



Tratamento de efluente proveniente de serigrafia via eletrocoagulação

**Jonathan David de Abreu¹, Camila Adam², Ana Flávia Costa³,
Sérgio Marian⁴, Luciano André Deitos Koslowski⁵**

¹Universidade do Estado de Santa Catarina/ UDESC/CEAVI (davide_abreu@hotmail.com)

²Universidade do Estado de Santa Catarina/ UDESC/CEAVI (adam.camila11@gmail.com)

³Universidade do Estado de Santa Catarina/ UDESC/CEAVI (anaflavia.c20@gmail.com)

⁴Universidade do Estado de Santa Catarina/ UDESC/CEAVI (segio.marian@udesc.br)

⁵Universidade do Estado de Santa Catarina/ UDESC/CEAVI (lucianoandre@yahoo.com)

Resumo

O desenvolvimento industrial recente tem dificultado o tratamento de efluentes por processos já disseminados, induzindo a novas pesquisas nesta área. Na indústria serigráfica a remoção de cor é um problema grave, devido aos processos tradicionais aplicados como coagulação, flotação e sedimentação apresentarem eficiência de 40% a 90% no processo de tratamento. Processos de oxidação avançado tem por objetivo a remoção de compostos orgânicos estáveis. A presente pesquisa experimental apresentou como proposta a utilização de um reator eletroquímico constituído de um sistema bipolar com celas em paralelo, contendo eletrodos de diferentes materiais. Os eletrodos foram conectados em uma fonte do tipo conversor Corrente Alternada/Corrente Contínua (CA/CC). O monitoramento do desempenho do sistema foi realizado a partir da caracterização do efluente bruto proveniente de uma indústria de serigrafia, de forma a verificar sua qualidade em relação aos seguintes parâmetros: turbidez, pH e sólidos sedimentáveis. As condições empregadas no sistema foram: concentração do eletrólito (4 g/600mL e 4 g/600mL), voltagem (20 V e 30 V), tempo de operação (120 minutos), e na ausência ou presença de agitação segundo um planejamento fatorial estatístico. Os dados obtidos foram quantitativos e avaliados comparativamente com as resoluções 357 e 430 do CONAMA. Os resultados demonstram que a melhor condição operacional indica uma remoção de 96% de turbidez do efluente, operando a uma voltagem de 30 V, sob agitação, tempo de reação de 120 minutos e concentração de eletrólito de 4 g.L⁻¹.

Palavras-chave: Diesel S500, combustão, HPA'S.

Área Temática: Tema 14 – Tecnologias Ambientais.

Treatment of affluent derived from serigraphy by electrocoagulation

Abstract

Recent industrial development has made difficult the treatment of effluents by already disseminated processes and new research is mandatory. The removal of color in serigraphy is a serious concern due to traditional processes such as coagulation, flotation and sedimentation which have a 40 – 90% success in treatment. Advanced oxidation processes remove stable organic compounds. Experimental research has revealed the use of an electro-chemical reactor made of a bipolar system with parallel cells containing electrodes made of different



materials. Electrodes were connected to a convertor Alternate Current/Continuous Current (CA/CC). Monitoring of the system's performance occurred by characterization of the crude effluent derived from a serigraphy industry to verify its quality with regard to the following parameters: turbidity, pH and sedimentary solids. The system's conditions were concentration of the electrolyte (4 g/600mL and 4 g/600mL), voltage (20 V and 30 V), operation time (120 minutes) and the absence and presence of agitation according to a statistical factorial planning. Data were quantitative and evaluated comparatively, following CONAMA norms 357 and 430. Results showed that the best operational condition demonstrated a 96% removal of turbidity from the effluent, at a voltage of 30 V, under agitation, reaction time of 120 minutes and electrolyte concentration of 4 g.L⁻¹.

Keywords: Electro-coagulation; chemical effluent; treatment of effluents.

Theme Area:14 – Environmental Technology

1 Introdução

O intenso desenvolvimento industrial tem provocado mudanças bruscas nos sistemas de tratamento de efluentes, o que tem motivado cada vez mais insistentes estudos nesta área a fim de minimizar a ação de poluentes e descargas residuais provenientes da indústria nos rios. A remoção de resíduos orgânicos dentro da indústria hoje se faz necessária em parte pelo rigor das legislações ambientais e pela busca de certificados que garantam o produto com qualidade boa e que não impacte em prejuízos em termos ambientais.

