminar a cor de efluentes contaminados com corantes da indústria têxtil. Eletrolises foram realizadas combinando-se diferentes valores de densidade de corrente (20, 10, 4 e 2 mA/cm²) e tempo (30, 15 e 10 min.), analisando-se o percentual de remoção de cor pela redução da absorbância através de espectrofotometria com comprimentos de ondas específicos (570; 500; 380 nm). Três cores (azul, vermelho e verde) foram utilizadas separadamente para produzir as amostras a serem tratadas. Foram obtidos resultados de redução de cor superior a 92% para a cor verde e superior a 98% para as cores azul e vermelho.

Palavras-chave: Tratamento, Efluente, Corante, Têxtil, Eletrocoagulação

1. INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação com a poluição química de natureza orgânica ou inorgânica, decorrente dos despejos residenciais e industriais, devendo este problema ser considerado um dos mais sérios que afetam o meio ambiente.

Nas últimas décadas, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao desmedido crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial. Indústrias têxteis constituem uma atividade de grande importância na economia do Brasil. No entanto, do ponto de vista ambiental, estas indústrias são consideradas causadoras de grandes impactos, visto que suas atividades geram grandes volumes de efluentes fortemente coloridos.

É de interesse mundial a evolução dos processos produtivos para níveis que impliquem em reduzidos danos ambientais, preferencialmente aqueles que ofereçam um baixo nível de resíduos indesejáveis. Entretanto, a eficiência de tais processos dificilmente alcança nível zero de produção de rejeitos, os quais devem ser adequadamente tratados a partir de uma combinação ideal entre facilidade operacional, custos e baixos riscos potenciais ao meio ambiente.

O efluente emitido a partir da indústria têxtil é caracterizado por seu alto teor de sólidos suspensos (SS), a sua alta turbidez e uma razoável DQO. Há, para este caso, estudos que mostram o processo de tratamento deste tipo de efluente realizado em uma etapa preliminar de eletrocoagulação, seguido por uma etapa de floculação conduzida sem adição de agentes floculantes, com o acompanhamento da velocidade de sedimentação de lodo após eletrocoagulação em função das condições de funcionamento. Neste estudo os dados foram utilizados para investigar a influência dos parâmetros do processo sobre a etapa de sedimentação. O conjunto de dados obtidos foi utilizado para comparar a eficiência de diferentes modelos empíricos para estimativa da velocidade de sedimentação das lamas. Por último, os parâmetros foram estudados em termos de índice de volume de lodo para determinar as melhores condições de funcionamento. (ZODI *et al.*, 2009)



A eletrocoagulação é um método eletroquímico de tratamento da água poluída pelo qual ânodos de sacrifício são dissolvidos para produzir agentes coagulantes (geralmente cátions de alumínio ou ferro) em solução. (HOLT *et al.*, 2005)

Estudo realizado por Kashefialasl *et al* (2006) trata da remoção de um corante reativo têxtil Indexado, o Ácido *amarelo 36*, de um meio aquoso pelo método de eletrocoagulação utilizando eletrodos de ferro. Os efeitos da concentração de eletrólitos, pH inicial, a densidade de corrente, área dos eletrodos, a distância entre os eletrodos, a concentração da tintura e o tempo de tratamento sobre a eficiência de descoloração foram investigados. Constatou-se que espécies ferro-hidroxipoliméricas, formadas durante a fase inicial da operação removem eficazmente moléculas de corante por adsorção e precipitação, e em uma fase posterior, flocos de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ formam precipitados coloidais e tornam mais fácil a separação sólido líquido durante a etapa de flotação. O trabalho propõe que os estágios de eletrocoagulação devem ser otimizados para projetar um processo de eletrocoagulação economicamente viável. O uso de elevadas densidades de corrente de até $127,8 \text{ A/m}^2$ ($12,78 \text{ mA/cm}^2$) aumentou a eficiência de remoção da cor. Os resultados mostraram que o tempo de eletrólise ótimo foi de 6 minutos. O pH ótimo foi 8. Verificou-se também que o percentual de remoção de cor diminui com aumento da concentração de corante. A quantidade ideal de eletrólitos (NaCl) foi encontrado para ser de 8 g/L quando a concentração de corante foi de 50 mg/L .

