

## II-207 – FITOTOXICIDADE DE EFLUENTES DE LAVANDERIA HOSPITALAR TRATADOS COM OZONIZAÇÃO FOTOCATALÍTICA

**Rômulo de Oliveira Schwaickhardt**

Químico Industrial, Mestre em Tecnologia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

**Alexandre Straatmann**

Engenheiro Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.

**Deivid Kern**

Biólogo, Mestre em Tecnologia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

**Lourdes Teresinha Kist**

Química, Doutora em Química Inorgânica – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

**Ênio Leandro Machado<sup>(1)</sup>**

Químico Industrial, Doutor em Engenharia – Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade de Santa Cruz do Sul, Mestrado em Tecnologia Ambiental, Avenida Independência, 2293. Bairro Universitário. Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: (51) 3717-7545 - e-mail: [enio@unisc.br](mailto:enio@unisc.br)

### RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de tratamento de efluentes de lavanderia hospitalar por meio da aplicação de processos oxidativos avançados, baseados em fotoozonização catalítica. O efluente bruto estudado revelou incidência elevada de fitotoxicidade. As reduções de algumas variáveis que conferiram impacto ambiental foram detectadas após a aplicação dos diferentes métodos de tratamento. O método UV/O<sub>3</sub>/Fe<sup>2+</sup> 150 mg L<sup>-1</sup> apresentou a melhor eficiência de redução de DQO (59%), DBO<sub>5</sub> (50,3%), NTK (86,7%), além de redução da fitotoxicidade. Diante dos resultados foi possível constatar a eficiência destes métodos na degradação do efluente de lavanderia hospitalar, representando uma alternativa promissora para a remoção de poluentes que conferem fitotoxicidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fitotoxicidade, Efluentes Hospitalares, Processos Oxidativos Avançados

### INTRODUÇÃO

Entre os principais setores envolvidos na geração de efluentes em hospitais, destacam-se os serviços de análises clínicas, setores de rádio e quimioterapia, lavanderias, UTI's e leitos de diversas classes de acomodação (EMMANUEL et al., 2005; KIST et al., 2008; MACHADO et al., 2012). A lavanderia hospitalar é considerada uma unidade funcional de apoio às atividades assistenciais em um hospital, sendo responsável pelo processamento de todos os artigos têxteis enviados ao setor (GODOY et al., 2004). Os efluentes gerados na lavanderia hospitalar se caracterizam por possuir elevada variação de alguns parâmetros físico-químicos globais, como DQO, DBO e carga nitrogenada. A variação de carga poluente decorre da presença de uma série de substâncias químicas como detergentes, tensoativos, desinfetantes e resíduos de fármacos, e também da etapa de lavagem envolvida e da sujidade dos artigos têxteis presentes no processo (KIST et al., 2008; MACHADO et al., 2012). Esta matriz poluente tem demandado estudos de análise orgânica para caracterização de compostos residuais e/ou subprodutos associados a ação ecotóxica. Estas características conferem ao efluente, alta periculosidade, uma vez que apresentam valores elevados de toxicidade (EMMANUEL et al., 2005; TSAKONA et al., 2007; BOILLOT; PERRODIN, 2008; SANTOS et al., 2010).

Na literatura, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos abordando problemas relacionados à avaliação e mitigação de impactos ambientais de efluentes hospitalares. Entre alguns trabalhos, destacam-se os processos oxidativos avançados, baseados na reação de *Fenton* e *Foto-Fenton* (KAJITVICHYANUKUL e SUNTRONVIPART, 2006; BERTO et al., 2009; SILVA et al., 2009), métodos avançados baseados no uso de UV, TiO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> (KIST et al., 2008; MACHADO et al., 2007), métodos eletroquímicos com ozônio (MACHADO et al., 2012) e métodos envolvendo fotocatalise heterogênea comparada à combinação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> e ozonização isolada (VASCONCELOS et al., 2009).

Diante do exposto, e dada à relevância da problemática no contexto ambiental, o presente trabalho objetivou investigar a fitotoxicidade, além da identificação dos compostos orgânicos presentes nos efluentes de lavanderia hospitalar, submetido aos métodos de tratamento de fotoirradiação ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ),  $\text{O}_3$ ;  $\text{UV}/\text{O}_3$ ;  $\text{UV}/\text{O}_3/\text{Fe}^{2+}$ .