Devido ao grande crescimento da demanda por bens, o investimento em tecnologias de produção aumentou, e com isto como contrapeso a geração de resíduos sólidos ou mesmo resíduos líquidos também. Tendo em vista esta necessidade de inovação ou melhora da qualidade de produtos de grandes empresas, os resíduos dos mesmos apresentam maior complexidade, tanto para o tratamento como sua disposição final. Assim, as tecnologias para tratamento também precisam inovar, e com isto muitos métodos alternativos para tratamento são desenvolvidos.

O processo de eletrocoagulação tem atraído uma grande atenção no tratamento de efluentes industriais devido a sua versatilidade e compatibilidade ambiental. É um método simples, com certas vantagens, sendo estas a fácil operação, menor tempo de retenção, redução ou ausência da adição de substâncias químicas, rápida sedimentação dos flocos e menor produção de lodo[1].

Na eletrocoagulação, a passagem da corrente elétrica é a responsável pelas diversas reações que ocorrem no efluente a ser tratado: a oxidação de compostos, a substituição iônica entre os eletrólitos inorgânicos e os sais orgânicos, com a consequente redução da concentração da matéria orgânica dissolvida na solução e a desestabilização das partículas coloidais[2].

Nesse processo de eletrocoagulação, íons são produzidos no local e envolve as três etapas seguintes: formação do coagulante pela oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício, ou seja, o eletrodo que perde elétrons; desestabilização dos contaminantes, suspensão das partículas e quebra de emulsões; e agregação das fases desestabilizadas para formar flocos. A água também é eletrolisada em uma reação paralela, produzindo pequenas bolhas de oxigênio no ânodo e hidrogênio no cátodo. As bolhas formadas atraem as partículas floculadas e, por meio de flutuação natural, os poluentes floculados flutam até a superfície. A eletrofloculação é a combinação dos processos de eletrocoagulação e eletroflotação, já que o primeiro consiste na geração de íons metálicos para a posterior formação do agente coagulante e a eletroflotação, na geração dos gases hidrogênio e oxigênio pela eletrólise da água[3].



O aumento da densidade de corrente (A/cm^2) depende efetivamente do aumento da intensidade da corrente, da natureza do eletrodo e do eletrólito, influencia no processo de eletrocoagulação. O aumento na intensidade de corrente provoca um aumento da migração de cátions da solução para o cátodo com a deposição de ânion e aumento da migração de ânions da solução para o ânodo com a respectiva deposição de cátions para a solução. Desta forma gera-se um aumento da taxa da reação e serve para caracterizar a cinética de equilíbrio pela elevação da densidade de corrente. A resposta para dinâmica reacional é o aumento na porcentagem (%) de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) por kwh, e consequente aumento na eficiência no processo de tratamento[4].

A condutividade dos eletrólitos, outro fator que influi diretamente na eletrocoagulação, varia bastante com as concentrações. A comparação das condutâncias de diferentes eletrólitos é mais significativa quando se toma em consideração a concentração. O aumento da concentração do eletrólito na solução promove um aumento da condutividade na solução até atingir um ponto máximo, onde a partir deste ponto ocorrerá uma diminuição desta concentração. Esse aumento da concentração do eletrólito e resulta em aumento da velocidade de reação e aumento da densidade de corrente permitindo uma oxidação mais rápida. Na comparação de condutividades molares de diferentes eletrólitos, deve-se considerar condutividades molares de soluções nas quais as quantidades de substância que perfazem um mol apresentem mesmo número de cargas. [4]

Resultados comprovam que à medida que a concentração diminui, a condutividade molar aumenta, tendendo a um valor máximo, conhecido como condutividade molar limite designada pelo símbolo Λ^∞ [4].

Existem eletrólitos como o cloreto de sódio (NaCl) ou de potássio (KCl) que exibem valores bastante altos de condutividade molar em toda faixa de concentrações consideradas. Esses eletrólitos são chamados de eletrólitos fortes. Há também, outros eletrólitos que mostram comportamento diferente, onde a condutividade molar permanece baixa até atingirmos diluições muito grandes, nas quais a condutividade molar cresce bastante. Tais eletrólitos são chamados de eletrólitos fracos.