Também foram realizadas pesquisas em uma solução aquosa do corante indexado *ácido vermelho 2*, promovendo a descoloração por eletrólise usando o ferro como anodo. O processo de descoloração foi investigado através de observações experimentais sobre o comportamento eletroquímico deste corante em eletrodo de disco rotatório de platina, espectros de UV-visível da solução e espectros de infravermelho das misturas coaguladas. Verifica-se que a eficiência de descoloração é alta, mais de 98,0% após 40 minutos, e essa eficiência de descoloração alta pode ser atribuída ao efeito sinérgico de eletrocoagulação e eletro-oxidação. Os resultados obtidos a partir de espectros mostram que a descoloração por eletro-oxidação é devido à clivagem parcial ou total de ligações C-N no corante indexado ácido vermelho 2. (ZHANG *et al.*, 2009.)

Dentro deste contexto, o presente trabalho investiga a eficiência da eletrocoagulação com eletrodos de alumínio no tratamento de água contaminada com corantes têxteis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O tratamento do efluente, visando redução de cor, foi feito por eletrocoagulação e, para isto, foram realizadas eletrólises em batelada, com corrente contínua aplicada a um eletrodo de sacrifício (ânodo), do qual foi gerado o agente coagulante, promovendo a coagulação das impurezas, com consequente floculação e separação por centrifugação.

Os efluentes utilizados foram simulados em laboratório utilizando corantes das marcas *Guarany Tingicor*[®] (*azul 17*) e *Tupy*[®] (*vermelho 13 e verde 28*), com concentração de 1 g do corante por litro de água, acrescentando-se 1 g de cloreto de sódio à mistura para aumentar a condutividade elétrica da solução.

Alumínio comercial (com pureza mínima de 99,5% - *ALCOA*[®]) foi utilizado como ânodo de sacrifício. Foram usadas placas de 50 cm^2 de área superficial submersa (considerando as duas faces). Como cátodo também foi usada uma placa de alumínio de mesma área, paralela ao ânodo e distantes 3 cm uma da outra.

Uma fonte de potencial e de corrente contínua *Instrutherm DC Power Supply FA-1030*, com capacidade para 30 V e 10 A, foi utilizada para realização das eletrólises, sendo que a corrente foi controlada e o potencial monitorado. Densidades de correntes de 2, 4, 10 e 20 mA/cm^2 foram aplicadas nas eletrólises.

As eletrólises foram realizadas por 30, 15 e 10 minutos para se verificar o menor tempo necessário de eletrocoagulação com a menor corrente possível de modo a preservar a eficiência do método.

Para análise da eficiência do tratamento foi utilizado um espectrofotômetro digital com o qual se mediu a absorvância antes do tratamento e após a eletrocoagulação. Para cada cor utilizada nesta



pesquisa foi determinado o comprimento de onda com maior absorbância. Para o *vermelho 13* o comprimento de onda usado foi de 500 nm, para o *verde 28* foi 380 nm e para o *azul 17* foi 570 nm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para o tratamento da água contaminada com o corante *azul 17* estão apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Resultado para a eletrocoagulação do corante *azul 17*.

Tempo (min)	Densidade de corrente (mA/cm ²)	Absorbância antes do tratamento	Absorbância depois do tratamento	% de redução
30	20	1,213	0,023	98,11%
30	10	1,174	0,052	95,69%
30	4	1,397	0,063	95,50%
30	2	1,545	0,078	94,95%
15	4	1,118	0,067	94,01%
10	2	1,321	0,087	93,42%

Podemos observar nos resultados apresentados para o tratamento do efluente com corante azul, no tocante a redução de cor, que a eficiência do método é bastante elevada, comparada com outras formas de tratamento, mesmo com baixa densidade de corrente e por um tempo relativamente curto (10 minutos).