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização do local de estudo

O efluente estudado corresponde ao gerado pela atividade do setor de lavanderia hospitalar, de um hospital regional localizado no município de Santa Cruz do Sul, região central do estado do Rio Grande do Sul. A etapa avaliada neste trabalho é denominada de enxágue inicial das compressas cirúrgicas. Esta etapa é caracterizada por possuir maior remoção de sujeira e geração de efluente altamente concentrado. O hospital gera diariamente  $150 \text{ m}^3$  de efluente, dos quais 48 a  $50 \text{ m}^3$  provêm do setor de lavanderia e são descartados diretamente nas redes de esgoto municipal. A etapa de enxágue das compressas contribui com a geração de  $12,8 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  de efluente, constituídos de resíduos fisiológicos como sangue, fezes, vômitos, e outras secreções corpóreas. Além disso, a mesma também apresenta presença de fármacos, detergentes e demais produtos de limpeza, como sanitizantes e desinfetantes.

### Caracterização físico-química dos ensaios de tratamento

A caracterização detalhada dos efluentes bruto e tratados pelos cinco diferentes métodos foi avaliada com os parâmetros DQO,  $\text{DBO}_5$ , NTK,  $\text{P}_{\text{total}}$ , pH, turbidez, condutividade, e *E. coli*. A avaliação das variáveis físico-químicas seguiram as determinações dos métodos empregados em APHA/AWWA (2012).

### Análise da fração orgânica encontrada no efluente

Para determinar a composição da fração orgânica do efluente bruto e do melhor método de tratamento foi realizada uma extração em fase sólida (SPE) e posteriormente uma análise por cromatografia gasosa. Utilizou-se o método de extração em fase sólida (SPE) para *clean-up* das amostras em uma coluna Strata C18-E (cartuchos de  $500\text{mg}/3\text{ml}$ ), da Phenomenex. Para preparação da coluna foram utilizados 4 ml de metanol, 2 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  e 0,5 ml de solução tampão (pH 6,8). Foram eluídos 100 ml de amostra nos cartuchos e posteriormente coletados em 4 ml de solução acetonitrila/metanol (1:1) (DONATO, *et al*, 2012).

Para realizar a separação e identificação dos componentes orgânicos da amostra foi utilizado um cromatógrafo gasoso modelo GC-2010 acoplado a um espectrômetro de massas modelo GCMS-QP2010 da marca Shimadzu. Foi utilizada uma coluna CP 7420 ( $60\text{m} \times 0,25\text{mm} \times 0,25\mu\text{m}$ ), sendo utilizada a solução acetonitrila/metanol (1:1) como fase móvel e hélio como gás de arraste. A temperatura da coluna iniciou-se em  $80^\circ\text{C}$  e aumentou durante a análise até a temperatura de  $280^\circ\text{C}$ . O tempo de duração da análise foi de 70 minutos.

### Métodos de ensaios de fitotoxicidade com *L. sativa*

A toxicidade crônica foi investigada por meio do ensaio de inibição de crescimento da raiz em *Lactuca sativa*, conforme método estabelecido em Sobrero e Ronco (2004). Os ensaios foram executados através da exposição de sementes de mesma variedade e lote (*Lactuca sativa* var. Manteiga, ISLA PRO) em placas de Petri, forradas com papel filtro do tipo Whatman nº3, com 90 mm, e saturadas com 4 mL de amostra. Foram expostas 60 sementes em amostras de efluente sem qualquer diluição, na condição de 100%. Os ensaios foram realizados em triplicata, e paralelo a cada teste, um controle negativo contendo água destilada deionizada foi utilizado. Após o contato com o efluente, as sementes foram incubadas por 120 horas, no escuro, a uma temperatura de  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ$ . Posteriormente a este período, as medidas do comprimento total e da região do hipocótilo e da radícula foram mensuradas e suas diferenças testadas por meio da ANOVA *On-way* com pós teste de Tukey (SPIEGEL, 1978). Os dados foram analisados por meio dos pacotes estatísticos disponíveis no programa Instat Graphpad versão 5.0.

