



II-473 - SISTEMA INTEGRADO ELETROFLOTADOR/FOTOOZONIZADOR CATALÍTICO

Filipe Vargas Zerwes

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC. Pesquisador do Grupo de Ciência e Tecnologia Ambiental - UNISC

Lourdes Teresinha Kist

Doutora em Química (UFSC). Professora Titular do Departamento de Química e Física – UNISC. Professora do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental- PPGTA-UNISC

Jorge Matheus Hoeltz

Químico Industrial pela Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental- PPGTA-UNISC

Enio Leandro Machado

Doutor em Engenharia (UFRGS). Professor do Departamento de Química e Física – UNISC. Professor do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental- PPGTA-UNISC

Endereço⁽¹⁾: Avenida Independência, 2293 – Bairro Universitário – Santa Cruz do Sul - RS – CEP: 96815-900 – Brasil – Tel.: (51)3717-7545

RESUMO

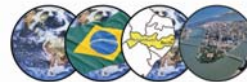
Um dos grandes problemas ambientais no que diz respeito ao setor têxtil é o uso intensivo de água e por consequência a geração de grande volume de efluente, caracterizado por apresentar alta carga orgânica, com demandas químicas de oxigênio superiores a 2000mg O₂ L⁻¹, baixa degradabilidade e intensa coloração. Tendo em vista esta problemática, surge a necessidade tanto de repensar o processamento têxtil como o de remediar os efluentes gerados de forma mais limpa. Neste trabalho desenvolveu-se estudos aplicando processos oxidativos avançados para minimizar a carga poluidora de efluentes do tingimento têxtil de indústria localizada no Vale do Rio Pardo, RS, especialmente visando atender os limites estabelecidos pela Resolução do CONSEMA nº 128/06. Os testes iniciaram através de investigação da combinação entre os processos de eletroflotação/electrocoagulação, ozonização e radiação ultravioleta. Os ensaios de tratamento foram realizados com eletroflotador em fibra de vidro, compartimentado, operando em fluxo contínuo (100 L h⁻¹), com 80 mA L⁻¹. As condições operacionais dos tratamentos de eletroflotação constituíram pH= 9-10, tempo de retenção de 60 minutos, intensidade de corrente de 4 A e ddp de 9-10 V. Para os estudos de fotodegradação e ozonização avançada, foram empregados reator tipo coluna, construído em acrílico, com volume útil de 10 L e com lâmpada germicida de 30 W disposta concêntricamente (λ = 254 nm). Todos os ensaios foram realizados também em pH= 9-10. Nas melhores condições foram obtidos os seguintes resultados de redução da carga poluente nos efluentes têxteis equalizados para o processo EF: DBO= 43,8%; DQO= 47%, Cor aparente (λ = 580nm) 86,8%, (λ = 420nm) 71,3%. Já para o processo de EF + O₃, foram obtidos os valores de redução de Cor de 80,8% (λ = 580nm) e 67,8% (λ = 420nm). No caso do processo EF + O₃/UV foram observados os valores de redução para DBO= 44,8%, DQO= 44,8% e Cor aparente (λ = 580nm) 74,8%, (λ = 420nm) 36%. A transposição de escala de 6 L para o eletroflotador de 100 L mostrou adequação dos parâmetros críticos quanto ao atendimento da Resolução 128/06 do CONSEMA-RS.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes Têxteis, POAs, Eletroflotador

INTRODUÇÃO

O setor têxtil é um dos pioneiros do processo de industrialização do Brasil. Estas indústrias se desenvolveram e atualmente se destacam entre as oito principais atividades fabris do país, tornando-se assim um dos segmentos produtivos de maior importância¹.

A geração expressiva de efluentes é característica tanto nas empresas de grande porte do segmento têxtil, quanto nas de pequeno porte. Assim sendo, faz-se necessária a utilização de práticas preventivas que minimizem a carga poluente dos efluentes gerados, a qual pode ser realizada utilizando práticas de Produção mais Limpa (P+L)². As ações de P + L envolvem a aplicação dos 5 R's e buscam tornar os processos mais circulares.



