

## Tratamento de efluente têxtil através de processo oxidativo avançado (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/UV)

### *Treatment of textile effluent through advanced oxidative process (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/UV)*

Fernando F. Dias<sup>1</sup>; Pedro B. V. Silva<sup>1</sup>; André F. de M. S. Santos<sup>1</sup>; José G. P. Andrade<sup>2</sup>; Izabelle L. T. Albuquerque<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

<sup>3</sup> Colaboradora independente, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Todos autores contribuíram de forma igualitária

#### Palavras-Chave:

reator  
fotocatálise  
POA  
tratamento  
custo

#### RESUMO

Em toda indústria ocorre grande geração de efluentes, geralmente com alta demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Tratamentos convencionais permitem apenas a transferência de fase do poluente, resolvendo o problema de maneira parcial. Os processos oxidativos avançados (POA), que se baseiam na formação de radicais hidroxilas ( $\bullet\text{OH}$ ) de alto poder oxidante, tem ganhado cada vez mais espaço como técnica de tratamento de efluente. Para esse trabalho foi utilizado a técnica de fotocatalise heterogênea (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/UV) em reator tubular do tipo anular assistido por lâmpada de luz negra. Para otimização do processo foi utilizado planejamento fatorial com 2 variáveis independentes, concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e TiO<sub>2</sub>. Esse trabalho teve o objetivo de estudar o tratamento de efluente industrial através de POA do tipo fotocatalise heterogênea, com a finalidade de reúso de água na indústria ou para outros fins. A solução teste utilizada experimentalmente foi produzida em laboratório com o corante remazol preto B 133%. As melhores condições de degradação de corante foram obtidas quando utilizadas as concentrações de 200 mM e 0,5 g/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e TiO<sub>2</sub>, respectivamente. Na análise preliminar de custo obteve um valor estimado de US \$ 72,93/m<sup>3</sup> de efluente bruto, levando-se em consideração custos de reagentes químicos, energia e equipamentos.

#### Key-word

Reactor  
Photocatalysis  
AOP  
treatment  
cost.

#### ABSTRACTS

In all industry, there is a large generation of effluents, generally with high biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). Conventional treatments allow only the phase transfer of the pollutant, solving the problem in a partial way. The advanced oxidative processes (AOP), which are based on the formation of hydroxyl radicals ( $\bullet\text{OH}$ ) of high oxidizing power, have gained more and more space as an effluent treatment technique. For this work, the heterogeneous photocatalysis technique (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/UV) was used in an annular tubular reactor assisted by a black light bulb. For optimization of the process, factorial planning was used with 2 independent variables, concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>. This work has the objective of studying the treatment of industrial effluent through POAs of the heterogeneous photocatalysis type, for the purpose of water reuse in industry or for other purposes. The test solution used experimentally was produced in the laboratory with the black remazol dye B 133%. The best conditions of dye degradation when used were the concentrations of 200 mM and 0.5 g/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>, respectively. In the cost analysis was estimated the value of US \$ 72.93/m<sup>3</sup>, taking into consideration costs of chemistry, energy and equipment.

#### Informações do artigo

Recebido: 20 Agosto, 2018

Aceito: 17 Setembro, 2018

Publicado: 30 Setembro, 2018

## Introdução

No interior do Estado de Pernambuco tem a tradição de lavanderias para tingimento de vestuários. No Agreste Pernambucano, por exemplo, se concentra um grande “Polo Têxtil”, nos municípios de Toritama e Santa Cruz do Capibaribe.

As empresas deste polo produzem grande quantidade de efluentes e resíduos que são descartados diretamente nos mananciais, trazendo grande prejuízo à comunidade local.

A geração de águas residuais é uma das principais questões de sustentabilidade ambiental nos setores de industriais. Os constituintes dos efluentes dos processos são frequentemente complexos e requerem alta energia e processamento atenderem as crescentes exigências da legislação ambiental.

