

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO DO PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO DO TIPO FOTO-FENTON COM LÂMPADA GERMICIDA COMO FONTE UV

\* Paulo Henrique Saling<sup>1</sup>  
Kely Viviane de Souza<sup>2</sup>

### EVALUATION OF THE OPERATION OF THE ADVANCED OXIDATIVE PROCESS OF THE PHOTO-FENTON TYPE WITH GERMICID LAMP AS A UV SOURCE

Recibido el 17 de mayo de 2018; Aceptado el 12 de enero de 2021

#### Abstract

*The present paper objective was to evaluate the application of alternative sources of UV radiation for the application of photo-Fenton type AOP. The use of a germicidal lamp against to the mercury vapor lamp conventionally used for industrial wastewater treatment. For this, the chosen parameters to attest the efficiency of the lamps were apparent color, turbidity and phenols. The parameters presented average reduction values of approximately 95%, 90% and 72%, for germicidal lamps and 97%, 86% and 81% for mercury vapor lamps. The applicability was confirmed by means test, t test, with 5% of significance, corroborated by the reduction of the spectral area in the UV-Vis region (200 nm – 800 nm), concluding with the confirmation of possibility of applying the germicidal lamp to the effluent degradation with possible reduction of operating costs.*

**Keywords:** radiation, alternative source, Photo-Fenton, textile wastewater.

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, UNICENTRO, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, PR, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), campus de Irati, BR 153, KM 07, Riozinho, Irati/PR. CEP 84500-000. Brasil. Email: [paulosalting@gmail.com](mailto:paulosalting@gmail.com)

## Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a aplicação de fontes alternativas de radiação UV, para aplicação em Processo Oxidativo Avançado do tipo foto-Fenton. Foi avaliada a utilização de lâmpada germicida, em relação a lâmpada à vapor de mercúrio, convencionalmente usada para degradação de efluentes industriais. Para isso, os parâmetros escolhidos para atestar a eficiência das lâmpadas foram cor aparente, turbidez e fenóis. Os parâmetros apresentaram valores médios de redução de, aproximadamente, 95%, 90% e 72%, para lâmpada germicida e de 97%, 86% e 81% para lâmpada à vapor de mercúrio. A aplicabilidade foi comprovada mediante teste de médias Teste t, com significância de 5%, corroborada pela redução da área espectral na região UV-Vis (200 nm à 800 nm), concluindo a possibilidade da utilização da lâmpada germicida na degradação do efluente, com possível redução de custos operacionais.

**Palavras chave:** radiação, fonte alternativa, Foto-Fenton, efluente têxtil.

## Introdução

Concomitantemente ao crescimento populacional e a notável expansão tecnológica e industrial vivenciada nas últimas décadas, o aumento e a diversificação dos impactos ambientais têm colaborado com a busca por tecnologias mais limpas e sustentáveis, desde a escolha da matéria prima e do processo produtivo até a destinação final ambientalmente adequada e específica a cada tipo de resíduo gerado.

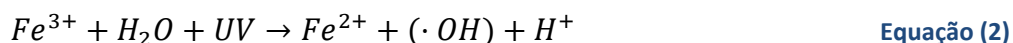
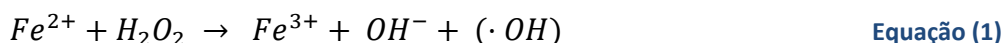
Apontamentos feitos por Jefferson (2006) relacionando o crescimento populacional, a crise energética proveniente de combustíveis fósseis e a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEEs) favorece o argumento da busca pela otimização de processos industriais para a sustentabilidade. Dentro deste contexto, o aprimoramento dos sistemas de tratamentos dos resíduos também pode ser considerado ação mitigatória quanto a redução dos impactos antropogênicos, como a utilização de tecnologias que visam o reuso da água (Araújo, Santos e de Souza, 2017; Subtil *et al.*, 2016). Os Processos Oxidativos Avançados (POA) também tem passado por melhorias em seus sistemas, não só com a combinação com outras técnicas de tratamento de efluentes mas também pela busca por condições operacionais mais eficientes, como demonstrado por Dewil *et al.* (2017), que podem levar a redução de custos operacionais.

Os POA se baseiam no mecanismo de geração de radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ), qual possui alto potencial de redução ( $E^0=2.80\text{ V vs. ENH}$ ) e elevada instabilidade, o que permite reagir e degradar grande diversidade de compostos à  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e sais inorgânicos (Babuponnusami e Muthukumar, 2014; Garcia *et al.*, 2009; Nogueira *et al.*, 2007). Dentro dos diversos tipos de POA, os processos Fenton ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) e foto-Fenton ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ), tem sido aplicados na estabilização de efluentes com considerável diversidade de compostos, como por exemplo: (a) na degradação de pesticidas (Navarro *et al.*, 2011); (b) como etapa preparatória ao tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário (Vilar *et al.*, 2011); (c) como polimento final de efluentes têxteis após passar

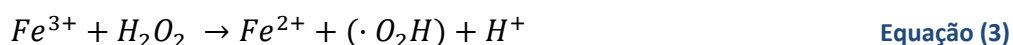
por sistema de tratamento anaeróbio (Santos *et al.*, 2017) e; (d) como tratamento preliminar ao biológico na indústria de laticínios (Villa, Silva e Nogueira, 2007).

