

## II-103 - EFLUENTES TÊXTEIS: TRATAMENTO COM IRRADIAÇÃO POR FEIXE DE ELÉTRONS PARA A REDUÇÃO DE COR E TOXICIDADE

**Vanessa Silva Granadeiro Garcia<sup>(1)</sup>**

Bióloga pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Mestre em Ciências, ênfase Tecnologia Nuclear-aplicações, pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/USP). Doutoranda em Ciências no IPEN/USP. Atuação em docência e pesquisa na área de efluentes industriais e amostras ambientais.

**Sueli Ivone Borrely<sup>(1)</sup>**

Bióloga. Doutora em Aplicações Ambientais da Tecnologia Nuclear com ênfase na redução da toxicidade aguda de efluentes industriais. Pesquisadora do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, SP e responsável pelo Laboratório de Ensaios Biológicos Ambientais. Atua como professora-orientadora do Programa de Pós-graduação do IPEN/USP na área de Aplicações da Tecnologia Nuclear. Membro da Comissão Especial de Energia Nuclear.

**Jorge Marcos Rosa<sup>(1)</sup>**

Pós Doutor em Ciências e Engenharia de Processos Têxteis, Pós Doutor em Engenharia Química, Doutor em Engenharia Química, Mestre em Engenharia de Produção. É professor colaborador na FEQ-UNICAMP e aluno de Pós Doutorado em Tecnologia das Radiações no IPEN-USP. Atua nas áreas de Processos Químicos Têxteis, Tratamento de Efluentes, Modelagem Matemática aplicada em Otimização de Processos e Reuso de Água em Processos Industriais.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Professor Lineu Prestes, 2242- Butantã- São Paulo – SP – CEP: 05508-000 - Brasil - Tel: (11) 3133-9817 - e-mail: [vanessagranadeiro@gmail.com](mailto:vanessagranadeiro@gmail.com)

### RESUMO

Com um faturamento superior a US\$ 330 bilhões ao ano, o setor têxtil possui expressividade na economia mundial. Este setor utiliza importante quantidade de água durante a produção, enquanto gera efluentes que contém residuais de surfactantes, peróxidos, ácidos e sais, podendo apresentar elevada carga tóxica. Além disso, comumente os efluentes têxteis apresentam coloração. Os Processos Oxidativos Avançados vêm sendo utilizados para melhorar a tratabilidade desse tipo de efluente, complementando o tratamento biológico. A irradiação com feixes de elétrons tem sido proposta como tecnologia para a redução da toxicidade, coloração, demanda química de oxigênio e carbono orgânico total em efluentes têxteis. O objetivo do presente estudo foi avaliar a toxicidade de três compostos, utilizados no processo de beneficiamento das fibras de algodão, a organismos aquáticos, bem como o uso da tecnologia por feixe de elétrons visando à redução da toxicidade e cor de efluentes. Os ensaios de toxicidade para efeito agudo foram realizados com organismos aquáticos: a bactéria *Vibrio fischeri* e o microcrustáceo *Daphnia similis*, que foram expostos ao peróxido de hidrogênio, metassilicato de sódio e dispersante/sequestrante. O efluente, bem como o sequestrante/dispersante foram submetidos à irradiação em acelerador de feixe de elétrons (EBI), com variação de dose entre 0,5 e 20 kGy. Os compostos selecionados apresentaram toxicidade para ambos os organismos: peróxido de hidrogênio CE50 = 0,98 mg/L (*D. similis*) e 0,69 mg/L (*V. fischeri*). O dispersante/sequestrante apresentou valor de CE50(%) de 32,00 para *V. fischeri*. Quando submetido ao tratamento com irradiação (2,5 kGy) houve melhora em relação à toxicidade para o mesmo organismo (eficiência de 25%). O tratamento com irradiação melhorou a toxicidade e a coloração do efluente. A eficiência de redução da toxicidade foi de aproximadamente 50% para *D. similis* e 80% para *V. fischeri* (dose = 10 kGy). A remoção da coloração foi superior a 90%, nas mesmas condições. Nota-se a importância da análise isolada de contaminantes presentes em efluentes têxteis, sendo possível caracterizar os compostos de maior toxicidade para organismos que são representativos na biota aquática. A irradiação por feixe de elétrons apresentou resultados promissores do ponto de vista de melhoria de tratamento deste efluente, com redução de toxicidade e coloração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Acelerador de elétrons, Efluente têxtil, Irradiação, Toxicidade.