No entanto, mesmo com a utilização de ferramentas de produção mais limpa, faz-se necessário à aplicação de métodos de tratamentos de efluentes, visto que as ferramentas de P+L, em muitos casos, abrandam a carga poluente gerada, mas não evitam a sua geração³. Além disso, constitui-se em uma grande preocupação por parte da indústria têxtil, a remoção ou descolorimento das águas residuárias antes do seu descarte, devido às exigências da legislação em vigor⁴.

Neste trabalho foram estabelecidos os objetivos de Integração de métodos de eletroflotação (EF) e processos oxidativos avançados ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{HO}^\cdot$, UV/O_3 e $\text{O}_3/\text{HO}^\cdot$) para o tratamento de efluentes gerados na etapa de tingimento de têxteis visando redução da carga poluente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização Analítica dos Efluentes

A caracterização analítica dos efluentes do tingimento têxtil foi realizada com a determinação dos parâmetros: DQO, cloretos, DBO_5 , Nitrogênio Total Kjeldahl, fósforo total e pH. Os procedimentos analíticos seguiram as normas descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1998. As amostras foram coletadas no tanque de equalização de empresa situada no Vale do Rio Pardo, RS, Brasil e utilizadas imediatamente após a coleta. Os dados de caracterização foram mantidos para amostras brutas e tratadas nos quatro ensaios de tratamento.

Ensaio de Tratamento

Os ensaios de tratamento envolveram as integrações da eletroflotação (EF) com os processos oxidativos avançados de: ozonização ($\text{EF} + \text{O}_3$); fotoozonização ($\text{EF} + \text{UV}/\text{O}_3$) e peroxidação ($\text{EF} + \text{H}_2\text{O}_2$).

Para execução dos processos oxidativos envolvendo a ozonização e fotoozonização foi construído o equipamento que aparece na ilustração da Figura 1 (fotoozonizador). O fotoozonizador foi construído com placas de acrílico, possuindo uma capacidade de 10 L. O Eletroflotador (*patenteado*) foi construído em fibra de vidro com sistema compartimentado.



Figura 1: Unidade de Fotoozonização. Volume útil de 10 Litros.

Também foram utilizados na confecção deste reator: lâmpada germicida de 30 W, pedras porosas e mangueiras de silicone. O fotoozonizador foi dotado de amostradores de gás de saída e efluente, sendo recoberto com material protetor da difusão da radiação UV. O gerador de ozônio utilizado tem a capacidade de geração de até $2\text{g O}_3\text{ h}^{-1}$. As proporções $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ foram mantidas em 1:5, considerando-se $100:500\text{ mg L}^{-1}$.

Para realização dos ensaios de eletroflotação foi construída uma unidade de eletroflotação de volume útil de 100 L, acoplado com fonte de alimentação de corrente contínua e medidor de intensidade de corrente. Os eletrodos metálicos foram constituídos de liga ferrosa tipo aço comum.



Os primeiros ensaios foram realizados no fotoozonizador com a injeção de ar ozonizado nas concentrações de 240 e 1140 mg O₃ L⁻¹ de ar (neste último caso UV/O₃-100%). A incidência de radiação ultravioleta ($\lambda = 254$ nm) foi realizada com lâmpada germicida de 30 W, sendo que a lâmpada foi disposta concêntricamente no reator tipo coluna ilustrado na Figura 1. As amostras foram coletadas a cada 10 min e analisadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de $\lambda = 420$ nm e $\lambda = 580$ nm para determinação da curva de descolorimento do efluente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados de caracterização analítica dos efluentes estudados a partir de amostragem composta.

Tabela 1: Caracterização do efluente equalizado da indústria têxtil estudada.

Parâmetros	Efluente Bruto	Limites – Resolução Consema** 128/06*
DBO (mg L ⁻¹)	404,2	110
DQO _D (mg L ⁻¹)	214,6	-
DQO _T (mg L ⁻¹)	609	330
COT (mg L ⁻¹)	1096	-
SST (mg L ⁻¹)	248	125
Turbidez (NTU)	246	
Temperatura (°C)	25,8	< 40
NH ₄ -N (mg L ⁻¹)	13,2	20
NH ₄ (mg L ⁻¹)	16,4	-
NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	1,4	-
NO ₃ (mg L ⁻¹)	5	-
pH	9-10	6-9
Cor Aparente Abs ($\lambda = 420$ nm)	1,115	não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor.
Cor Aparente Abs ($\lambda = 580$ nm)	1,309	não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor.