O tradicional mecanismo reacional do processo Fenton na geração do radical hidroxila pode ser observado na Eq 1 (Babuponnusami e Muthukumar, 2014).

Como descrito por Baba *et al.* (2015), o íon  $Fe^{2+}$  oxida durante a degradação do peróxido de hidrogênio gerando íon  $OH^-$  e  $\cdot OH$ . Quando assistido por radiação UV ou luz visível, a reação Fenton tem sua eficiência consideravelmente elevada, dando origem ao processo foto-Fenton (Eq 2). Uma vez que há a regeneração do íon ferroso, devido a influência da radiação, há a formação de um ciclo de redução catalítica permitindo a geração de dois radicais hidroxila ( $\cdot OH$ ) por mol de peróxido aplicado.



Durante a quebra do peróxido de hidrogênio, ocorre a oxidação do catalisador gerando  $Fe^{3+}$ . Devido a saturação do meio por  $H_2O_2$ , ocorre ainda a reação de regeneração do catalisador à sua forma iônica original, alheio ao processo de regeneração do íon  $Fe^{3+}$  via fotorremediação observado no sistema foto-Fenton, chamado de like-Fenton (Eq. 3). Além do radical hidroxila, esta reação gera outro radical, o hidroperoxila ( $\cdot O_2H$ ) que também age na degradação de compostos presentes no efluente, porém, com menor potencial de redução. A cinética reacional é menor àquela observada no processo Fenton (Martins *et al.*, 2011).



Visto isso, o presente trabalho teve como objetivo comparar a eficiência operacional da lâmpada germicida – 4 W em relação a lâmpada à vapor de mercúrio de alta pressão – 125 W, convencionalmente usada em processos fotoquímicos. Apesar das lâmpadas apresentarem diferenças quanto ao mecanismo de funcionamento, potência e método de contato com o efluente, ambas operam na região UV-C, com comprimento de onda de 254 nm. Embora as lâmpadas à vapor de mercúrio serem caracterizadas pela alta eficiência e grande durabilidade, elas contêm mercúrio, um elemento tóxico que pode causar impactos ambientais negativos quando liberado para o meio ambiente, devido a sua volatilidade nas condições de temperatura e pressão que se apresenta. Uma lâmpada de 80W a 400W pode ter em média 32 mg de mercúrio, por isso o descarte destas lâmpadas deve ser feito de maneira correta. Assim, em busca de tecnologias mais adequadas para reduzir a poluição ambiental e visando a economia de energia durante a operação, a lâmpada germicida torna-se uma alternativa

