

II-034 - ESTUDO DA TOXICIDADE DE EFLUENTE TÊXTIL SUBMETIDO À PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO

Rogério Ferreira da Silva⁽¹⁾

Bacharel em Química pela Universidade Federal de Pernambuco, Licenciado em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, possui Mestrado e Doutorado em Química pela Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente, é professor de Química e Coordenador Substituto do Curso Técnico de Agroindústria do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus Belo Jardim.

Gilson Lima da Silva⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Pernambuco, Mestre em Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco e Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste.

Victória Fernanda Alves Milanez⁽³⁾

Graduanda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco no Centro Acadêmico do Agreste.

Ricardo Oliveira da Silva⁽⁴⁾

Licenciado em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Mestre e Doutor em Química pela Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Pernambuco.

Endereço⁽¹⁾: Av. Sebastião Rodrigues da Costa, s/n - São Pedro, Belo Jardim - PE, 55145-065 – Brasil – Tel: +55 (81) 986508863 – e-mail: rogerio.silva@belojardim.ifpe.edu.br

RESUMO

As indústrias têxteis são importantes na economia de um país devido à geração de recursos e constituem indústrias que consomem bastante água, produzindo efluentes líquidos potencialmente poluidores. Entre as substâncias tóxicas despejadas em corpos receptores, destacam-se os corantes. Diversos estudos buscam o desenvolvimento de formas eficientes de tratamento, sejam biológicos ou químicos. Os processos oxidativos avançados estão entre os tratamentos químicos mais amplamente pesquisados. Os testes de toxicidade são utilizados com a finalidade de verificar a eficácia destes tratamentos antes do despejo dos efluentes tratados no meio ambiente. A toxicidade dos efluentes é testada com uma série de organismos. Neste trabalho, o objetivo foi verificar a eficiência do processo Foto-Fenton e verificar a toxicidade usando sementes de alfafa, antes e depois do tratamento oxidativo avançado, o efluente analisado foi de uma indústria têxtil de beneficiamento de jeans do agreste pernambucano, pertencente ao Arranjo Produtivo Local. Contudo, constatou-se a redução da toxicidade do efluente têxtil após tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Toxicidade, Efluente têxtil, Foto-Fenton.

INTRODUÇÃO

As indústrias de diferentes segmentos descarregam elevada quantidade de contaminantes no meio ambiente, sobretudo nos corpos hídricos. Esta contaminação afeta tanto diretamente quanto indiretamente os seres vivos ao longo da cadeia alimentar, o que torna os poluentes, biodisponíveis, contaminando, inclusive, os seres humanos. Neste sentido, utilizam-se testes de toxicidade para avaliar a qualidade do efluente e também a viabilidade e degradabilidade de produtos químicos domésticos e industriais (BELTRAMI *et al.*, 1999). Os efluentes industriais, principalmente, os provenientes da indústria têxtil, são misturas de componentes tóxicos que, junto à diversidade do meio receptor, torna difícil a determinação da toxicidade de cada componente. A análise da toxicidade no meio aquático é um parâmetro importante na avaliação da qualidade e na quantificação do risco ambiental associado aos poluentes, complementando a análise de resíduos (REEMTSMA, 2001).

Devido à complexidade dos meios e das características dos testes de toxicidade, estes podem ser executados por diversas espécies biológicas. Garcia *et al.* (2013) relatam uma série de aplicações, destacando-se: plantas (CASA *et al.*, 2003; GARCIA *et al.*, 2009), bactérias (OTURAN *et al.*, 2008), células (COLOVIC *et al.*,

2010), crustáceos (SAUER *et al.*, 2006), Cladocera-Daphnias e ceriodaphnias (RIZZO, 2011) e peixes (FERNANDEZ-ALBA *et al.*, 2002).