Os resultados obtidos para o tratamento da água contaminada com o corante *verde 28* estão apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Resultado para a eletrocoagulação do corante *verde 28*.

Tempo (min)	Densidade de corrente (mA/cm ²)	Absorbância antes do tratamento	Absorbância depois do tratamento	% de redução
30	20	0,690	0,051	92,60
30	10	0,632	0,090	85,76
30	4	0,658	0,090	86,32
30	2	0,557	0,063	88,68
15	4	0,512	0,066	87,10
15	2	0,563	0,103	81,70
10	2	0,601	0,120	80,03

Os resultados apresentados para remoção do corante verde também foram satisfatórios, ficando acima de 80% mesmo para o tempo de 10 minutos com a menor densidade de corrente aplicada. Também se pode notar que a eletrólise realizada por mais tempo (30 minutos) apresentou uma aparente incoerência por fornecer melhores resultados para as menores densidades de corrente, porém, sabe-se que o excesso de agente coagulante pode, em alguns casos, contribuir para uma concorrência entre este reagente e o contaminante no período da floculação (Santos, 2004). Aliado a este fato, deve-se considerar que as diferenças estão dentro das margens de erro estatístico.

Os resultados obtidos para o tratamento da água contaminada com o corante *vermelho 13* estão apresentados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Resultado para a eletrocoagulação do corante vermelho 15.

Tempo (min)	Densidade de corrente (mA/cm ²)	Absorbância antes do tratamento	Absorbância depois do tratamento	% de redução
30	20	1,373	0,026	98,10
30	2	1,118	0,011	98,97
15	2	1,088	0,019	98,25
10	2	1,297	0,011	99,10

No caso do corante vermelho pode-se perceber a notória eficiência do alumínio como coagulante e removedor deste contaminante. A proximidade dos resultados aliada a margem de erro mostra que na prática o aumento do tempo ou da densidade de corrente não são necessários, sendo suficiente 10 minutos de tratamento com densidade de corrente de 2 mA/cm².

O potencial necessário para obter a densidade de corrente mais elevada dentre as utilizadas ficou em torno de 11 volts e para a menor densidade de corrente em torno de 2 volts.

As Figuras 1, 2 e 3 a seguir retratam o sucesso obtido no tratamento por eletrocoagulação.

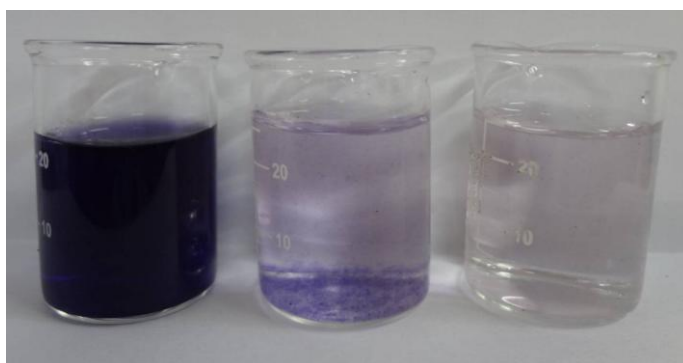


Figura 1: Efluente com corante azul 17. À esquerda, sem tratamento; no centro, após eletrocoagulação; à direita, após centrifugação do eletrocoagulado.