## INTRODUÇÃO

O setor têxtil é um dos mais expressivos na economia mundial, com movimentação superior a 330 bilhões de dólares ao ano. A Ásia lidera a produção têxtil, com cerca de 2/3 do total fabricado, sendo a China responsável por 50,2% da produção de têxteis. Este representa o maior mercado consumidor desses produtos no mundo, seguida da Índia. O Brasil ocupa o 5º lugar na produção mundial de têxteis, com 2,4% do total (Bezerra *et al.*, 2014).

No Brasil, o setor têxtil teve um faturamento de US\$ 39,3 bilhões em 2015, com produção média têxtil de 1,8 milhão de toneladas e produção média de confecção de 6,7 bilhões de peças. O setor conta com 32 mil empresas cadastradas em todo país e é o 2º maior empregador da indústria brasileira (ABIT, 2017).

Um aspecto de importância na produção têxtil é o efluente gerado no beneficiamento das fibras, que geralmente possui coloração artificial e contaminação com surfactantes, umectantes, corantes, peróxido de hidrogênio, sais, entre outros contaminantes que podem representar riscos aos corpos receptores, incluindo efeitos tóxicos aos organismos aquáticos.

Tais compostos são de difícil remoção por procedimentos convencionais de tratamento de efluentes e podem ser transportados facilmente através de esgotos e rios, especialmente porque eles são projetados para ter alta solubilidade em água (Wang *et al.*, 2002; Ratna & Padhi, 2012). Além disso, os corantes utilizados no tingimento das fibras podem sofrer alterações químicas sob determinadas condições ambientais (degradação biológica ou fotoquímica), e os produtos de transformação podem, eventualmente, ser mais tóxicos e/ou carcinogênicos do que o composto original (Sanchez *et al.*, 2006; Tripathi & Srivastava, 2012).

Devido às características dos efluentes têxteis, além do tratamento biológico, vêm sendo proposto o uso de Processos Oxidativos Avançados (POAs) para garantir melhor eficiência no tratamento destes (Ratna & Padhi, 2012; Ranganathan *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2011).

Neste aspecto, a irradiação com feixes de elétrons tem sido proposta como uma possível tecnologia para a redução da toxicidade, da coloração, e da demanda química de oxigênio e carbono orgânico total em efluentes têxteis. Quanto à aplicação das radiações ionizantes, diferentes estudos demonstraram a eficiência na remoção de toxicidade para organismos aquáticos (Borrely *et al.*, 2016); redução significativa da demanda química de oxigênio, carbono orgânico total e cor com doses relativamente baixas de radiação até 9 kGy (Abdou *et al.*, 2011; Ting & Jamaludin, 2008; Vahdat *et al.*, 2010; Wojnárovits & Takács, 2008).

Possíveis danos a organismos relacionados aos compostos e efluentes têxteis têm sido reportado na literatura: efeito tóxico do efluente com o Reactive Blue 222 para *D. similis*, *V. fischeri* e *B. plicatilis* (Borrely *et al.*, 2016); genotoxicidade e alterações gerais em *D. rerio* (Zhang *et al.*, 2012); alterações no sistema hematopoiético de ratos albinos (Sharma *et al.*, 2007); efeito tóxico do banho de tingimento reativo para *D. magna*; *L. sativum*, *C. sativus* e *P. subcapitata* (Tigini *et al.*, 2011); toxicidade e genotoxicidade de efluentes têxteis para vários organismos aquáticos (Ratna & Padhi, 2012).

O objetivo do presente estudo foi avaliar a toxicidade de três compostos químicos, utilizados no processo de beneficiamento das fibras de algodão, a organismos aquáticos, bem como o uso da tecnologia por feixe de elétrons visando à redução da toxicidade e cor de efluentes que os contém.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho consistiu na avaliação de toxicidade em amostras de efluente têxtil com e sem o tratamento por irradiação, bem como em três substâncias amplamente empregadas durante o processo de beneficiamento têxtil. Os resultados dos ensaios de toxicidade também foram empregados na avaliação do processo de tratamento aqui proposto, a irradiação com feixe de elétrons. Este processo em estudo também visou à redução de coloração das amostras de efluentes sendo empregadas doses de radiação entre 0,5 a 20 kGy. A unidade de dose de radiação, Gray, corresponde à dose absorvida por unidade de massa do material (1 Gy = 1 J/kg).