A questão do reuso de água tem sido amplamente discutida mediante a crise hídrica atual, sendo utilizados diversos processos físico-químicos para esse fim, como: coagulação, floculação, adsorção, filtração com membranas e os processos oxidativos avançados (POA) (GOGATE, 2004; LUSTOSA, 2013; PATEL & RESHMA, 2013). Os POAs têm sido bastante aplicados, minimizado de forma eficiente a presença de resíduos aquosos (APAYDIN, 2014). Tais processos mineralizam e eliminam componentes tóxicos, destruindo as espécies orgânicas poluentes (FORGACS, *et al.* 2004; SHU, *et al.* 2005; KLAVARIOTI *et al.*, 2009). Um desses POAs é o processo foto-Fenton, que consiste da utilização de peróxido de hidrogênio, sais de ferro e luz, produzindo radicais hidroxilas que agem na mineralização dos compostos recalcitrantes. A determinação da toxicidade é importante pois indica se os produtos de degradação são mais ou menos tóxicos que o efluente original. O grau de toxicidade da amostra é avaliado pelo índice de germinação (IG), que é a relação entre o comprimento médio das sementes, expresso pelo Índice de Crescimento Relativo (ICR) e a média de sementes que germinaram. O ICR é o crescimento médio da radícula no período do experimento. Segundo a ASTM (2003), para um índice de germinação ser considerado como ótimo, deve possuir valores acima de 55%. O índice de crescimento da radícula é dado pela equação 1 e o índice de germinação é dado pela equação 2 (Melo *et al.* 2009, OLIVEIRA, 2013).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade de dois efluentes, sendo um modelo e outro real, de uma indústria têxtil de beneficiamento de jeans do município de Caruaru, no agreste pernambucano. O teste de toxicidade, utilizando sementes de alface *Lactuca Sativa L.*, foi aplicado antes e após o tratamento dos efluentes com o processo foto-Fenton.

MATERIAIS E MÉTODOS

O tratamento do efluente seguiu um planejamento fatorial 2^3 , cujas variáveis foram sal de ferro (1 mg ou 2 mg), volume de peróxido 30% (600 μ L ou 900 μ L) e tempo de exposição à luz (30 minutos ou 90 minutos), sendo luz artificial para o efluente modelo (Figura 1) e luz solar para o efluente real. Para o efluente modelo, foram utilizadas três lâmpadas fluorescentes com potência de 20 W cada.

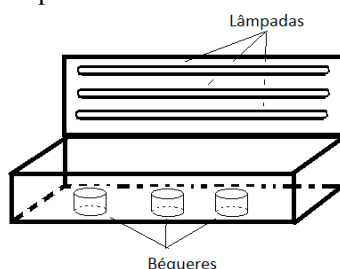


Figura 1: Reator de bancada com lâmpada fluorescente branca.

O efluente modelo foi uma solução aquosa de 1000 mg.L⁻¹ do corante vermelho drimaren CL-5B, o qual é muito utilizado na indústria têxtil. O efluente real foi coletado antes do tratamento físico-químico, que é normalmente realizado pela indústria têxtil. Para verificar o efeito da oxidação sobre o efluente modelo e real, utilizou-se um espectrofotômetro UV-Vis Thermo, modelo *Genesis 10*, um colorímetro Hach DR/2010 e um turbidímetro 2100 P Hach.

A toxicidade aguda de efluentes líquidos foi estimada por ensaio com sementes de alface. As sementes da alface da variedade *Lechuga Simpson (Lactuca Sativa L.)* foram expostas a diferentes concentrações do efluente líquido estudado, utilizando placas de Petri e papel filtro como meio de suporte. Estas sementes são facilmente encontradas em sementeiras e foram utilizadas como descrito no método ASTM E 1963-02 (2003) descrita e adaptada por Andrade (2010). O teste ecotoxicológico foi realizado para os efluentes modelo e real.

Para cada teste foram utilizadas 10 (dez) sementes, que foram adicionadas às placas de Petri sobre papel de filtro. Foram adicionados 5 mL do efluente *in natura* ou diluído em água destilada, variando a concentração do mesmo em 1%, 3%, 10% e 30%. Todos os ensaios foram realizados em duplicata. Como controle negativo foi utilizada água destilada. Os resultados foram expressos na forma de crescimento médio das raízes (em cm), Índice Relativo de Crescimento (ICR) e Índice de Germinação (IG).

As sementes foram incubadas por sete dias, mantendo-as a temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Uma avaliação qualitativa da fitotoxicidade foi realizada comparando os ensaios de toxicidade dos efluentes modelos, bruto e diluído, com o ensaio de toxicidade do efluente modelo tratado com processo foto-Fenton e luz artificial. Avaliou-se a germinação das sementes a partir do quinto dia (120 h) de incubação das sementes. Mensurou-se a quantidade de sementes que sofreram protrusão e o alongamento das raízes, considerando germinação aquelas que apresentaram raízes iguais ou superior a 2 mm (BAYDUM, 2012). Procedimento semelhante foi utilizado na investigação da toxicidade do efluente real.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do planejamento fatorial indicou que a melhor condição para os ensaios foi 600 μL de peróxido de hidrogênio, 2 mg de sulfato ferroso heptaidratado e 90 minutos de exposição à luz, na qual foram observadas redução de cor e turbidez entre 80 e 90%. Portanto, essa condição foi utilizada nos ensaios. A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de germinação das sementes.