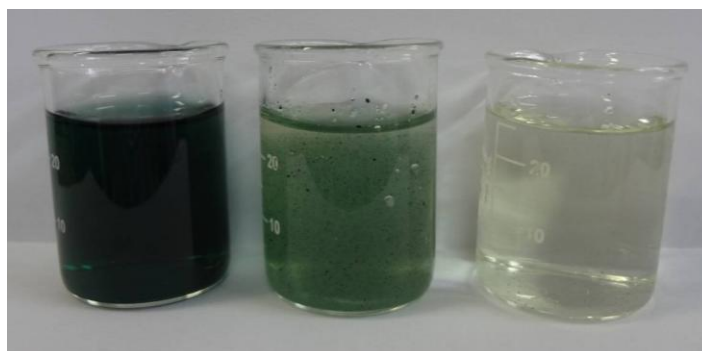


Figura 2: Efluente com corante verde 28. À esquerda, sem tratamento; no centro, após eletrocoagulação; à direita, após centrifugação do eletrocoagulado.



Figura 3: Efluente com corante *vermelho 13*. À esquerda, sem tratamento; no centro, após eletrocoagulação; à direita, após centrifugação do eletrocoagulado.

Pode-se observar que para o corante *azul 17* e para o *vermelho 13* obteve-se uma redução de mais de 98% da absorbância no comprimento de onda em que a cor mais absorve. No caso do corante verde a eficiência também é boa, pois a redução é superior a 92% em 30 minutos de eletrólise. Nos três casos foi possível diminuir consideravelmente tanto o tempo quanto a densidade de corrente elétrica aplicada e ainda se obter uma remoção de cor bastante satisfatória.

As imagens apresentadas nas Figuras 1, 2 e 3 mostram que é notória a limpidez obtida após o tratamento por eletrocoagulação. O efluente tratado foi centrifugado apenas para acelerar a separação dos flocos, permitindo analisar mais rapidamente os resultados. A centrifugação isoladamente foi testada e ficou comprovado que sozinha em nada contribui para retirada dos corantes que são solúveis.

6. CONCLUSÕES

A elevada eficiência da eletrocoagulação no tratamento de efluentes contaminados com corantes têxteis, demonstrada pelo alto percentual de redução de cor obtido, aliada a simplicidade operacional e também a rapidez do método são fatores motivadores para a continuidade das pesquisas.

As perspectivas futuras são para o estudo e a construção de um reator de fluxo contínuo, primeiramente em escala de bancada e posteriormente em escala piloto, com o qual seja possível um tratamento eficiente levando o efluente a níveis de contaminação mínimos e passível de reuso ou descarte de acordo com a legislação em vigor.

AGRADECIMENTOS

À Direção Geral do campus Palmeira dos Índios do IFAL.

À Coordenação de Pesquisa do campus Palmeira dos Índios do IFAL.

À PRPI/IFAL

Ao CNPq

REFERÊNCIAS

HOLT, P. K.; BARTON, G. W.; MITCHELL, C. A. – *The future of electrocoagulation as a localized water treatment technology*, **Chemosphere**, n. 59, p. 355–367, 2005.

KASHEFIALASL, M.; KHOSRAVI, M.; MARANDI, R.; SEYYEDI, K. - *Treatment of dye solution containing colored index acid yellow 36 by electrocoagulation using iron electrodes*. **Int. J. Environ. Sci. Tech.**, v. 2, n. 4, p. 365-371, 2006.



SANTOS, H. R.; PRADO, G. S.; VIDAL, C. M. S.; MORUZZI, R. B.; CAMPOS, J. R. – *Aplicabilidade das Técnicas de Determinação de Tamanho de Partículas em Sistemas de Tratamento de Água e Esgoto Sanitário*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 291-300, 2004.

ZHANG, X.D.; HAO, J.D.; LI, W.S.; JIN, H.J.; YANG, J.; HUANG, Q.M.; LU, D.S.; XU, H.K. – *Synergistic effect in treatment of C.I. Acid Red 2 by electrocoagulation and electrooxidation*. **Journal of Hazardous Materials**, n. 170, p. 883–887, 2009.

ZODI, S.; POTIER, O.; LAPICQUE, F.; LECLERC, J.-P. – *Treatment of the textile wastewaters by electrocoagulation: Effect of operating parameters on the sludge settling characteristics*. **Separation and Purification Technology**, n. 69, p. 29–36, 2009.