As substâncias de difícil degradação são chamadas de compostos recalcitrantes ou refratários, sendo estes, não degradados pelos microrganismos normalmente presentes em sistemas biológicos de tratamento, nos usuais tempos de detenção hidráulica (TDH) aplicados, sendo então, lançados nos corpos hídricos receptores.

Devido ao efeito de acumulação, podem atingir concentrações superiores à dose letal de alguns organismos, como invertebrados e peixes, levando à ocorrência de morte. Além disso, os efeitos cancerígenos e mutagênicos eventualmente podem ser observados em humanos como resultados da bioacumulação ao longo da cadeia alimentar (RAWAT et al., 2018; DOLEZ e BENADDI, 2108).

Tratamento de efluente utilizando técnica físico-química convencional promove somente a transferência de fase do resíduo, resolvendo parcialmente o problema (BRITO e SILVA, 2012).

Avanços recentes no campo de tratamento físico-químico de águas residuárias têm levado à consolidação das técnicas fotoquímicas na degradação oxidativa de compostos orgânicos dissolvidos e dispersos como também refratário no meio aquoso, esses, geralmente, são referidos como processos oxidativos avançados (POA), que se baseiam na formação de radicais hidroxilas ( $\bullet\text{OH}$ ) de alto poder oxidante (MIKLOS et al., 2018).

A fotocatalise solar vem crescendo nos últimos anos e há muito tempo a energia solar é utilizada como fonte energética sendo aproveitada em processos de geração de calor e de temperatura e agora em processos para reações químicas (MACHADO et al., 2004).

Em países tropicais como o Brasil existe muita disponibilidade de energia solar por metro quadrado, entre valores de 2,5 e 7,5 KWh, dependendo da região e da estação do ano (GARCIA et al., 2009). Mesmo a energia solar sendo gratuita, renovável e ambientalmente uma fonte de energia limpa, ainda no Brasil é pouco utilizada (GARCIA et al., 2009).

Recentes estudos mostram que os POA apresentam uma boa alternativa para tratamento de um grande número de compostos não biodegradáveis e de alta toxicidade (ARSLAN-ALATON et al., 2009).

A oxidação catalítica de ácidos tartárico na presença de íon ferrosos e peróxido de hidrogênio foram relatados por Fenton a mais de um século e, somente, 40 anos após a primeira observação esse tipo de reação foi chamado de “reação de Fenton” (NOGUEIRA et al., 2007).

Os POA são técnicas baseadas na geração de espécies fortemente oxidantes (NOGUEIRA et al., 2007). O processo implica na formação de radical hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) que é um agente oxidante muito forte, com potencial de oxidação de  $E^\circ = 2,8 \text{ V}$ .

Esses radicais são capazes de oxidar compostos orgânicos por remoção de hidrogênio desencadeando uma série de reações de degradação oxidativa que podem conduzir à completa mineralização do contaminante (NOGUEIRA et al., 2007).

A grande vantagem dos POA, é que, durante o tratamento os poluentes são destruídos e não apenas transferidos de uma fase para outra como ocorre em alguns tratamentos convencionais. Isto os coloca como uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes (TROVÓ et al., 2009).

A fotoquímica abrange todos os aspectos da química e física de estados eletronicamente excitados da matéria, desde a sua criação até a sua eventual desativação de volta ao estado fundamental.

A fotocatalise é uma técnica promissora para a remediação e limpeza do meio ambiente e a pesquisa nessa área têm sido extensivamente estudadas nas últimas três décadas.

Atualmente as principais pesquisas e desenvolvimento dessa técnica são para a purificação do ar e para o tratamento de efluentes (BAYARRI et al., 2008). A Fotocatalise é um processos baseados em absorção de radiação por parte de uma espécie fotossensível, que nesse caso é o catalisador (ALBEROLA, 2008).

Ocorre quando um semiconductor do tipo calcogênico (óxidos como  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZrO}_2$  ou  $\text{CeO}_2$ , ou sulfetos como  $\text{CdS}$  ou  $\text{ZnS}$ .) é iluminado com fótons, proveniente de luz solar ou de fonte artificial, promovendo a excitação de elétrons da banda de valência (BV), formando uma lacuna ( $h^+$ ), para a banda de condução (BC), contendo elétrons ( $e^-$ ). Este processo gera assim um par elétron-lacuna ( $e^-/h^+$ ), chamada de energia de Bandgap ( $E_{bg}$ ) (EMELINE et al, 2009).