Tabela 1: Número médio de sementes que germinaram e o crescimento radicular (em cm).

Semente	H ₂ O	AT*	PT**1%	PT3%	PT10%	PT30%	PT100%
Germinação	8,0	7,5	10,0	10,0	10,0	10,0	0,0
Crescimento radicular (cm)	2,2	1,8	2,3	2,1	2,3	1,3	0,0

*AT - Antes do tratamento; ** PT – Pós-tratamento

Verifica-se, na Tabela 1, que a germinação pós-tratamento, quando as concentrações de efluente eram iguais a 1, 3, 10 e 30%, foi superior a observada para o controle negativo (água destilada), indicando que os subprodutos da degradação não possuem toxicidade para impedir a germinação das sementes de alface nas concentrações testadas. No entanto, quando o ensaio foi realizado com o efluente bruto (100%), nenhuma semente germinou, indicando a necessidade de diluição para minimizar o efeito tóxico. Este fato pode ser corroborado pelo trabalho de Palácio (2012), que realizou testes toxicológicos, com sementes de alface, em efluente têxtil após tratamento com o processo foto-Fenton com luz artificial e constatou que a toxicidade do efluente não reduziu. O crescimento radicular do efluente antes do tratamento foi menor que o crescimento observado para o controle negativo. Os ensaios contendo 1, 3 e 10% de efluente mostraram redução na toxicidade frente às sementes de alface, uma vez que apresentaram valores próximos ao observado para o controle negativo. No entanto, o crescimento médio diminuiu nas concentrações mais altas, indicando que os subprodutos formados, quando mais concentrados, interferem no crescimento e na germinação das sementes. O crescimento radicular das sementes no efluente antes e após o tratamento é mostrado na Figura 2.

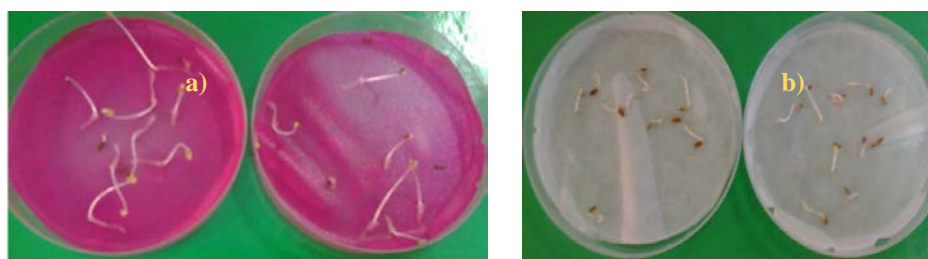


Figura 2: Teste de toxicidade com semente de alface, a) efluente bruto e b) efluente tratado

Uma análise mais detalhada foi realizada com base no índice de crescimento relativo (ICR) e o índice de germinação (IG), conforme descrito pelas equações 1 e 2. Estes dados são apresentados na Tabela 2 e na figura 4.

Tabela 2: Valores do IG (%) e do ICR para sementes de alface *Lactuca Sativa*.

Amostra	ICR	IG (%)
AT*	0,62	56,00
PT**1%	1,05	105,18
PT3%	0,95	95,24
PT10%	1,02	102,38
PT30%	0,59	59,21
PT100%	0,00	0,00

*AT - Antes do tratamento; ** PT – Pós-tratamento

A análise da Figura 4 permite verificar que para semente de alface ocorre uma germinação melhor e um maior crescimento radicular após o tratamento do efluente. O gráfico mostra que a partir da concentração de 10 % ocorre uma diminuição tanto da germinação quanto do crescimento radicular, embora em 30 % a germinação seja considerada ótima, segundo a ASTM (2003). Entretanto, vale salientar que o efluente quando lançado ao corpo hídrico sofre diluição, assemelhando-se as condições dos testes toxicológicos e com as concentrações dos efluentes inferiores a 100 %, desta forma, o crescimento radicular assemelha-se ao do controle negativo.

O efluente real tratado com o processo foto-Fenton solar apresentou baixa toxicidade em relação aos bioensaios realizados com sementes de alface, as sementes germinaram em diferentes concentrações do efluente real, os testes foram realizados em concentrações de 100%, 30%, 3% e 1%, em todas houve germinação na maioria das sementes. Os dados do teste de toxicidade realizado para o efluente real estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Ensaio de germinação (número médio de sementes que germinaram) e de crescimento radicular (em cm).