Com base na análise dos compostos utilizados para o beneficiamento das fibras de algodão, foram selecionados alguns agentes para a avaliação da toxicidade: peróxido de hidrogênio e metassulfato de sódio (compostos inorgânicos) e “*Levelling Agent*” = Sequestrante/Dispersante (composto orgânico). As concentrações iniciais, de cada composto, foram fornecidas pela indústria e a partir daí foram diluídas para os ensaios de toxicidade.

A irradiação por feixe de elétrons foi aplicada ao composto orgânico visando análise de redução de toxicidade, bem como no efluente (em triplicata). As amostras foram irradiadas no CTR/IPEN, em acelerador de elétrons (Modelo Dynamitron), com energia fixada em 1,4 MeV, variando a corrente do feixe eletrônico e a velocidade da esteira que transporta as amostras (fixada em 6,72 m.min<sup>-1</sup>). A dose de radiação selecionada para o Sequestrante/Dispersante foi de 2,5 kGy e para o efluente têxtil as doses variaram de 2,5 a 10 kGy.

Os organismos selecionados para a determinação da toxicidade para efeito agudo foram o microcrustáceo *Daphnia similis* e a bactéria *Vibrio fischeri*. Os métodos de ensaio seguiram as Normas ABNT NBR 12713:2009 e 15411:2012, respectivamente. Os resultados dos ensaios de toxicidade foram expressos pela CE50 (concentração efetiva mediana de efeito), sendo a imobilidade dos organismos o efeito observado no caso de *D. similis* e a redução de luminescência no caso de *V. fischeri*. Todos os ensaios de toxicidade foram realizados em triplicata.

A eficiência da irradiação quanto à redução de toxicidade foi obtida a partir dos valores de CE50, transformados para unidade de toxicidade (UT), seguindo com o cálculo (equação 1):

$$UT = \frac{100}{CE50} \quad \text{equação (1)}$$

$$RT (\%) = \left( \frac{UT_0 - UT_{irrad}}{UT_0} \right) \times 100$$

Em que: UT<sub>0</sub>= Unidades Tóxicas antes da irradiação; UT<sub>irrad</sub>= Unidades Tóxicas após a irradiação.

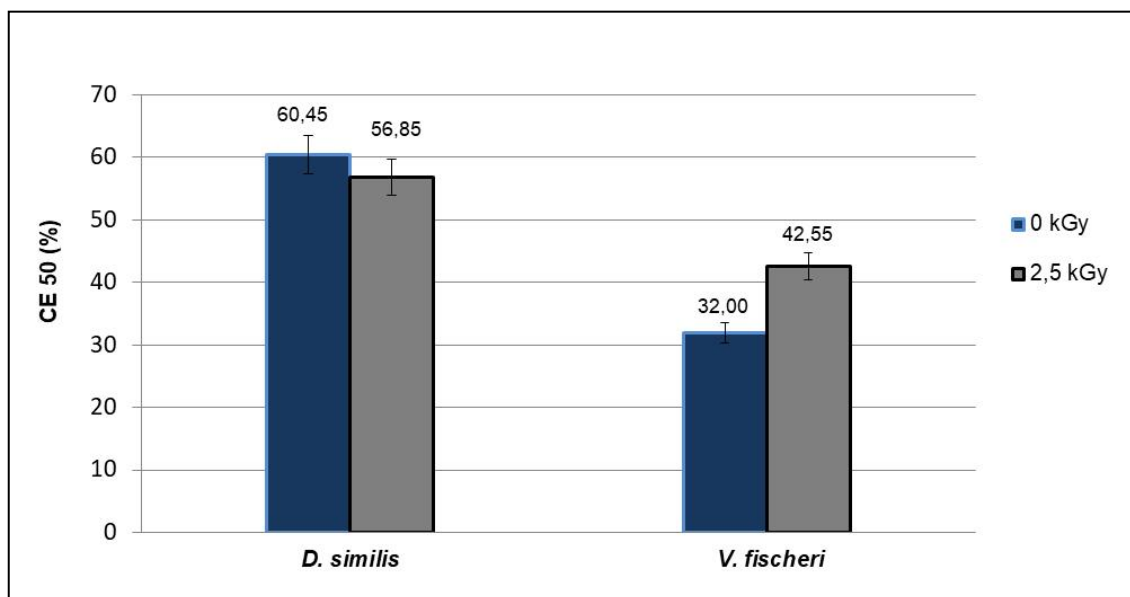
A espectrofotometria foi utilizada para a análise de cor de efluentes irradiados e não irradiados. As leituras de absorvância foram realizadas a 430 nm. A remoção de cor (%) foi calculada da seguinte forma (equação 2):