Os compostos orgânicos são oxidados através da catálise de reações químicas ocorridas nos sítios de oxidação e redução promovida pelo par  $e^-/h^+$ , além de reduzir metais dissolvidos e/ou outras espécies presentes (ZHANG et al, 2009).

Porém o par  $e^-/h^+$  podem se recombinar, o que significa que o elétron da banda de condução perdeu energia e voltou ao seu estado original na banda de valência liberando calor, provocando uma inconveniência na medida em que reduz os sítios ativos, o qual reduz também o rendimento quântico do processo (VELLA et al, 2010).

A fotocatalise com  $\text{TiO}_2$  vem sendo aplicada com bastante otimismo na tecnologia de oxidação avançada para a eliminação de contaminantes em baixa concentração.

O pH da solução é um parâmetro importante já que os óxidos dos semicondutores possuem natureza anfótera, isto é, que pode se comportar como um ácido ou como uma base.

Como o pH da solução é determinante na carga superficial do semiconductor, diversos autores mediram experimentalmente o ponto de carga zero (PCZ) do fotocatalisador  $\text{TiO}_2$  (Degussa P-25), obtendo-se valores entre 6,3 e 7,3 (SCHRANK, 2003).

Um meio reacional com pH menor que o PCZ implica em carga superficial positiva, favorecendo a etapa de adsorção, enquanto que em pH acima do PCZ a carga superficial é negativa, o que desfavorece a etapa de adsorção (SCHRANK, 2003).

O fotocatalisador pode ser utilizado no reator de duas formas: em suspensão ou imobilizado.

Em forma de suspensão tem como vantagem a grande área superficial do catalisador disponível para a reação como também a eficiência no processo de transferência de massa no sistema em comparação ao fotocatalisador imobilizado (SILVA, 2011).

Para a utilização de alta eficiência do catalisador em suspensão é necessário que as partículas de  $\text{TiO}_2$  sejam pequenas para oferecer uma alta área superficial.

Assim, o objetivo desse trabalho é o tratamento de efluente têxtil através de processo oxidativo avançado do tipo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$ .

## Material e Métodos

**Efluente sintético:** O efluente utilizado no trabalho foi produzido no laboratório por meio da dissolução do corante Remazol preto B 133% (RB5) em água destilada, numa concentração de 25 ppm.

**Fotocatálise heterogênea:** Foram utilizados Peroxido de Hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ); Dióxido de Titânio ( $\text{TiO}_2$ ); Solução inibidora (sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) e Iodeto de Potássio (KI)).

**Equipamentos:** Foi utilizada uma balança analítica, modelo AY220, marca SHIMADZU; pHmetro Tecnal TEC-5; espectrofotômetro UV-Vis, marca Spectrum, SP- 2000 UV e uma bomba de vácuo da marca Primatec.

**Aparato experimental utilizado para a fotocatalise:** O processo da fotocatalise heterogênea ocorreu em um reator tubular do tipo anular assistido por lâmpada de luz ultravioleta, esquematizado na Figura 1.

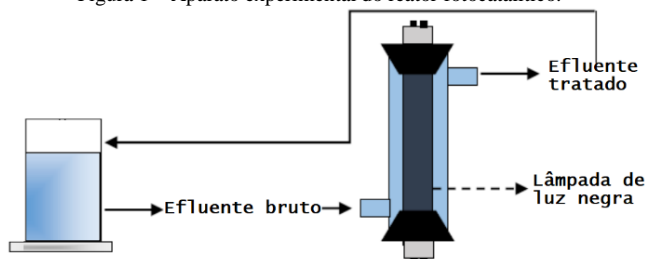
Para cada experimento foram colocados 800mL do efluente sintético a temperatura ambiente no tanque de circulação do reator tubular, juntamente com o volume de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e a massa de  $\text{TiO}_2$ .