Vazão de até 200 m³ dia⁻¹, ** CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – ONSEMA, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Os dados de caracterização da Tabela 1 demonstram que os principais impactos ambientais dos efluentes têxteis são o consumo de oxigênio dissolvido e a carga de corantes associados às medidas de absorvância. Em trabalhos anteriores (JACHETTI, 2007) também foram identificados dados de ecotoxicologia com valores de EC₅₀ < 65, o que indicou condição tóxica para o efluente bruto estudado. Neste trabalho a principal preocupação foi à adequação da redução de Cor, DQO e DBO, pois os estudos de Jachetti (2007) demonstraram também que somente a eletroflotação, em 60 minutos, não é suficiente para atendimento a legislação vigente quanto ao consumo de oxigênio dissolvido.

Para determinar o melhor método de tratamento do efluente têxtil, visando especialmente às reduções de Cor Aparente foram testados os métodos para integração com a eletroflotação: UV; O₃ e UV/O₃ (Figura 2). Os estudos de tendências de redução de cor constituíram a primeira etapa de avaliação para seleção de processo integrado. O descolorimento mais eficiente que a fotoirradiação foi observado durante a ozonização em meio alcalino. Neste caso, os mecanismos radicalares de geração de HO[•] e a ozonização direta contribuíram para o melhor desempenho do processo. No entanto, os percentuais de redução são baixos, revelando a resistência da fração de corantes para a oxidação. A taxa de transferência de ozônio para o líquido foi de 1.141,08 mg de O₃ h⁻¹, o que equivale a mais de 90% de transferência.

Apesar da absorvância na região do ultravioleta, a fração de corantes não foi degradada, o que associa-se a ausência de clivagem fotoquímicas. Não foram feitos testes em outras faixas de pH porque a solubilidade dos corantes é maior na faixa de pH= 9, favorecendo os mecanismos de degradação fotoquímica e oxidação. Ademais, a estratégia de tratamento consistiu em manter o pH do efluente para não adicionar novos custos operacionais (JACHETTI, 2007).

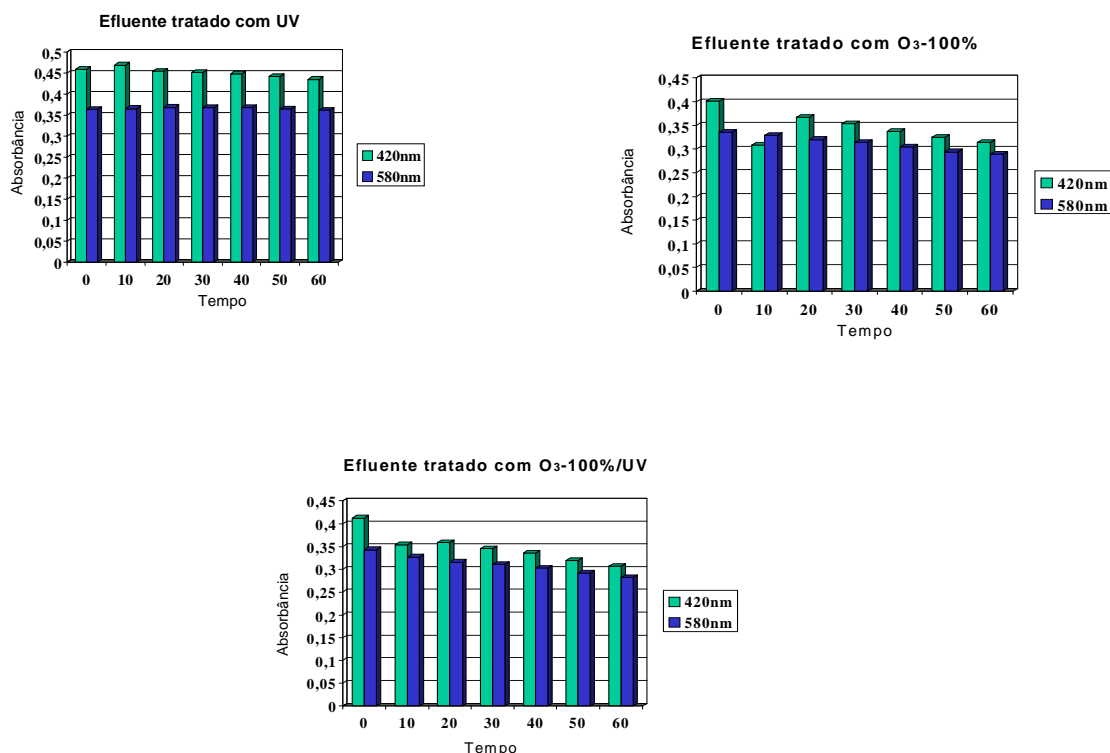


Figura 2: Ensaios preliminares de redução de cor aparente visando otimização das combinações UV (30 W e $\lambda = 254$ nm) e O₃.