O efluente submetido ao tratamento sob agitação promove um aumento na migração de cátions e ânions da solução para o eletrólito, provocando um aumento na velocidade de reação e consequentemente de oxidação de matéria. Quanto maior essa agitação, maior será a velocidade da reação[4].

Para caracterizar a eficiência do tratamento, comparou-se os parâmetros de turbidez, sólidos suspensos e pH mensurados ao final da eletrocoagulação com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, que “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”[5] e a Resolução do CONAMA N° 430 de 13 de maio de 2011, que “Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357” [6]. A Resolução 357/2005 estabelece padrões para cada classe de rio. Sabendo-se que o rio selecionado para destinação do efluente é o Rio Hercílio, da cidade de Ibirama, de classe 2, conforme portaria n° 024/1979 que estabelece classificação dos cursos de água do Estado de Santa Catarina, deve-se respeitar a turbidez de 100 UNT[5]. O Artigo 16 da segunda resolução, estabelece que o pH deve compreender uma faixa de 5 a 9 e os materiais sedimentáveis devem ser limitados a concentração de 1 mL.L-1 em teste de 1 hora em cone Imhoff para seu lançamento[6].

No processo eletroquímico, os poluentes são degradados por qualquer um dos processos de oxidação direta ou indireta. No primeiro caso a reação anódica da oxidação permite a adsorção dos poluentes na superfície do ânodo e seguida transferência de elétrons. No processo de oxidação indireta, oxidantes fortes como o íon hipoclorito, cloro, ozônio (O_3) e



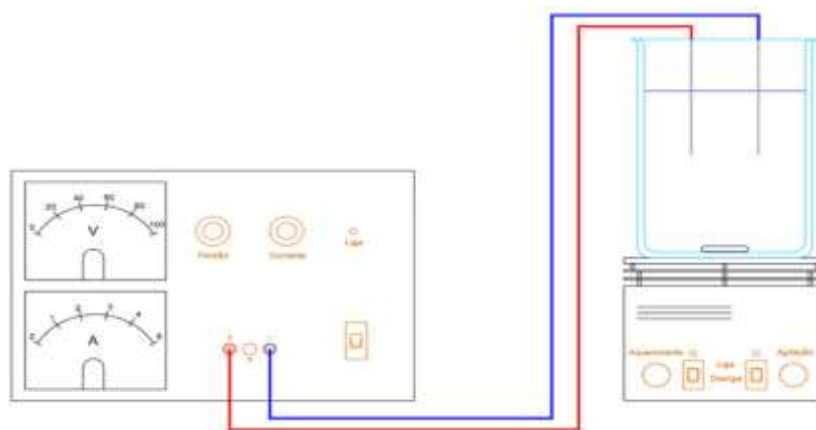
peróxido de hidrogênio são gerados no processo eletroquímico, sendo os poluentes degradados na solução pela reação de oxidação e redução com esse oxidante gerado[2].

2. Metodologia

A proposta do presente estudo foi a de avaliar experimentalmente a eficiência do processo de remoção de cor do efluente proveniente de serigrafia. A análise da redução de cor do efluente foi realizada utilizando um turbidímetro portátil da marca HANNA modelo HI 93703, sendo retiradas alíquotas de 10 mL para sua análise. Nesse sentido, foi empregado o tempo de 2 horas para a reação de eletrocoagulação. Foram empregados como variáveis eletrodos metálicos [zinco (Zn), e latão (liga de cobre e zinco)]. Os eletrodos empregados apresentam dimensões de 24,8 cm² (3,1 cm x 8 cm). Para cada experimento, foram empregados pares de eletrodos do mesmo tipo de material.

O método de eletrocoagulação foi realizado empregando uma fonte estabilizadora de corrente contínua (HD 109 marca Hidrodidática), com faixa de voltagem de 0 a 30 Volts, com entradas de corrente de 6 Ampere e 3 Ampere.

Figura 1 – Reator eletroquímico empregado no experimento.



O pH das soluções analisadas foi determinada em peagâmetro digital (HI3221 HANNA) e o teste de sólidos sedimentáveis realizados em cone de Imhoff. Os parâmetros de eficiência do processo foram realizados por meio de análises de turbidez e sólidos suspensos conforme Resolução CONAMA N° 357 e N° 430.