## Configuração do reator e métodos de tratamento

Neste trabalho foi utilizado um reator de acrílico, do tipo coluna, de formato retangular, com dimensões de 12x12x42cm, e dotado de um espaço central para acoplagem de lâmpada germicida com comprimento de onda de 254 nm, 15 watts, ativada nos ensaios envolvendo fotocatalise. O ozônio foi gerado por efeito corona, através de um ozonizador RADAST 2C, da marca *Ozoxi*, com capacidade máxima de geração de 2.000 mg h<sup>-1</sup>.

A transferência de gases para o reator foi feita com auxílio de um compressor de ar, sendo os gases difundidos para o interior do reator através de pedras porosas, dispostas em cada canto e acopladas na base.

Foram avaliados a eficiência de cinco processos oxidativos avançados pH (3-3,5): O<sub>3</sub>, UV/O<sub>2</sub>, UV/O<sub>3</sub> e duas variações do método UV/O<sub>3</sub>/Fe<sup>2+</sup> com uso de sulfato ferroso para obtenção do Fe<sup>2+</sup> em duas diferentes concentrações. Uma concentração com 50 mg L<sup>-1</sup> de Fe<sup>2+</sup>, adaptada de Kajitvichyanukul e Suntronvipart (2006), e outra de 150 mg L<sup>-1</sup> Fe<sup>2+</sup> foram utilizadas nos ensaios envolvendo o uso de catalisador.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização físico-química e cinética de degradação do efluente

A caracterização analítica geral do efluente bruto relevou presença de alguns parâmetros elevados e em desconformidade com a legislação ambiental vigente para o estado do Rio Grande do Sul, CONSEMA 128/06. Neste estudo os limites utilizados para avaliação de algumas variáveis foram enquadrados para faixas de vazão de 20≤Q<100m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Nesta faixa são estabelecidos valores máximos de emissão para DBO<sub>5,20</sub> de 150 mg L<sup>-1</sup> e DQO de 360 mg L<sup>-1</sup>. As cargas potencialmente eutrofizantes como P<sub>Total</sub> e NTK, e coliformes termotolerantes (*E. coli*) têm seus limites controlados para Q<100m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> e valores respectivos de 4 e 20 mg L<sup>-1</sup>, e de 10<sup>5</sup> para *E. coli*. Conforme exposto na tabela 1, as variáveis DBO<sub>5</sub>, DQO, NTK e *E. coli* do efluente bruto superaram os limites da legislação estadual em respectivamente 92%, 89%, 73,8% e mais de 100%.

Através da aplicação de diferentes métodos oxidativos avançados foi possível constatar a redução de carga poluente. No entanto, esta redução não foi capaz de ser suficiente para re-enquadrar o efluente dentro dos limites legais. Os métodos mais eficientes de remoção de carga poluente foram o que utilizaram catalisador com Fe<sup>2+</sup>. Aplicações do processo UV/O<sub>3</sub>/Fe<sup>2+</sup> com catalisador na concentração de 150mg L<sup>-1</sup> foi capaz de proporcionar uma diminuição mais acentuada dos valores de DQO, DBO<sub>5</sub>, NTK e P<sub>TOTAL</sub>, em respectivamente 59,07%, 50,3%, 86,77% e 74,73%. Um aumento sutil da biodegradabilidade também foi constatado após aplicação dos métodos que envolveram a presença do catalisador. Para todos os processos houve desinfecção do efluente, reduzindo a carga de coliformes termotolerantes representados por *E. coli* (Tabela 1).

**Tabela 1: Valores médios de caracterização analítica do efluente bruto e tratado com diferentes POA's.**

Parâmetros	Bruto	O <sub>3</sub>	UV	UV/O <sub>3</sub>	UV/O <sub>3</sub> /Fe <sup>2+</sup> 50mg.L <sup>-1</sup>	UV/O <sub>3</sub> /Fe <sup>2+</sup> 150mg.L <sup>-1</sup>
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )*	3.343,8	1.885	2.326,7	2.101,7	1.540,6	1.368,3
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )*	1.906,4	1.293,3	1.300	1.394,3	1.166,7	946,7
DQO/DBO*	1,75	1,46	1,79	1,51	1,45	1,32
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	79,8	40,2	45,75	44,4	10,9	10,55
P total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,95	0,72	0,46	0,53	0,35	0,24
pH*	8,04	2,75	3,21	2,76	2,55	2,64
Turbidez (NTU)*	179,72	20,43	59,28	22,18	15,44	77,31
Condutividade*	415,7	1201,7	1012,8	1338,3	1608,6	1526,5
<i>E. coli</i> UFC/100ml	2,1x10 <sup>7</sup>	(AS)	(AS)	(AS)	(AS)	(AS)