## Procedimento Experimental

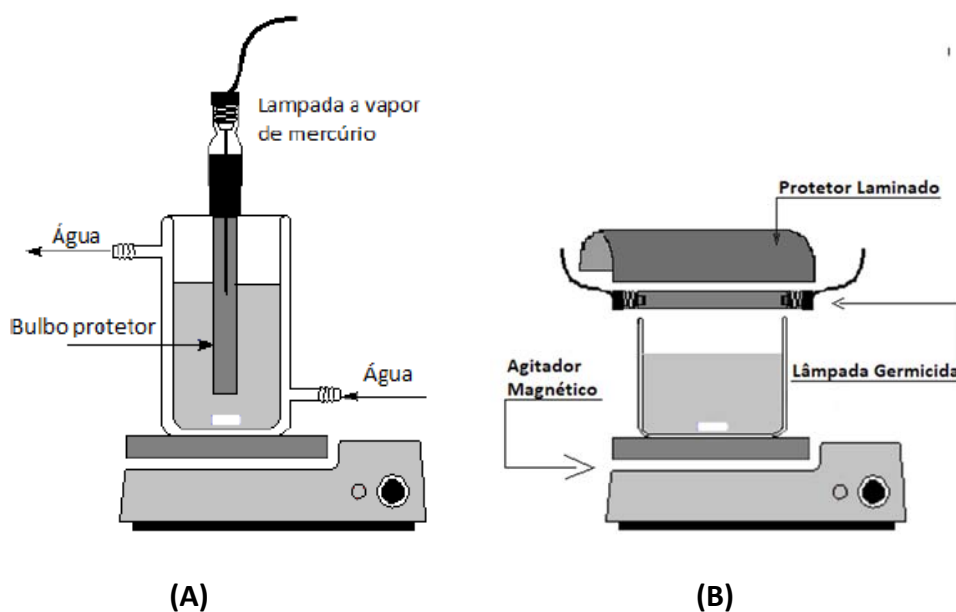
### Efluente

O efluente utilizado, proveniente de indústria têxtil da região sul do Brasil, foi coletado após o sistema de tratamento da empresa, que possui como etapa principal de estabilização do efluente um sistema de lodo ativado. Antes da aplicação do foto-Fenton o efluente foi submetido às etapas de coagulação, floculação e decantação em Jarrest. Adotando gradientes de mistura rápida e lenta de  $625\text{ s}^{-1}$  e  $44\text{ s}^{-1}$ , respectivamente, e velocidade de sedimentação de  $0.46\text{ cm s}^{-1}$ , aplicando coagulante vegetal Tanino à  $420\text{ mg L}^{-1}$ .

### Processo foto-Fenton assistido por radiação UV

O processo foi realizado utilizando um reator convencional de bancada, com volume nominal de 300 mL, junto a fonte de radiação testada durante os experimentos qual foi alternada entre lâmpadas germicida (LG) - 4 W e vapor de mercúrio de alta pressão 125 W (LM), com fluxo luminoso de  $6.300\text{ lm}$  - (controle), onde ambas operam na região do espectro correspondente ao UVC (200 nm – 280 nm). O esquema do reator utilizado nos ensaios aplicando a lâmpada de mercúrio pode ser observado na Figura 1 (A).

Devido ao melhor aproveitamento da área luminosa da lâmpada germicida, à sua geometria e método de contato com o efluente, o reator teve de ser modificado aplicando a lâmpada sobre o efluente junto a um refletor aluminado para melhor direcionar os raios em direção do efluente. O esquema pode ser verificado a Figura 1(B).



**Figura 1.** Esquema representativo sistema foto-Fenton com lâmpada à vapor de mercúrio (A) lâmpada germicida (B).

### Controles Operacionais

O efluente teve seu pH ajustado, antes de ser submetido aos ensaios, para valores entre 2.8 e 3.0, devido a manutenção da eficiência do catalizador na sua forma solúvel evitando a formação de precipitado Fe (III) – lodo (López *et al.*, 2017). Neste trabalho foi utilizado H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> no processo de correção do pH.

Para o monitoramento do consumo de peróxido de hidrogênio foi utilizando o reagente Metavanadato de Amônio, na proporção de 2:1, que reagindo com o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> produz o cátion peroxidovanadium, caracterizado por possuir coloração vermelha-alaranjada e absorve no comprimento de onda 450 nm (Nogueira, Oliveira e Paterlini, 2005; Silva *et al.*, 2013).

### Otimização

A otimização do experimento, foi realizada utilizando a lâmpada a vapor de mercúrio, fonte de UV padrão, imersa no efluente protegida por um bulbo de quartzo, como demonstrado pelo esquema da Figura 1.

Para determinação das concentrações ideais de reagente e catalizador (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e Fe<sup>2+</sup>) a serem aplicadas, foi realizado o delineamento fatorial 2<sup>2</sup>, adotando 5 minutos de exposição à radiação objetivando a redução da área espectral na região UV-Vis (200 nm a 800 nm), cujo níveis podem ser visualizados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Demonstra o planejamento fatorial 2<sup>2</sup> com ponto central.

Variáveis	Níveis		
	(-)	(0)	(+)
[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (mg L <sup>-1</sup> )	100	150	200
[Fe <sup>2+</sup> ] (mg L <sup>-1</sup> )	5	10	15

### Análises estatísticas

Para analisar a aderência das amostras, os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade de variância de Bartlett. A determinação do ótimo operacional foi intermediada pela análise das médias, utilizando o Teste de Fisher – ou LSD (least significant difference/ diferença mínima significativa), sobre o delineamento 2<sup>2</sup>, com ponto central em triplicata, com nível de significância  $\alpha = 0.05$ .

Para avaliação da aplicabilidade da lâmpada germicida na substituição da lâmpada de vapor de mercúrio, os valores referentes às respectivas reduções percentuais dos parâmetros avaliados foram submetidos ao Teste T, bilateralmente, com nível de significância  $\alpha = 0.05$  para amostras independentes em duplicata.

### Controle Analítico

#### *Cor Aparente, Turbidez, Fenóis e Cloretos*

A determinação das concentrações dos parâmetros analisados foi realizada seguindo as metodologias 2120 para cor aparente, 2130 para turbidez, 5550 B para determinação da concentração de fenóis e 4500B para cloretos todas propostas pelo Standart Methods for Examinatios of Water and Wastewater 23<sup>a</sup> edição (APHA, 2012).