3 Resultados

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos durante a realização dos ensaios de redução de cor do efluente proveniente de uma empresa de serigrafia. Com o objetivo de avaliar a redução de sólidos totais presentes no efluente, fez-se necessário analisar a turbidez no decorrer do processo de agitação constante e que a mesma apresentou pouca redução. A dificuldade em reduzir a turbidez foi evidenciado pela formação de lodo proveniente do processo de oxidação do efluente de serigrafia, sendo necessária a aplicação de uma maior intensidade de corrente, que favorece a diminuição da resistência a oxidação conforme apresentado no Quadro 1.



Quadro 1 – Avaliação da turbidez em relação as variáveis do processo.

Experimentos	Voltagem e Corrente	Eletrólito (NaCl)	Eletrodo	Agitação	pH Inicial	Turbidez 0	Turbidez 20'	Turbidez 40'	Turbidez 60'	Turbidez 80'	Turbidez 100'	Turbidez Final (após sedimentação)
1	30v e 3A	4g	Zinco	Sim	12,54	1000 >	1000 >	1000 >	1000 >	1000 >	1000 >	532
2	30v e 3A	Sem	Zinco	Sim	12,1	460	460	460	460	460	460	70
3	20V e 6A	4g	Zinco	Sim	12,1	99	99	99	99	99	99	66
4	30v e 3A	4g	Zinco	Não	12,12	93	86	Erro	Erro	Erro	Erro	Erro
5	20V e 6A	Sem	Zinco	Sim	11,57	102	102	102	102	102	102	84
6	20V e 6A	Sem	Latão	Sim	12,03	103	103	103	103	103	103	77
7	30V e 3A	Sem	Latão	Sim	1,8	268	270	302	331	331	331	331
8	20V e 6A	4g	Latão	Sim	2	250	250	250	250	250	250	9,75
9	30v e 3A	4g	Latão	Sim	2	474	474	474	474	474	474	59
10	30v e 3A	4g	Latão	Não	2,04	1000 >	1000 >	1000 >	1000 >	1000 >	1000 >	136

Os resultados não atendem as normativas da resolução Conama 357 (< 5 NTU). Pode-se observar que a degradação com o zinco não foi significativa, ocorrendo uma redução máxima de 46,8% no experimento 1, fato justificado pelo zinco apresentar menor potencial padrão de redução, portanto seu residual apresentará menor potencial de oxidação tornando o processo ineficiente.

Nas amostras 8, 9 e 10 foi observada a redução de cor de 96,1%, 87,55% e 86,4% respectivamente, o que mostra que a degradação com latão teve resultados significativos. Portanto, observada a Resolução CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011, boa parte dos testes realizados mantiveram-se acima do estabelecido pela portaria, sendo que os resultados apresentados nos experimentos 1, 4, 7 e 10 superaram o padrão de turbidez. Comparativamente com os padrões de pH supracitados, os experimentos 2, 3, 5 e 6 estão aptos a serem destinados a um corpo hídrico classe 2. Sugere-se que um aumento na concentração de eletrólito associada a uma diminuição da distância dos eletrodos, pode resultar em um aumento na taxa de oxidação e consequentemente na redução de cor. Vale destacar que a diminuição da distância entre eletrodos potencializa a condutividade elétrica diminuindo a resistência de transporte da matéria orgânica até o eletrodo onde ocorre a oxidação.

Os testes para avaliação dos sólidos sedimentáveis foi realizado empregando cone de Imhoff conforme previsto na resolução CONAMA 430/2011, pelo período de tempo de 1 hora avaliando a leitura final da turbidez, com a parte do efluente destinada ao corpo hídrico, ou seja, foi retirado o efluente apenas de uma zona intermediária e o lodo sedimentado no fundo do béquer. O resultado é apresentado no Quadro 2 a seguir.



Quadro 2 – Análise dos Sólidos Sedimentáveis.