\*n= 6; AS=Ausente;

O pH diminuiu após três horas de tratamento na maioria dos processos e, em contra partida, a condutividade aumentou. Este comportamento foi menor no método UV/O<sub>2</sub>, que consequentemente foi o que apresentou menor eficiência de redução de DQO e diminuição de biodegradabilidade potencial através da relação DQO/DBO. As alterações de pH e condutividade podem estar relacionadas à formação de ácidos e sais

orgânicos, decorrente da oxidação do poluente. Os valores de condutividade aumentaram nos métodos catalisados devido a interferência do catalisador (GARCIA-SEGURA et al., 2012, NIDHEESH e GANDHIMATHI, 2012).

Os processos  $O_3$  e  $UV/O_3$ , possuíram valores próximos de remoção de DQO entre os métodos não catalisados para o tempo 90'; no entanto, a remoção assume valores distintos no tempo 180', 45,9% e 34,58%. A principal hipótese para esta diferença entre os valores pode estar relacionada à decomposição da molécula de ozônio pela radiação UV, antes da sua reação com a matriz poluente (AL-KDASI et al., 2004). Azbar et al., (2004) documentaram que o uso do processo  $UV/O_3$  é mais eficiente em meio alcalino (pH 9), para uma remoção mais alta de DQO.

### **Caracterização da fração orgânica do efluente bruto e do tratamento $UV/O_3/Fe^{2+}$ 150 mg L<sup>-1</sup>**

Devido a não uniformidade do efluente, os resultados foram analisados em três semanas diferentes de coleta, buscando a avaliação do processo de tratamento com base no perfil cromatográfico das amostras contendo os compostos que são descartados na lavanderia hospitalar. Das três amostras monitoradas por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas a da primeira semana foi a que apresentou maior quantidade de compostos identificados a partir da comparação com espectros das Bibliotecas Wiley e Nist. A Tabela 2 apresenta os compostos que foram identificados em cada amostra, considerando que a extração e análise foram realizadas em triplicata de cada amostra. Destaca-se que a maioria dos compostos encontrados não se repetiram nas amostras, confirmando a variabilidade já observada nos testes físico-químicos.

Assim, no efluente bruto coletado durante três diferentes semanas observou-se a presença de 16 diferentes compostos entre eles, fármacos, surfactantes, ácidos graxos, conservantes e esteróides. Entre compostos de difícil degradação presentes no efluente, podemos destacar os compostos que possuem anéis aromáticos, assim como compostos de cadeia longa onde há a quebra de ligações que formam subprodutos, mas que não o degradam completamente (observados nos tempos de retenção 6, 9, 11, 16). Alguns compostos encontrados nas amostras tratadas podem ser resultados da degradação de moléculas que não foram analisadas no efluente bruto, pois alguns compostos podem ficar retidos no cartucho de SPE ou podem passar pela coluna antes da extração do solvente. Como o tratamento é da amostra bruta, outros produtos de degradação podem estar sendo encontrados na amostra tratada, que não são exclusivamente dos compostos identificados na Tabela 2.

### **Avaliação da eficiência de detoxificação por meio de ensaios com *Lactuca sativa* L**

A detoxificação dos processos frente ao tratamento do efluente bruto também foi investigada por meio da aplicação de ensaios de inibição de crescimento com *L. sativa* L. A mensuração da inibição de crescimento é considerado um indicador subletal bastante sensível, permitindo detectar efeitos tóxicos a níveis de concentração baixos e insuficientes para inibir a germinação (SOBRERO e RONCO, 2004).