#### *Análise espectrofotométrica*

Além da determinação direta dos parâmetros quanto à qualidade do efluente, a diminuição da integral da curva de varredura, via espectrofotometria UV-Vis, é uma maneira indireta de monitorar a eficiência do processo, pois o seu decaimento pode ser indicativo da redução de compostos que possuem absorbância na região entre 200 nm e 800 nm, como por exemplo a degradação de matéria orgânica (Walker e Dassan, 2015).

Todos os ensaios foram conduzidos em duplicata adotando 90 min de exposição sob agitação magnética constante. O volume avaliado foi de 200 mL. Apenas na etapa de otimização das concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e de Fe<sup>2+</sup>, o tempo estipulado foi de 5 minutos de exposição à radiação em triplicata. As análises do decaimento das curvas espectrais foram feitas com leituras a cada 15 minutos, identificando a degradação dos compostos.

## Resultados e discussão

### Caracterização do Efluente

Os parâmetros do efluente antes dos ensaios pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Caracterização do Efluente antes da aplicação do processo foto-Fenton.

Parâmetro	Valores obtidos
Cor Aparente (mg L <sup>-1</sup> PtCo)	404 +/- 3,02
Turbidez (NTU)	8.83 +/- 0,85
Fenóis (mg L <sup>-1</sup> )	5.9 +/- 0,30

Dos parâmetros observados na Tabela 2, o qual apresenta maior preocupação é a concentração de fenóis, que está muito acima dos limites estabelecidos pela Resolução n° 430 de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que limita o padrão de lançamento em 0.5 mg L<sup>-1</sup> de fenóis. Diante disso, uma maior atenção deve ser dada com relação à redução da concentração deste parâmetro.

Além dos parâmetros citados na Tabela 2, foi feita a determinação de cloretos, uma vez que, a presença do íon  $\text{Cl}^-$  está associado à grande quantidade de cloreto de sódio utilizado para fixação do corante ao tecido, sendo assim característico de efluentes têxteis. A concentração de  $\text{Cl}^-$  no efluente em estudo foi de  $236 \text{ mg L}^{-1}$ , no entanto, não foi considerado como parâmetro a ser avaliado.

### Otimização

O planejamento fatorial  $2^2$  demonstrou-se eficiente como ferramenta de apontamento do ótimo operacional quanto as concentrações do oxidante ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e do íon  $\text{Fe}^{2+}$ .

A Tabela 3 abaixo demonstra o cruzamento dos ensaios com suas respectivas médias das reduções percentuais das repetições, da integral do perfil espectrofotométrico (200 nm a 800 nm) com 5 min de reação.

**Tabela 3.** Média da redução percentual da área espectral respectiva a cada nível operacional do planejamento fatorial  $2^2$  em 5 minutos de reação.

Ensaio	$[\text{H}_2\text{O}_2]$	$[\text{Fe}^{2+}]$	Redução da área espectral percentual média (%)
1	-	-	13.80
2	-	+	-51.90
3	+	-	23.84
4	+	+	-48.36
5	0	0	-20.83

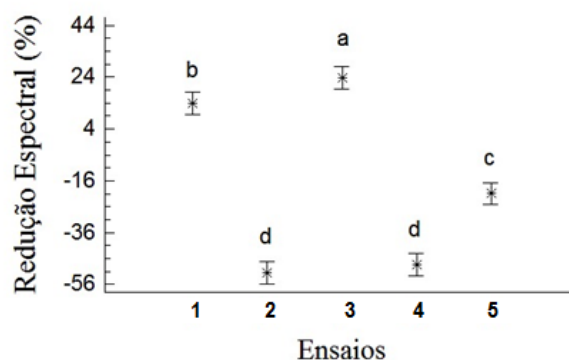
O limite da concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  no nível +, foi estabelecido seguindo a regulamentação da Resolução CONAMA nº 430/11, qual estabelece o limite de ferro dissolvido em  $15.0 \text{ mg L}^{-1}$  para o lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Foram calculados de acordo como descrito por Barros Neto *et al.*, 2010 os efeitos principais e de interação das variáveis avaliadas na Tabela 3. O efeito principal do  $\text{H}_2\text{O}_2$  e do  $\text{Fe}^{2+}$  foi de 6,79% e -68,95%, respectivamente, indicando que da maior concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  para a menor, houve um aumento da redução espectral. Já para a concentração de  $\text{Fe}^{2+}$ , o efeito foi negativo, indicando que da menor concentração de ferro para a maior, ocorreu uma queda da redução espectral. No entanto, é necessário calcular o efeito de interação entre as duas variáveis, o qual foi de -3,25%, ou seja, o efeito de interação é menor do que o efeito isolado.