Através das análises dos resultados obtidos pode-se concluir que o processo que empregou a ozonização/UV mostrou-se mais eficiente no descolorimento do efluente têxtil.

Este comparativo dos processos UV, O₃ e UV/O₃ pode ser melhor observado quando da comparação dos coeficientes angulares obtidos via regressão linear das curvas log de absorvância versus tempo. Os valores e as curvas são apresentados na Tabela 2 e Figura 3.

Tabela 2: Curvas de regressão Linear comparativa dos métodos UV, O₃ e UV/O₃

Processo	Curva
UV	$\text{Log } Y = -0,43504 + (-0,00005) X$
O ₃	$Y = -0,46839 + (-0,00133) X$
UV/O ₃	$Y = -0,46988 + (-0,00125) X$

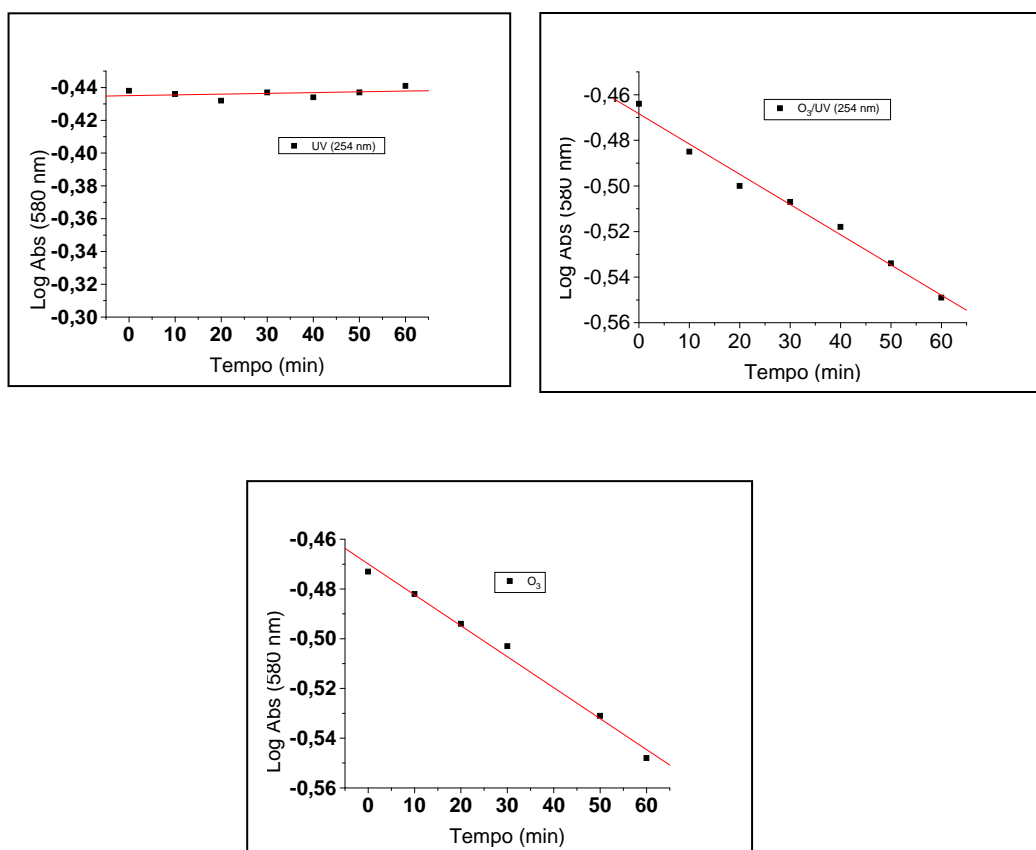


Figura 3:. Curvas de descolorimento de log Abs versus tempo.