Semente	H ₂ O	AT*	PT**1%	PT3%	PT30%	PT100%
Germinação	9,0	0,0	7,5	10,0	8,0	9,0
Crescimento radicular (cm)	6,2	0,0	6,6	6,6	5,8	4,5

*AT - Antes do tratamento; ** PT – Pós-tratamento; ***DP – Desvio padrão

Os dados da Tabela 3 apresentam o número de sementes que germinaram e as respectivas médias. Verifica-se nesta tabela que, antes do tratamento do efluente real nenhuma semente germinou. Em todas as concentrações, inclusive, no controle negativo, houve germinação de praticamente todas as sementes nos testes em duplicata. Um dado importante é que não há necessidade de diluição do efluente após tratamento, pois mesmo sem tratamento, o efluente real tratado não apresenta toxicidade para o meio ambiente. Vale salientar que foram medidos os comprimentos das raízes em cada Placa de Petri analisada. Observa-se que na concentração de 100% do efluente tratado, houve uma diminuição no crescimento radicular, embora quase todas as sementes tenham germinado, como foi constatado na Tabela 3. O crescimento radicular das sementes no efluente antes e após o tratamento é mostrado na Figura 3.

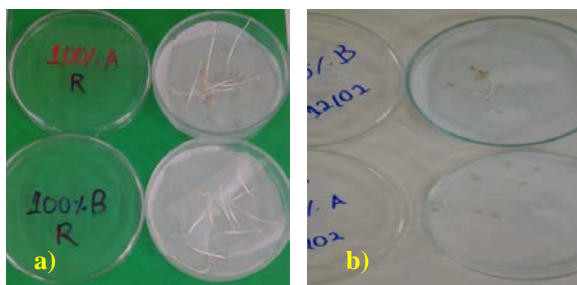


Figura 3: Germinação das sementes (a) Efluente real tratado e (b) efluente real bruto

A toxicidade do efluente real sem tratamento pode ser verificada na Figura 5b, pois não houve germinação de nenhuma semente, pois segundo Baydun (2012), só considera germinação após o crescimento superior a 2 cm. Uma análise mais detalhada do teste de toxicidade é feita na Tabela 4, a qual mostra o índice de crescimento relativo e o índice de germinação antes e após o tratamento.

Tabela 4: Valores do IG (%) e do ICR para sementes de alface *Lactuca Sativa*.

Amostra	ICR	IG (%)
H ₂ O	1,00	100,00
AT*	0,00	0,00
PT**1%	1,06	88,44
PT3%	1,07	118,92
PT30%	0,94	83,78
PT100%	0,82	82,09

*AT - Antes do tratamento; ** PT – Pós-tratamento

Os valores obtidos para o ICR e IG (%) estão apresentados na Tabela 4, segundo Young (2012), valores de índice de germinação abaixo de 80 % indicam inibição do crescimento, porém valores de índice de germinação apresentados na Tabela 6 são superiores a 80%, indicando que o tratamento aplicado ao efluente real não é tóxico para a variedade de semente de alface utilizado mesmo na concentração de 100%, ou seja, mesmo sem diluir, a amostra não apresenta toxicidade. Foram analisados o índice de germinação (IG) e o índice de crescimento da radícula (ICR), sendo todos os resultados considerados ótimos, pois segundo a ASTM (2003) apud Andrade (2010), um índice de germinação superior a 55% é considerado ótimo, no teste realizado, todos os índices de germinação obtidos foram superiores a 80 %. O resultado de toxicidade realizado com efluente real após tratamento com o processo foto-Fenton solar evidência que o descarte num corpo hídrico não afetaria a vida aquática, devido à baixa toxicidade observada.