Os resultados da avaliação de fitotoxicidade demonstraram efeito negativo do efluente bruto sobre o crescimento da raiz, através de uma inibição relativa do comprimento total, hipocótilo e radícula em 33,65%, 25,46% e 43,42% respectivamente. Diferenças significativas quanto ao comprimento total ( $p < 0.05$ ) foram registradas para os indivíduos expostos ao efluente bruto em relação aos indivíduos expostos ao controle negativo e aos tratamentos  $O_3$ ,  $UV/O_3$  e  $UV/O_3/Fe^{2+}$  50 mg L<sup>-1</sup> e 150 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 4).

O aumento significativo do comprimento total das raízes foi registrado para quatro de cinco processos, indicando efeitos positivos na eficiência dos métodos em degradar poluentes responsáveis pela inibição de crescimento. Entre os métodos de tratamento,  $UV/O_3/Fe^{2+}$  150 mg L<sup>-1</sup> e  $O_3$  apresentaram as melhores respostas. Nestes processos houve aumento significativo do comprimento total das raízes dos indivíduos, constatada através da diferença em relação ao bruto ( $p < 0.05$ ).

Outros processos como  $UV/O_3$  e  $UV/O_3/Fe^{2+}$  50 mg L<sup>-1</sup> também apresentaram redução da toxicidade, houve diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) entre dados destes tratamentos quando comparado aos dados do efluente bruto. Apenas o processo  $UV/O_2$  não apresentou melhora, não sendo registradas diferenças significativas frente ao efluente bruto. Neste processo houve o registro de 15,21% de inibição de crescimento, correspondendo ao maior efeito tóxico registrado para os métodos avaliados.

Conforme apresentado na Tabela 3, alterações de crescimento também foram observadas através da inibição da região do hipocótilo e da radícula. As alterações de inibição do hipocótilo foram constatadas no efluente bruto e UV/O<sub>2</sub> por meio de diferenças em relação ao NC. Para os demais processos, não houve registro de inibição de crescimento do hipocótilo. A inibição sobre a radícula foi detectada nos efluentes tratados com O<sub>3</sub>, UV/O<sub>2</sub> e UV/O<sub>3</sub> por meio de diferenças significativas em relação ao NC. Somente a fotoozonização catalítica (UV/O<sub>3</sub>/Fe<sup>2+</sup> 50 e 150 mg L<sup>-1</sup>) foi capaz de reduzir a toxicidade sobre o crescimento da região radicular.

A ausência da diferença em relação ao controle negativo, representada pela água destilada deionizada, indica potencial melhoria da remoção da fitotoxicidade após aplicação dos métodos catalisados.

A absorção de poluentes é uma das causas de toxicidade que afeta o crescimento das plantas. No entanto, mesmo absorvidos eles podem ser capazes de ser convertidos pelo metabolismo resultando em diferentes respostas tóxicas (MIGLIORE et al., 2003).

**Tabela 2: Compostos encontrados durante as três semanas identificados pelo espectrômetro de massas com o tempo de retenção na coluna cromatográfica e identificação no cromatograma da Figura 3.**

*	Efluente bruto Semana 1			Efluente bruto semana 2			Efluente bruto semana 3		
	T <sub>R</sub> (min.)	S	Nomenclatura	S	Nomenclatura	S	Nomenclatura	S	Nomenclatura
1	16,360	9	ácido cáprico	8	ácido cáprico				
		6		8					
2	18,746	9	Metilparabeno	8	2-fenil-1-(4-propóxifenil)	8	4-propoxibenzoato de metila		
		6		5	etanona	7			
3	19,340	-	-	9	lauril álcool	8	1,2-benzenodicarboximida		
				3		8			
4	21,118	-	-	8	metil éster do ácido ftálico	8	metil éster do ácido ftálico		
				8		8			
5	21,425	9	ácido dodecanóico	9	ácido decanóico	9	ácido dodecanóico		
		6		6		6			
6	23,491	7	decil éster do ácido decanóico	7	decanoato de decila	7	decil éster do ácido decanóico		
		2		1		2			
7	23,960	9	iodeto de dodecila	7	10-Oxatetraciclo[6,4,0,0(5,9),0(4,11)]dodecano	-	-		
		5		6					
8	24,228	-	-	9	1-Tetradecanol	-	-		
				4					
9	25,180	9	lauril etoxilato	9	lauril etoxilato	-	-		
		6		7					
10	25,519	9	2-hidroxietil dodecanamida	-	-	-	-		
		6							
11	28,218	8	monododecil éster do ácido fosfórico	-	-	-	-		
		3							
12	29,791	-	-	9	2,6- dimetilfenil 2-dietilamoni acetamida	9	α-dietilamino-2,6-dimetilacetanilida		
				8		8			
13	29,789	9	2,6- dimetilfenil 2-dietilamoni acetamida	-	-	-	-		
		8							
14	30,581	9	lauril etoxilato	-	-	-	-		
		0							
15	31,068	8	1,1-Oxibisdecano	-	-	-	-		
		6							
16	31,592	7	5-Nitrouracil	-	-	-	-		
		6							