Nota-se pela Tabela 3, que alguns valores da resposta apresentaram sinal negativo, tal fato remete no aumento da integral da área do perfil espectral entre 200 nm e 800 nm, gerando a “redução percentual negativa”. Isto pode ter ocorrido devido à formação de subprodutos

decorrentes da degradação como a formação de radicais orgânicos e uma série de outros produtos apresentam sinal de absorção na região espectral avaliada (Martins *et al.*, 2011).

Analisando somente as reduções das integrais de cada ensaio, é possível determinar que a combinação referente ao Ensaio 3 (+;-) foi aquela que obteve maior eficiência com aproximadamente 24% de redução da área espectral em 5 minutos de ensaio. Fato este corroborado pela análise de variância das médias, Teste de Fisher (LSD), qual resultados apontam diferenças entre os ensaios, cujo gráfico está disposto na Figura 2. Nesta, é possível observar maior eficiência, com maior redução média da área espectral, aplicando a combinação do ensaio 3 com nível de significância de 5%. Portanto, as concentrações adotadas para realização dos ensaios subsequentes foram de 200 mg L<sup>-1</sup>, para H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e 5 mg L<sup>-1</sup> do catalizador Fe<sup>2+</sup>, referentes ao Ensaio 3.



**Figura 2.** Gráfico do Teste de Fisher – LSD, com  $\alpha = 0.05$ .

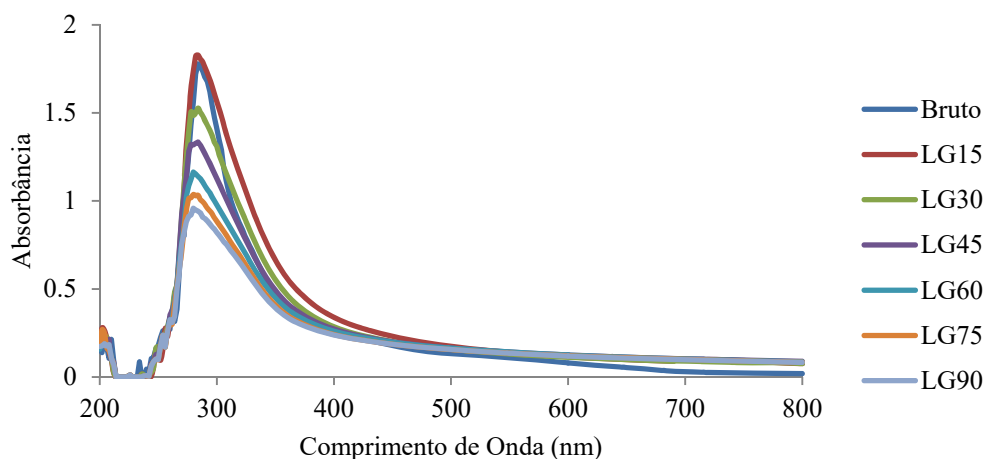
### Análise Empírica

#### Spectrofotometria UV-Vis

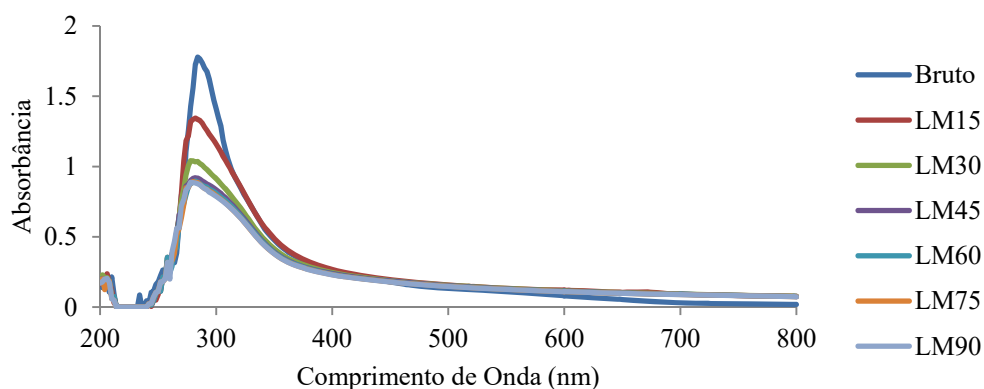
Todos os gráficos pertinentes às comparações da redução da curva espectral, respectivo a cada lâmpada, foi produzido levando em consideração as médias aritméticas das absorbâncias.

Na Figura 3 é possível observar o decaimento das médias das curvas de varredura espectrofotométrica referentes a lâmpada germicida (A) e a lâmpada de mercúrio (B) nos tempos de 15 min a 90 min de tratamento na faixa espectral de 200 nm até 350 nm, onde está localizado o pico principal, ou seja, o pico com maior valor de absorbância. Esta faixa corresponde a componentes orgânicos, e a queda desta sugere a degradação destes compostos.