O efluente circulou durante uma hora sob radiação da lâmpada de luz ultravioleta (8 W).

Para produzir a circulação do meio uma bomba centrífuga de 220 W foi acoplada, com um fluxo de 6 L/min.

Durante o processo, amostras de 10 mL foram coletadas nos tempos de 0, 15, 30 e 60 minutos, a fim de observar a degradação do corante com o tempo. Em seguida, as amostras foram filtradas em papel filtro quantitativo C40 seguiram para a análise espectrofotométrica.

Figura 1 – Aparato experimental do reator fotocatalítico.



Fonte: O Autor

As leituras no espectrofotômetro foram realizadas em comprimento de onda de maior absorção (595 nm) e a resposta dada em percentual de degradação/remoção de corante RB5,  $(1 - Abs/Abs_0) \times 100$ . Sendo  $Abs_0$  a absorbância no tempo zero e  $Abs$  a absorbância no tempo instantâneo (0, 15, 30 e 60 minutos).

**Planejamento Fatorial:** Para a realização dos ensaios do processo de fotocatalise heterogênea foi utilizado um planejamento fatorial fracionário  $2^2$ , utilizando como variáveis independentes as concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $\text{TiO}_2$ , como observado na Tabela 1.

Os resultados foram analisados estatisticamente e observados os pontos de melhor resposta.

Tabela 1 – Planejamento fatorial fracionário ( $2^2$ ).

Ensaio	$\text{H}_2\text{O}_2$ , mM	$\text{TiO}_2$ , g/L
1	100	0,5
2	200	0,5
3	100	1,5
4	200	1,5
5	150	1
6	150	1
7	150	1

Fonte: O Autor

**Otimização do sistema:** utilizando o ponto de melhor resposta obtida no planejamento experimental, foram feitas algumas mudanças nas etapas de preparação para o processo, a fim de obter porcentagens maiores de degradação.

**Avaliação preliminar de Custo:** O custo do processo ( $C_p$ ) foi calculado como sendo a soma entre o custo elétrico ( $C_e$ ) e o custo com os reagentes ( $C_r$ ) na forma  $C_p = C_e + C_r$ .

Os cálculos foram feitos em dólar americano (US\$) com o valor de R\$ 3,50 do ano 2016.

## Resultados e discussões

Na Figura 2 pode ser observada a superfície de resposta, porcentagem de degradação do contaminante em função da concentração de  $\text{TiO}_2$ (g/l) e  $\text{H}_2\text{O}_2$ (mM), obtida através do planejamento experimental.

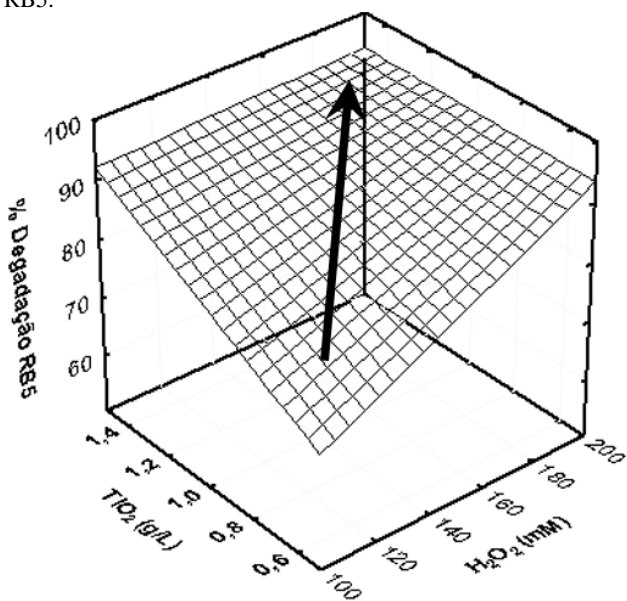
Na Figura 2 pode ser observada a superfície de resposta dos resultados obtidos através dos ensaios da Tabela 1.