\*Identificação dos picos no cromatograma;  
S = Similaridade;



**Tabela 3: Crescimento médio da raiz e percentual de inibição relativa em *L. sativa* expostos a diferentes tratamentos.**

C. total	NC	Bruto	O <sub>3</sub>	UV	UV/O <sub>3</sub>	UV/O <sub>3</sub> /Fe <sup>2+</sup> 50 mg L <sup>-1</sup>	UV/O <sub>3</sub> /Fe <sup>2+</sup> 150 mg L <sup>-1</sup>
Amostra 1	2.94 <sup>b</sup>	1.79 <sup>acdefg</sup>	3.07 <sup>b</sup>	2.41 <sup>b</sup>	2.54 <sup>b</sup>	3.07 <sup>b</sup>	2.96 <sup>b</sup>
Amostra 2	3.31 <sup>bd</sup>	2.15 <sup>acef</sup>	3.10 <sup>b</sup>	2.67 <sup>a</sup>	3.10 <sup>b</sup>	2.71	3.14 <sup>b</sup>
Amostra 3	3.03 <sup>b</sup>	2.20 <sup>acdefg</sup>	2.85 <sup>bd</sup>	2.79 <sup>bcf</sup>	3.15 <sup>b</sup>	2.82 <sup>bd</sup>	2.99 <sup>b</sup>
<b>Média</b>	<b>3.09<sup>b</sup></b>	<b>2.05<sup>acefg</sup></b>	<b>3<sup>b</sup></b>	<b>2.62</b>	<b>2.93<sup>b</sup></b>	<b>2.87<sup>b</sup></b>	<b>3.03<sup>b</sup></b>
DP	0.20	0.23	0.14	0.19	0.34	0.19	0.09
CV (%)	6.33	10.99	4.56	7.42	11.50	6.47	3.11
<b>Inib. (%)</b>	<b>0</b>	<b>33,65</b>	<b>2,9</b>	<b>15,21</b>	<b>5,1</b>	<b>7,11</b>	<b>1,9</b>
<b>Hipocótilo</b>							
Amostra 1	1.56 <sup>e</sup>	1.06 <sup>cefg</sup>	1.91 <sup>b</sup>	1.50 <sup>e</sup>	1.60 <sup>abdf</sup>	1.94 <sup>be</sup>	1.88 <sup>b</sup>
Amostra 2	1.61 <sup>be</sup>	1.25 <sup>aceg</sup>	1.89 <sup>bdf</sup>	1.46 <sup>ceg</sup>	1.97 <sup>abdf</sup>	1.50 <sup>ce</sup>	1.81 <sup>bd</sup>
Amostra 3	1.64 <sup>bf</sup>	1.29 <sup>acdefg</sup>	1.84 <sup>bd</sup>	1.49 <sup>bcfg</sup>	2.07 <sup>b</sup>	1.63 <sup>abd</sup>	1.85 <sup>bd</sup>
<b>Média</b>	<b>1.61<sup>b</sup></b>	<b>1.20<sup>acefg</sup></b>	<b>1.88<sup>bd</sup></b>	<b>1.48<sup>ce</sup></b>	<b>1.88<sup>bd</sup></b>	<b>1.69<sup>b</sup></b>	<b>1.85<sup>b</sup></b>
DP	0.04	0.12	0.04	0.02	0.25	0.23	0.03
CV (%)	2.56	10.22	1.93	1.59	13.17	13.36	1.75
<b>Inib.(%)</b>	<b>0</b>	<b>25,46</b>	<b>0</b>	<b>8,07</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Radícula</b>							
Amostra 1	1.38 <sup>bc</sup>	0.74 <sup>ad</sup>	1.18 <sup>a</sup>	0.93 <sup>b</sup>	0.95	1.17	1.08
Amostra 2	1.70 <sup>b</sup>	0.89 <sup>ag</sup>	1.20 <sup>a</sup>	1.18 <sup>a</sup>	1.13 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>
Amostra 3	1.47 <sup>bde</sup>	0.95 <sup>ac</sup>	1.00 <sup>bfg</sup>	1.32 <sup>a</sup>	1.07 <sup>a</sup>	1.19 <sup>b</sup>	1.19 <sup>b</sup>
<b>Média</b>	<b>1.52<sup>bcde</sup></b>	<b>0.86<sup>a</sup></b>	<b>1.12<sup>a</sup></b>	<b>1.14<sup>a</sup></b>	<b>1.05<sup>a</sup></b>	<b>1.19</b>	<b>1.20</b>
DP	0.17	0.11	0.11	0.20	0.09	0.03	0.12
CV (%)	11.14	12.34	9.60	17.12	9.02	2.19	10.24
<b>Inib.(%)</b>	<b>0</b>	<b>43,42</b>	<b>26,31</b>	<b>25,00</b>	<b>30,92</b>	<b>21,7</b>	<b>21,05</b>