(A)



(B)

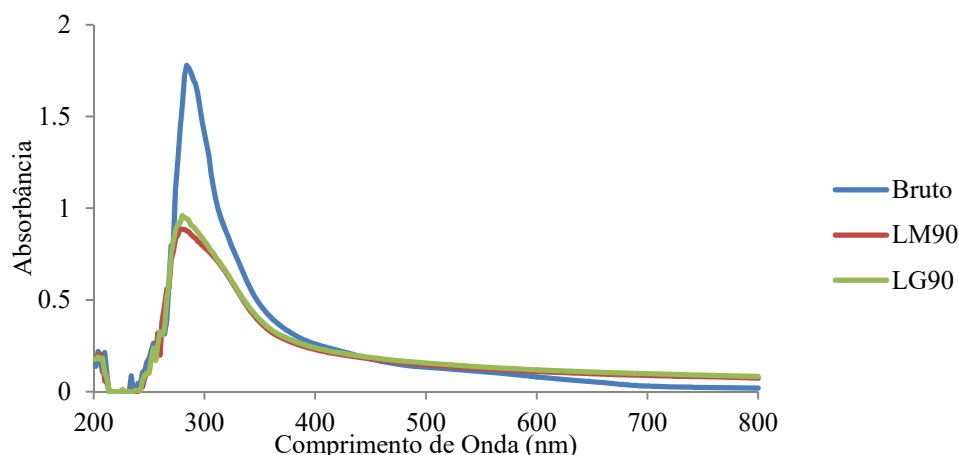
**Figura 3.** Perfil espectrofotométrico do efluente no decorrer do tratamento pelo processo foto-Fenton utilizando lâmpada germicida (A) e lâmpada à vapor de mercúrio (B).

Analisando a Figura 3 (B), é possível observar a estabilização da degradação a partir dos 45 min de tratamento seguindo até o tempo de 90 min, tornando as curvas sobrepostas. Este fato foi confirmado, também, pela estabilização no consumo de  $H_2O_2$  em  $80 \text{ mg L}^{-1}$  indicando o limite do processo.

Confrontando, ainda, os gráficos das Figuras 3, A e B, pode-se dizer que o mecanismo de degradação do efluente pelo sistema foto-Fenton utilizando a lâmpada germicida é significativamente diferente, principalmente durante os primeiros 15 minutos, comparando com o sistema utilizando a lâmpada de mercúrio, pois no primeiro caso, ocorre um aumento do sinal

em 300 nm, sugerindo a formação de subprodutos com absorvância maior que o efluente de partida. Somente após 15 minutos, começa a ocorrer a supressão desse sinal, indicando uma possível degradação dos compostos e também dos subprodutos (Figura 3 A). Já na Figura 3 B, utilizando lâmpada de mercúrio, o decaimento do sinal, ocorre já nos primeiros 15 minutos, não havendo a formação de subprodutos com absorvância superior às observadas pelo efluente bruto.

Para comparar a eficiência na redução do perfil espectral de ambas as lâmpadas, apenas os resultados referentes a 90 minutos foram considerados na Figura 4.



**Figura 4.** Perfil espectrofotométrico correspondente ao final dos ensaios aplicando as diferentes fontes UV.

É notável a semelhança das eficiências entre as lâmpadas utilizadas ao final dos 90 minutos, indicando a possibilidade da utilização da lâmpada germicida na degradação de efluente têxtil, sem perdas de eficiência no que diz respeito à redução da área espectral.

#### *Cor Aparente, Turbidez e Fenóis*

Os processos foto-Fenton aplicando diferentes fontes de radiação UV (LM e LG), demonstraram-se eficientes na degradação dos parâmetros de cor, turbidez e fenóis, os quais são considerados de grande importância ambiental quanto a qualidade do efluente lançado pela indústria e na diminuição dos impactos sofridos pelo corpo hídrico receptor, como exposto pelas Resoluções do CONAMA nº 357 de 2005 e 430 de 2011 (Brasil, 2011). As concentrações após o tratamento, bem como as reduções percentuais médias dos parâmetros testados, distinguidos de acordo com cada tipo de lâmpada estão dispostos nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

**Tabela 4.** Concentrações finais médias e valores de desvio padrão referentes a cada tipo de lâmpada após 90 minutos de exposição.

Parâmetro	Bruto	LM	LG
Cor Aparente (uC)	404.00	13.50 ± 2.12	21.50 ± 7.78
Turbidez (NTU)	8.83	1.20 ± 0.77	0.98 ± 0.55
Fenóis (mg L <sup>-1</sup> )	5.90	1.10 ± 0.28	1.65 ± 0.07

Na Tabela 4, é possível observar as concentrações finais referentes a cada lâmpada utilizada. Na Tabela 5, estão apresentados os valores percentuais de redução para cada parâmetro.