CONCLUSÕES

Neste estudo, demonstrou-se que o processo foto-Fenton com luz artificial e solar aplicado a um efluente têxtil modelo e real, respectivamente, resulta num efluente tratado com baixa toxicidade. O foco do trabalho foi avaliar a toxicidade final, com sementes de alface *Lactuca Sativa*, após o tratamento foto-Fenton. Constatou-se a redução significativa da toxicidade dos efluentes no estado bruto, mostrando que as sementes de alface podem ser utilizadas para avaliar a toxicidade após o tratamento de efluentes têxteis com o processo foto-Fenton. De modo geral, a investigação da toxicidade com outros tipos de organismos é necessária, bem como o estudo de formas de tratamento de efluentes e sua reutilização, uma vez que a crise hídrica é uma realidade e não pode ser desconsiderada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, V. T. ANDRADE, B. G., COSTA, B. R. S., PEREIRA, O. A., DEZZOTTI, M. Toxicity assessment of oil field produced water treated by evaporative processes to produce water to irrigation, **Water Science and Technology**, v.62, n.3, p.693-700, 2010.
2. BAYDUM, V. P. A., DANTAS, R. F., TEIXEIRA, A., PACHECO, J. G. A., SILVA, V. L. Pre-treatment of propranolol effluent by advanced oxidation processes, **Afinidad**, v.69, n.559, p.211-216, 2012.
3. BELTRAMI, M., BAUDO, R., & ROSSI, D. In situ tests to assess the potential toxicity of aquatic sediments. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v.2, n.4, p.361-365, 1999.
4. CASA, R., ANNIBALE, A. D., PIERUCCETTI, F., STAZI, S. R., SERMANI, G. G., CASCIO, B. L. Reduction of the phenolic components in olive mill wastewater by an enzymatic treatment and its impact on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) germinability. **Chemosphere**, v.50, n.8, p.959-966, 2003.
5. COLOVIĆ, M., KRSTIĆ, D., PETROVIĆ, S., LESKOVAC, A., JOKSIĆ, G., SAVIĆ, J., et al. Toxic effects of diazinon and its photodegradation products. **Toxicology Letters**, v.193, n.1, p.9- 18, 2010.
6. FERNANDEZ-ALBA, A. R., HERNANDO, D., AGUERA, A., CÁCERES, J., MALATO, S. Toxicity assays: a way for evaluating AOPs efficiency. **Water Research**, v.36, n.17, p.4255-4262, 2002.
7. GARCIA, J. C., FREITAS, T. K. F. S., PALÁCIO, S. M., AMBRÓSIO, E., SOUZA, M. T. F., SANTOS, L. B., ALMEIDA, V. C., SOUZA, N. E. Toxicity assessment of textile effluents treated by advanced

- oxidative process (UV/TiO₂ and UV/TiO₂/H₂O₂) in the species *Artemia salina* L. **Environ Monit Assess**, v.185, p.2179-2187, 2013.
8. GARCIA, J. C., SIMIONATO, J. I., SILVA, A. E. C., NOZAKI, J., SOUZA, N. E. Solar photocatalytic degradation of real textile effluents by associated titanium dioxide and hydrogen peroxide. **Solar Energy**, v.83, n.3, p.316–322, 2009.
 9. MELO, S. A. S., TROVÓ, A. G., BAUTITZ, I. R., NOGUEIRA, R. F. P. Degradação de Fármacos Residuais por Processos Oxidativos Avançados. **Química Nova**, v.32, n.1, p.188-197, 2009.
 10. OLIVEIRA, L. C. A., FABRIS, J. D., PEREIRA, M. C. Óxidos de ferro e suas aplicações em processos catalíticos: uma revisão, **Química Nova**, v. 36, n.1, p.123-130, 2013.
 11. OTURAN, N., TRAJKOVSKA, S., OTURAN, M. A., COUDERCHET, M., AARON, J. J. Study of the toxicity of diuron and its metabolites formed in aqueous medium during application of the electrochemical advanced oxidation process “electro-Fenton”. **Chemosphere**, v.73, n.9, p.1550–1556, 2008.
 12. PALÁCIO, S. M., NOGUEIRA, D. A., MANENTI, D. R., MÓDENES, A. N., QUIÑONES, F. R. E., BORBA, F. H. Estudo da Toxicidade de Efluente Têxtil Tratado por Foto-Fenton Artificial Utilizando as Espécies *Lactuca Sativa* e *Artemia Salina*, **Engevista**, v. 14, n. 2. p. 127-134, 2012.
 13. REEMTSMA, T. Prospects of toxicity-directed wastewater analysis. **Analytica Chimica Acta**, v. 426, n.2, p.12, 279–287, 2001.
 14. RIZZO, L. Bioassays as a tool for evaluating advanced oxidation processes in water and wastewater treatment. **Water Research**, v.45, n.15, p.4311–4340, 2011.
 15. SAUER, T. P., CASARIL, L., OBERZINER, A. L. B., JOSÉ, H. J., MOREIRA, R. F. P. M. Advanced oxidation processes applied to tannery wastewater containing Direct Black 38—elimination and degradation kinetics. **Journal of Hazardous Materials**, v.135, n.1–3, p.274–279, 2006.
 16. YOUNG, B. J.; RIERA, N. I.; BEILY, M. E.; BRES, P. A.; CRESPO, D. C.; RONCO, A. E. Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.76, p.182-186, 2012.