DP= Desvio padrão; CV= Coeficiente de variação; Inib (%). = Percentual de inibição da germinação em relação ao controle negativo; NC = Controle negativo. Letras de “a” até “g” indicam as diferenças significativas (p<0.05) entre as colunas a (NC) até g (UV/O<sub>3</sub>/Fe<sup>2+</sup> 150 mg L<sup>-1</sup>) por meio do teste de Tukey.

## CONCLUSÕES

No presente trabalho, a ozonização fotocatalítica apresentou resultados promissores sobre a redução de indicadores fitotoxicidade do efluente bruto. A redução destes dois indicadores foi observado após aplicação de processos não catalisados (O<sub>3</sub> e UV/O<sub>3</sub>) e metal-catalisados (UV/O<sub>3</sub>/Fe<sup>2+</sup> 50 e 150 mg L<sup>-1</sup>), indicando maior eficiência na remoção de compostos poluentes da matriz estudada.

Os resultados deste trabalho indicaram que efluentes de lavanderia hospitalar são fitotóxicos e apresentam riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde humana quando não tratados. A fitotoxicidade foi reduzida após aplicação de ozonização e de fotoozonização catalítica. Os métodos envolvendo o uso de catalisador com Fe<sup>2+</sup> apresentaram os melhores resultados para remoção de carga poluente e fitotoxicidade.

Os métodos envolvendo a combinação UV/O<sub>2</sub> e UV/O<sub>3</sub> apresentaram os piores desempenhos. Ao contrário do esperado, UV/O<sub>3</sub> não obteve o desempenho satisfatório e a ineficiência pode ter relação com a decomposição antecipada da molécula de ozônio no reator. Valores de ineficiência destes métodos também foram detectados nas alterações de crescimento da radícula de *L. sativa*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th ed. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington, DC., 2012.
2. EMMANUEL, E., PERRODIN, Y., KECK, G., BLANCHARD, J.-M., VERMANDE, P.,. Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network. J. Hazard. Mater. 117, 1-11, 2005.
3. KIST, L. T., ALBRECHT, C., MACHADO, E. L. Hospital Laundry Wastewater Disinfection with Catalytic Photoozonation. Clean 36, 775 – 780, 2008.
4. KÜMMERER, K.. The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use--present knowledge and future challenges. J. Environ. Manage. 90, 2354-2366, 2009.
5. MACHADO, E.L., KIST, L. T., SCHMIDT, R., HOELTZ, J. M., DALBERTO, D., ALCAYAGA, E. L. A.,. Secondary Hospital Wastewater Detoxification and Disinfection by Advanced Oxidation Processes. Environ. Technol. 28, 1135-1143, 2007.