**Tabela 5.** Reduções percentuais médias referentes a cada lâmpada utilizada e seus respectivos desvios padrão.

Parâmetro	L.M. (%)	L.G. (%)	Teste t
Cor Aparente	96.66 ± 0.52	94.68 ± 1.92	a
Turbidez	86.35 ± 8.73	88.90 ± 6.25	a
Fenóis	81.36 ± 4.79	72.03 ± 1.19	a

Observando a concentração de fenóis, o parâmetro ainda não está de acordo com o descrito pela Resolução n° 430/11, que complementa e altera a Resolução n° 357/05, ambas do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que limita em 0.5 mg L<sup>-1</sup> a concentração em efluentes industriais descartados (Brasil, 2011).

Os resultados quanto aos testes estatísticos sobre os parâmetros analisados podem ser visualizados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Valores de t e p para os parâmetros analisados com 95% de confiança.

Parâmetro	Valor de t	Valor de p
Cor Aparente	- 1.40	0.37
Turbidez	0.33	0.77
Fenóis	- 2.67	0.20

De acordo com a Tabela 6 é possível constatar que o p-valor é maior que 0.05 para ambas as lâmpadas sobre todos os parâmetros analisados, aceitando a hipótese nula ( $H_0$ ) apresentando, de modo respectivo, valores de 0.37, 0.77 e 0.20, para cor aparente, turbidez e fenóis confirmando a possibilidade da utilização da LG para degradação de efluentes têxtis. Este fato corrobora com os apresentados sobre as reduções percentuais e aos referentes às reduções das áreas espectrais.

Trabalhos como os de Carra *et al.*, (2015), Rodríguez-Chueca *et al.* (2016) e de Zazo *et al.* (2016), comprovam a utilização de outras fontes de radiação no processo foto-Fenton, para tratamento de efluentes, como por exemplo, a utilização de lâmpada de LED como fonte de radiação UV. Colaborando com os indicativos apresentados a respeito da utilização de lâmpadas de menor potência no tratamento de efluentes, podendo levar à redução de custos operacionais, devido a maior demanda energética pela LM.

De acordo como Santos *et al.*, (2017), os processos oxidativos avançados anexados a reatores biológicos são muito eficientes na degradação de efluente proveniente de indústria têxtil. Fato este comprovado neste trabalho, onde o efluente apresentou uma melhor qualidade em termos de cor, turbidez e concentração de fenóis após ter passado pelo processo foto-Fenton. Diante dos resultados satisfatórios obtidos neste trabalho, foi realizado o estudo do efeito somente da fotólise e da fotólise/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na redução dos parâmetros avaliados. Destes, somente o processo da fotólise/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ofereceu uma contribuição significativa e somente para o parâmetro cor, com redução de 52% para a LM e de 30% para a LG. Este resultado foi importante e corrobora com os valores calculados para os efeitos de cada variável, o qual foi menor para a concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, comparado com o efeito da concentração de Fe<sup>2+</sup>, sugerindo que as reduções de turbidez e fenóis foram decorrentes do efeito do Fe<sup>+2</sup>, bem como da interação entre Fe/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/luz.

### Conclusões

Considerando os resultados apresentados, é possível concluir que a aplicação de fontes alternativas de radiação UV é viável, podendo substituir, a priori, a lâmpada à vapor de mercúrio de alta pressão (125 W) pela lâmpada germicida (4 W). Ambas, estatisticamente, promoveram a redução de cor, turbidez e fenóis do efluente têxtil, tendo como vantagem a utilização da lâmpada germicida tanto na questão econômica quanto ambiental.

### Referências bibliográficas

- APHA, AWWA, WEF (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23. ed. Washington: APHA, AWWA, WEF.
- Araújo, B. M., Santos, A. S. P., De Souza, F. P. (2017) Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil. *Perspectiva Online: Exatas & Engenharia*, **17**(11), 51–61.
- Baba, Y., Yatagai T., Harada T., Kawase Y. (2015) Hydroxyl radical generation in the photo-Fenton process : Effects of carboxylic acids on iron redox cycling. *Chemical Engineering Journal*, **277**(13), 229–241.
- Babuponnusami, A., Muthukumar, K. (2014) A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **2**(16), 557–572.
- Barros Neto, B., Scarminio, I.S., Bruns, R.E. (2010) Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 4a edição. Porto Alegre: Brookman, 101-112.