Experimentos	Sólidos Sedimentáveis
1	0 mL.L ⁻¹
2	0 mL.L ⁻¹
3	0 mL.L ⁻¹
4	0 mL.L ⁻¹
5	0 mL.L ⁻¹
6	0,2 mL.L ⁻¹
7	0,6 mL.L ⁻¹
8	0 mL.L ⁻¹
9	0 mL.L ⁻¹
10	0 mL.L ⁻¹

Todos os experimentos apresentam um valor de sólidos sedimentáveis abaixo do padrão exigido pela CONAMA 430 de 2011, respeitando a mesma. Após os resultados finais dos testes realizados, elaborou-se um comparativo dos parâmetros em estudo (turbidez, pH e sólidos sedimentáveis) conforme o Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Dados comparativos referentes aos ensaios com melhor redução de cor.

Experimento	Turbidez Final (UNT)	Sólidos Sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	pH	Aprovação
2	70	0	12,1	pH*
3	66	0	12,1	pH*
5	84	0	11,57	pH*
6	77	0,2	12,03	pH*
8	9,75	0	2	pH*
9	59	0	2	pH*

Para análise do Quadro 3, pode-se observar que nenhum dos testes atingiu os padrões exigidos pela legislação brasileira para disposição de efluentes em corpos hídricos, porém, em 60% dos casos, a proposta para atender os limites estabelecidos, seria a aplicação de uma maior voltagem proveniente da fonte estabilizadora e diminuição da distância entre os eletrodos. A grande dificuldade obtida com relação ao pH das amostras, foi a variação da concentração e a variedade dos tipos de efluentes utilizados na indústria de serigrafia.



4 Conclusões

A necessidade de se adaptar às legislações ambientais para que não haja prejuízos econômicos, sociais e ambientais leva a busca por novas alternativas de tratamento de efluente, já que o desenvolvimento das indústrias tem gerado efluentes de maior complexidade, que dificultam tanto o processo de tratamento como sua disposição final. Neste contexto, a pesquisa desenvolvida, em caráter experimental, comprovou uma boa eficiência no processo de remoção de cor do efluente por meio do processo de eletrocoagulação no tratamento de efluentes provenientes de serigrafia e gráficas a partir de medições de pH, turbidez e sólidos sedimentáveis das amostras. Cada experimento apresentou variáveis distintas (quantidade de eletrólito, presença ou não de agitação, tipo de eletrodo e quantidade de energia aplicada) afim de se identificar as variáveis que influenciam de forma mais acentuada na eletrocoagulação. Conforme os resultados, a turbidez mostrou-se constante ao valor inicial, porém em 60% diminuiu significativamente após sedimentação. Apenas os poços 1, 4, 7 e 10 não se enquadraram à legislação para rio de classe 2. A degradação utilizando o zinco como eletrodo foi pouco eficiente comparado a degradação realizada com o latão, que apresentou até 96,1% de redução na amostra 8. Isso é devido ao menor potencial padrão de redução do zinco. Já o parâmetro pH apresentou resultados negativos em todos os casos, porém esse caso pode ser contornado com a simples correção do pH do efluente. Como resultado final, tem-se que nenhum dos testes atingiu os padrões exigidos pela legislação brasileira para disposição de efluentes em corpos hídricos. Porém, o teste foi eficiente no que tange a oxidação e sedimentação de compostos orgânicos para eletrodos de latão, com agitação constante, em um tempo de retenção de 120 minutos e com adição de 4 g/600mL de eletrólito. Com a simples correção do pH, 60% das amostras se enquadrariam as resoluções.

Referências

- [1]BOUAMRA, Fariza; DROUCHE, Nadjib; AHMED, Dihya S.; LOUNICI, Hakim; Treatmen of water loaded with orthophosphate by Eletrocoagulation. Procedia Engineering 33. p. 155 – 162, 2012.
- [2]MONEGO, Maurici Luzia Charnevski Del, Degradação eletroquímica de corantes e efluentes da indústria têxtil. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 89p., 2007.
- [3]MENESES, Janaina Moreira de; VASCONCELOS, Robelsa de Fátima; FERNANDES, Thalys de Freitas and ARAUJO, Gilmar Trindade de.Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: investigação dos parâmetros operacionais. Quím. Nova [online]. vol.35, n.2, pp. 235-240, 2012.
- [4]DENARO, A.R. Fundamentos de eletroquímica. 1ª edição, Edgard Blücher, São Paulo, SP. 1974.
- [5] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE [CONAMA]. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso: 05 nov. 2015.
- [6] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE [CONAMA]. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 05 nov. 2015.