Considerando-se os melhores desempenhos dos métodos de fotoozonização e ozonização em meio alcalino, assim como as potencialidades das combinações $\text{Fe}^{2+}/\text{UV}/\text{O}_3$, nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os resultados dos processos EF + O_3 e EF + UV/O_3 .

Tabela 3: Resultados dos ensaios de tratamento dos efluentes têxteis por EF + O_3 e EF + UV/O_3 .

Parâmetros	Efluente Bruto (mg L ⁻¹)	Efluente Tratado – $\text{O}_3/100\% + \text{Eletroflotação}$ (mg L ⁻¹)	Efluente Bruto (mg L ⁻¹)	Efluente Tratado – Eletroflotação + $\text{UV}/\text{O}_3-100\%$ (mg L ⁻¹)
Cloreto	1156,4	918,2	2144	1687,4
DBO ₅	315	174	72,9	37
DQO	927	527	1062	510
P _{TOTAL}	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
NTK	18,8	11,3	21,5	14,5

Como se pode observar, na Tabela 3, os valores de DBO₅ e DQO tiveram reduções em seus níveis entre 45-50%, já o Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) apresentou redução de até 40% para o efluente EF + $\text{UV}/\text{O}_3-100\%$; os demais parâmetros demonstraram reduções muito baixas ou nulas.

**Tabela 4: Resultados dos ensaios de tratamento dos efluentes têxteis por EF e EF + H₂O₂.**

Parâmetros	Efluente Bruto (mg L ⁻¹)	Efluente Tratado – Eletroflotação (mg L ⁻¹)	Efluente Bruto (mg L ⁻¹)	Efluente Tratado – Eletroflotação + H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)
Cloreto	2123,2	2579,8	1769	1632
DBO ₅	465	78	172	98
DQO	609	500	589	297
P _{TOTAL}	0,2	< 0,01	0,2	< 0,01
NTK	22	10,2	24,7	15,1

Se compararmos os valores, da Tabela 4, para os efluentes tratados, observa-se que o método que obteve melhor desempenho foi o que sofreu a adição de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), apresentando reduções de DBO₅ e DQO em torno de 45%. O que leva a acreditar que o processo de eletroflotação, quando combinado com estes processos (POA's), sofre elevações consideráveis em seu desempenho.

CONCLUSÕES

Conclui-se desta forma que o processo de eletroflotação apresentou valores significativos na redução de parâmetros como Cor aparente ($\lambda = 420$ e 580 nm), DBO, DQO e NTK, especialmente para a combinação EF + H₂O₂/HO[•].

Os processos de O₃ e O₃/UV combinados com a eletroflotação não apresentaram melhorias significativas nas reduções de valores dos parâmetros analisados, salientando que estes ensaios foram todos realizados em pH= 9-10, sendo esta uma condição estabelecida em estudos prévios por Jachetti (2007) que apontou maior eficiência do processo de eletroflotação. Optou-se também por trabalhar em meio alcalino (pH original do efluente) para se evitar adição de mais custos operacionais, porém para estudos posteriores cabe a investigação dos processos combinados de eletroflotação, ozonização e ozonização/UV fazendo variações de pH a fim de verificar a possibilidade de acoplamento destes processos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRESAOLA Jr. R.; CANTELLI, D. L. Tratamento de efluentes líquidos de uma indústria têxtil e seu reuso. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2000).
2. BRILLAS, E.; Boye, B.; BANÔS, M. A.; CALPE, J. C.; GARRIDO, J. A. Electrochemical degradation of chlorophenoxy and chlorobenzoic herbicides in acidic aqueous medium by the peroxi-coagulation method. *Chemosphere*. Vol. 51 (2003) 227–235.
3. BRILLAS, E.; CASADO, J. Aniline degradation by Electro-Fenton_ and peroxi-coagulation processes using a flow reactor for wastewater treatment. *Chemosphere*. Vol. 47 (2002) 241–248.
4. CAN, O.T.; KOBAYASHI, M.; DEMIRBAS, E.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. *Chemosphere*. Vol. 62 (2006) 181–187.
5. APHA/AWWA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21º ed, Washington, 2005.
6. JACHETTI, D. M. *Eletroflotação no Tratamento de Efluentes da Renovação do Tingimento Têxtil*. 2007. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2007