- Brasil (2005) *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*. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n. 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, Diário Oficial da União, nº 53, Brasília, DF, 18 mar. de 2005, 58-63.
- Brasil (2011) *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005*, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n. 430, de 13 de maio de 2011, Ministério do Meio Ambiente. *Diário Oficial da União*, nº 92, Brasília, DF, 16 de maio de 2011.
- Carra, I., Pérez J. A. S., Malato S., Autin O., Jefferson B., Jarvis P. (2015) Application of high intensity UVC-LED for the removal of acetamiprid with the photo-Fenton process. *Chemical Engineering Journal*, **264**(8), 690–696.
- Dewil, R., Mantzavinos D., Poullos I., Rodrigo M. A. (2017) New perspectives for Advanced Oxidation Processes. *Journal of Environmental Management*, **195**(7), 93–99.
- Garcia, J. C., Simionato J. I., Almeida V. C., Palácio S. M., Rossi F. L., Schneider M. V., Souza N. E. (2009) Evolutive follow-up of the photocatalytic degradation of real textile effluents in TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> systems and their toxic effects on *Lactuca sativa* seedlings. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, **20**(9), 1589–1597.
- Jefferson, M. (2006). Sustainable energy development: Performance and prospects. *Renewable Energy*, **31**(12), 571–582.
- López, N., Plaza S., Afkhami A., Marco P., Giménez J., Esplugas S. (2017) Treatment of Diphenhydramine with different AOPs including photo-Fenton at circumneutral pH. *Chemical Engineering Journal*, **318**(9), 112–120.
- Martins, L. M., Silva C. E., Neto J. M. M., Lima A. S., Moreira R. F. P. M. (2011) Aplicação de Fenton, foto-Fenton e UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante Preto Biozol UC. *Engenharia Sanitária Ambiental*, **16**(10), 261–270.
- Navarro, S., Fenoll J., Vela N., Ruiz E., Navarro G. (2011) Removal of ten pesticides from leaching water at pilot plant scale by photo-Fenton treatment. *Chemical Engineering Journal*, **167**(8), 42–49.
- Nogueira, R. F. P., Trovó A. G., Silva M. R. A., Villa R. D. (2007) Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-Fenton. *Química Nova*, **30**(9), 400–408.
- Nogueira, R. F. P., Oliveira, M. C., Paterlini, W. C. (2005). Simple and fast spectrophotometric determination of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in photo-Fenton reactions using metavanadate. *Talanta*, **66**(6), 86–91.
- Rodríguez-Chueca J., Amor C., Fernandes J. R., Tavares P. B., Lucas M. S., Peres J. A. (2016) Treatment of crystallized-fruit wastewater by UV-A LED photo-Fenton and coagulation-flocculation. *Chemosphere*, **145**(9), 351–359.
- Santos, E. M. A., Nascimento A. T. P., Paulino T. R. S., Barroso B. C. S., Aguiar C. R. (2017) Reator anaeróbio tipo UASB conjugado com processo Fenton para remoção de cor e demanda química de oxigênio de água residuária sintética de indústria têxtil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, **22**(8), 285–292.
- Silva, T. F. C. V., Silva M. E. F., Cunha-Queda A. C., Fonseca A., Saraiva I., Boaventura R. A. R., Vilar V. J. P. (2013) Sanitary landfill leachate treatment using combined solar photo-Fenton and biological oxidation processes at pre-industrial scale. *Chemical Engineering Journal*, **228**(17), 850–866.
- Subtil, E. L., Mierzwa J. C., Hespanhol I., Rodrigues R. (2016) Potencial de reúso de água na lavagem de caminhões utilizando Contator Biológico Rotativo. *Revista Ambiente e Água*, **11**(16), 851–866.
- Vilar, V. J. P., Capelo S. M. S., Silva T. F. C. V., Boaventura R. A. R. (2011) Solar photo-Fenton as a pre-oxidation step for biological treatment of landfill leachate in a pilot plant with CPCs. *Catalysis Today*, **161**(7), 228–234.
- Villa, R. D., Silva, M. R. A., Nogueira, R. F. P. (2007). Potencial de aplicação do processo foto-Fenton/solar como pré-tratamento de efluente da indústria de laticínios. *Química Nova*, **30**(5), 1799–1803.
- Walker, I. C., Dassan, K. R. F. O. (2015). Determinação da matéria orgânica através de varredura espectral (UV) Coxim-MS. Acesso em 28 de Março de 2017, disponível em: [http://morhis.sites.ufms.br/files/2016/10/Pibic\\_Ingrid\\_DETERMINAÇÃO-DA-MATÉRIA-ORGÂNICA-ATRAVÉS-DE-VARREDURA-ESPECTRAL-UV-COXIM-MS-Final-2016.pdf](http://morhis.sites.ufms.br/files/2016/10/Pibic_Ingrid_DETERMINAÇÃO-DA-MATÉRIA-ORGÂNICA-ATRAVÉS-DE-VARREDURA-ESPECTRAL-UV-COXIM-MS-Final-2016.pdf)
- Zazo, J. A., Pliego G., García-Muñoz P., Casas J. A., Rodríguez J. J. (2016) UV-LED assisted catalytic wet peroxide oxidation with a Fe (II)-Fe (III)/ activated carbon catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, **192**(7), 350–356.