Essa superfície de resposta é para o tempo de 60 minutos, e pode ser visto que há uma tendência de maior degradação do corante RB5 quando se aumenta as concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $\text{TiO}_2$ .

Em especial, foi observado que nos pontos com as maiores concentrações de ambos reagentes, obteve-se porcentagem de degradação de 90% aproximadamente.

Esses resultados estão de acordo com os relatos por GIRALDO (2005), na degradação de efluente têxtil, contendo o corante reativo vermelho recoltive em uma concentração de 100 mg/l.

Figura 2 – Superfície de resposta para a degradação de corante RB5.



Fonte: O Autor

O autor referido obteve uma porcentagem de aproximadamente 98% para a degradação do corante utilizando 100 mg/L de TiO<sub>2</sub> e 2% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sob radiação de luz solar em um período de 8 horas.

VIANNA (2008), estudando a degradação de corantes ácidos por processos oxidativos avançados, obteve um percentual de degradação de 100, 100 e 98% para os corantes Blue 9, Red 18 e Yellow 23, respectivamente utilizando um processo combinado de TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV.

Comparando a porcentagem de degradação dos mesmos corantes utilizando as tecnologias TiO<sub>2</sub>/UV e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV separadamente, foram encontrados resultados ligeiramente inferiores.

O mesmo autor calculou a eficiência fotônica aparente e encontrou valores mais elevados para o processo TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, indicando uma maior concentração de radicais hidroxila.

Pode ser observado ainda, que, quando se trabalha com a concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em 200mM, praticamente não há influência da concentração de TiO<sub>2</sub>.

Essa condição foi determinante para a escolha do ensaio de otimização, onde trabalhou-se com a menor concentração de TiO<sub>2</sub> (0,5 g/l) e a maior concentração do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (200 mM) visto que o primeiro possui um preço mais elevado que o segundo.

O ensaio para otimização seguiu as mesmas condições dos ensaios anteriores com algumas alterações.

Entre as alterações feitas, estão: o efluente a ser tratado foi colocado sob agitação juntamente com a massa de dióxido de titânio durante vinte minutos no escuro antes de entrar no reator fotoquímico, e, por fim, foi utilizada uma quantidade maior de solução inibidora ao final da coleta das amostras.

A etapa de agitação do efluente juntamente com o dióxido de titânio teve por objetivo promover a adsorção entre o corante e o catalisador antes da radiação, contribuindo desta forma o estabelecimento do equilíbrio de adsorção/dessorção entre os dois e assim aumentar a velocidade da reação de oxidação. (SILVA, 2011)

O aumento da solução inibidora teve por objetivo garantir que as reações de degradação sejam cessadas após a coleta das amostras, aumentando desta forma, a confiabilidade dos resultados.

Na Figura 3 mostra o decaimento fracionário do contaminante ( $C/C_0 = Abs/Abs_0$ ) em função do tempo nas condições otimizadas, com concentração de TiO<sub>2</sub> igual a 0,5g/l e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> igual a 200mM.

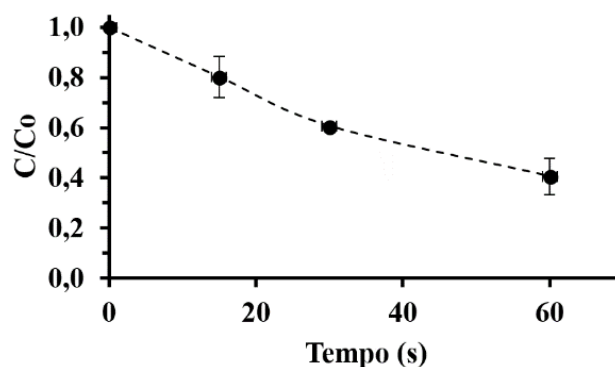
Verificou-se um percentual menor para a degradação do corante após decorrido os 60 minutos do ensaio, obtendo um valor de aproximadamente 60%.

Dentre as possíveis explicações para essa diminuição na degradação do corante, há a possível interferência na adsorção do corante no dióxido de titânio durante a fase agitação.

Devido a sua elevada insolubilidade em água e sua grande área superficial, grandes quantidades de substratos adsorvidos podem prejudicar o processo de fotocatalise, devido ao fato de que as substâncias poluentes possam vir a competir com os radicais adsorvido pelo sítio do catalisador, diminuindo a geração de radicais hidroxilas.

Portanto, ressalta-se a importância de se estudar a adsorção do poluente em questão sobre o catalisador (SOUSA, 2016). A aplicação de volume igual a 2 ml de solução inibidora (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> e KI) contribuiu para uma melhor conservação da amostra, evitando falsos resultados.

Figura 3 – Porcentagem degradação nas condições otimizadas.



Fonte: O Autor

Na Tabela 2 é observado o custo do processo estudado para cada m<sup>3</sup> de efluente tratado. A tarifa da energia elétrica para o setor industrial é de US\$ 0,18/kWh (incluídos nesse valor as tarifas de PIS/COFINS e ICMS de 25%) para a região o estado de Pernambuco (CELPE - Companhia Energética de Pernambuco, 2017).

Tabela 2 – Custos do processo estudado

Corante	TiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	tempo	Custo
25ppm	0,5g/l	200mM	1h	US \$72,96/m <sup>3</sup>

Fonte: O Autor

O gasto com eletricidade foi composto pelo custo elétrico da lâmpada de luz UV de 8W e pelo custo elétrico da bomba centrífuga 34 W.

Os custos com a energia elétrica somado e custos com reagentes para o processo de Fotocatalise Heterogênea podem ser vistos na Tabela 2.

Estudando a utilização de processos Fenton para degradação de corantes em efluente têxtil, MACHADO (2004) calculou o preço médio para esses tratamentos por metro cúbico que correspondeu a US\$ 37,00 para a degradação do corante Antraquinona azul Reativo 19 e US\$ 91,83 para a degradação da mistura de corantes formada pelos corantes Preto Reativo %, Laranja Reativo 16 e Amarelo Brihante 3G-P.

Como o principal gasto envolvido no processo é o de energia elétrica, a diminuição do tempo de reação é interessante.

A solução para isso pode ser a implantação de um pré-tratamento que reduza o teor de poluentes inicial e consequente o tempo do processo de fotocatalise heterogênea.

Uma boa alternativa é a utilização de tratamentos biológicos, como por exemplo, sistemas de lodos ativos, que são normalmente mais econômicos que os processos de fotocatalise (DEWIL, 2017).

## Conclusão

Na etapa inicial do estudo utilizando a técnica heterogênea do POA, o processo se mostrou bastante eficaz para a degradação do corante utilizado, obtendo faixas de degradação próximas a 90%.

Com as alterações propostas para a otimização do sistema, houve um decréscimo no teor de degradação do corante, reduzindo em aproximadamente 60% o corante presente no sistema reacional inicialmente, indicando que houve uma grande adsorção do corante nas partículas do catalisador, como também a competição pelo sítio do catalisador, reduzindo a eficiência do processo.

Diante disso, há a necessidade de estudar as diversas variáveis que afetam a eficiência do processo catalítico.

Na análise de custo foi estimado o valor de US\$ 72,93 por m<sup>3</sup> tratado, levando-se em consideração custos de catalisador, reagentes químicos e energia.

A fotocatalise heterogênea mostrou-se eficiente para a degradação do corante Remazol preto B 133% (RB5) a 25 ppm, nas condições experimentais utilizadas, porém a avaliação preliminar de custo indicou ainda um valor elevado.

A técnica pode ser considerada como alternativa promissora para o tratamento de efluentes contendo corantes, no entanto demanda mais estudos em outras condições de operação e com efluentes reais para diminuição de custos.

## Agradecimentos

Agradecimentos a:



## Referências

RAF DEWIL, DIONISSIOS MANTZAVINOS, IOANNIS POULIOS, MANUEL A. RODRIGO. **New perspectives for Advanced Oxidation Processes.** Journal of Environmental Management, v. 195, p. 93-99, 2017.

DAVID B. MIKLOS, CHRISTIAN REMY, MARTIN JEKEL, KARL G. LINDEN, JORG E. DREWES, UWE HÜBNER. **Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment e A critical review.** Water Research, v. 139, p. 118-131, 2018.

BAYARRI, B.; CARBONELL, E.; GIMENEZ, J.; ESPLUGAS, S.; GARCIA, H. **Higher intrinsic photocatalytic efficiency of 2,4,6-triphenylpyrylium-based photocatalysts compared to TiO<sub>2</sub> P-25 for the degradation of 2,4-dichlorophenol using solar simulated light.** Chemosphere, v. 72, p. 67-74, 2008.

EMLINE, A. V.; ZHANG, X.; JIN, M.; MURAKAMI, T.; FUJISHIMA, A. **Spectral dependences of the activity and selectivity of N-doped TiO<sub>2</sub> in photodegradation of phenols.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v. 207, p. 13-19, 2009.

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, p. 316-322, 2009.

GIRALDO, L. F. et al. **Degradación de águas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis.** Revista Lasallista de Investigación, v. 2 n. 1. Antioquia, 2005.

MACHADO, A. E. H.; XAVIER, T. P.; SOUZA, D. R.; MIRANDA, J. A.; DUARTE, E. T. F. M.; RUGGIERO, R.; OLIVEIRA, L.; SATTLER, C. **Solar photo-Fenton treatment of chip board production wastewater.** Solar Energy, v. 77, p. 583-589, 2004.

NOGUEIRA, R. F. B.; TROVÓ, A. G.; SILVA, M. R. A.; VILLA, R. D. **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton.** Química nova, v. 30, n. 2, p. 400-408, 2007.

SCHRANK, S. G. **Tratamento de efluentes da indústria de couros através de processos avançados de oxidação.** Tese (Tese em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2003.

SILVA, MARCO AURÉLIO. **Brasil Escola:** Disponível em: <http://www.brasile scola.com/fisica/a-experiencia-young.htm>. Acesso em 01 de Outubro de 2011.

SILVA, V. F. **Tratamento fotocatalítico de efluente têxtil empregando TiO<sub>2</sub> em pó e suportado.** Tese (Tese em Química). Programa de Pós-Graduação em Química do Departamento de Química Fundamental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFPE, 2011.

SOUZA, S. P. **Degradação do Corante Tartrazina por Fotocatálise.** Tese (Monografia em Engenharia Ambiental e Sanitária). Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Goiás, UFGO, 2016.

TROVÓ A G, NOGUEIRA R F P, AGÜERA A, FERNANDEZ-ALBA A R, SIRTORI C, MALATO S. **Degradation of sulfamethoxazole in water by solar photo-Fenton. Chemical and toxicological evaluation.** Water research, v. 43, p. 3922-3931, 2009.

VELLA, G., IMBERDORF, G. E., SCLAFANI, A., CASSANO, A. E., ALFANO, O. M., RIZZUTI, L. **Modeling of a TiO<sub>2</sub>-coated quartz wool packed bed photocatalytic reactor.** Applied Catalysis B: Environmental, v. 96, p. 399-407, 2010.

VIANNA, V. B.; TÔRRES, A. R.; AZEVEDO, E. B. **Degradação de corantes ácidos por processos oxidativos avançados usando um reator com rotatório de baixa velocidade.** Química Nova, v. 31, n. 6. São Paulo, 2008.

RAWAT, D.; SHARMA, R. S.; KARMAKAR, S.; ARORA, L. S.; MISHRA, V. **Ecotoxic potential of a presumably non-toxic azo dye.** Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 148 p. 528-537, 2018.

DOLEZ, P. I.; BENADDI, H. **Toxicity testing of textiles**. Advanced Characterization and Testing of Textiles. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100453-1.00008-8>, 2018.

BRITO, N. N.; SILVA, V. B. M. **Advanced oxidative process and environmental application**. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil n° 3 v. 1 p. 36-37, 2012.