$$\text{Remoção de cor (\%)} = (A_0 - A_i) / A_0 \times 100\% \quad \text{equação (2)}$$

Em que: A<sub>0</sub> = absorvância do efluente antes da irradiação; A<sub>i</sub> = absorvância do efluente após a irradiação.

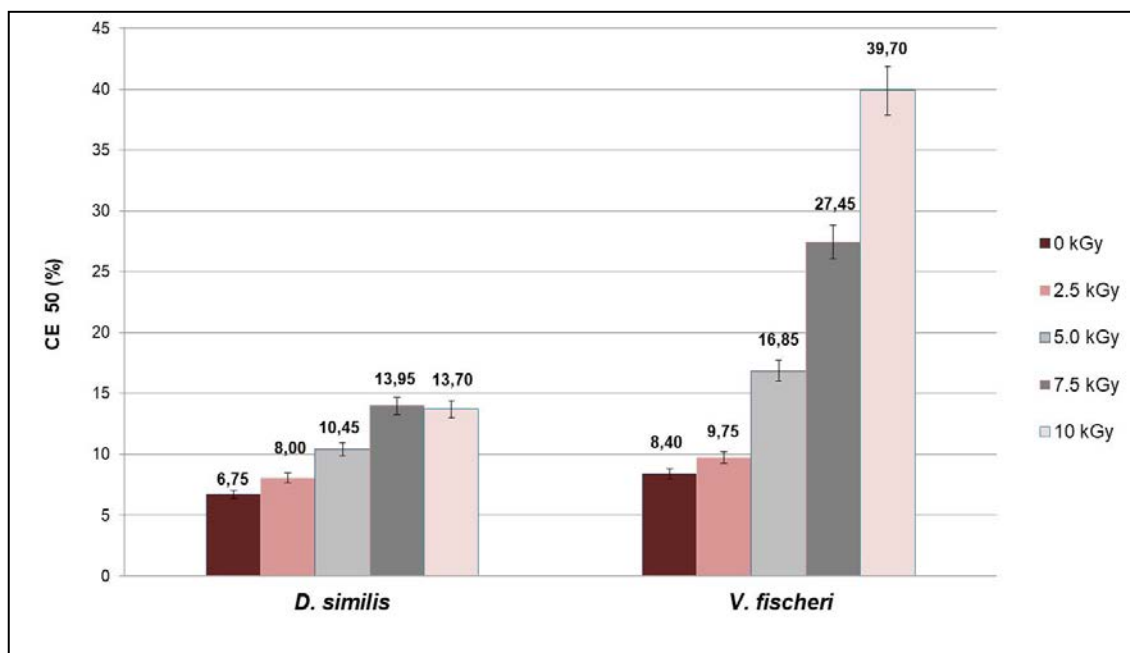
## RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

A toxicidade do dispersante/sequestrante foi analisada antes e após a irradiação com feixe de elétrons, conforme a Figura 1. Comparando os valores de CE50, observa-se que o produto foi menos tóxico para *D. similis* que para a bactéria *V. fischeri*. Com relação ao tratamento com feixe de elétrons, houve redução de aproximadamente 25% em relação à toxicidade para *V. fischeri*, exposta à amostra irradiada com 2,5 kGy. Para *D. similis*, o composto tratado não apresentou diferença significativa em relação à amostra não tratada.



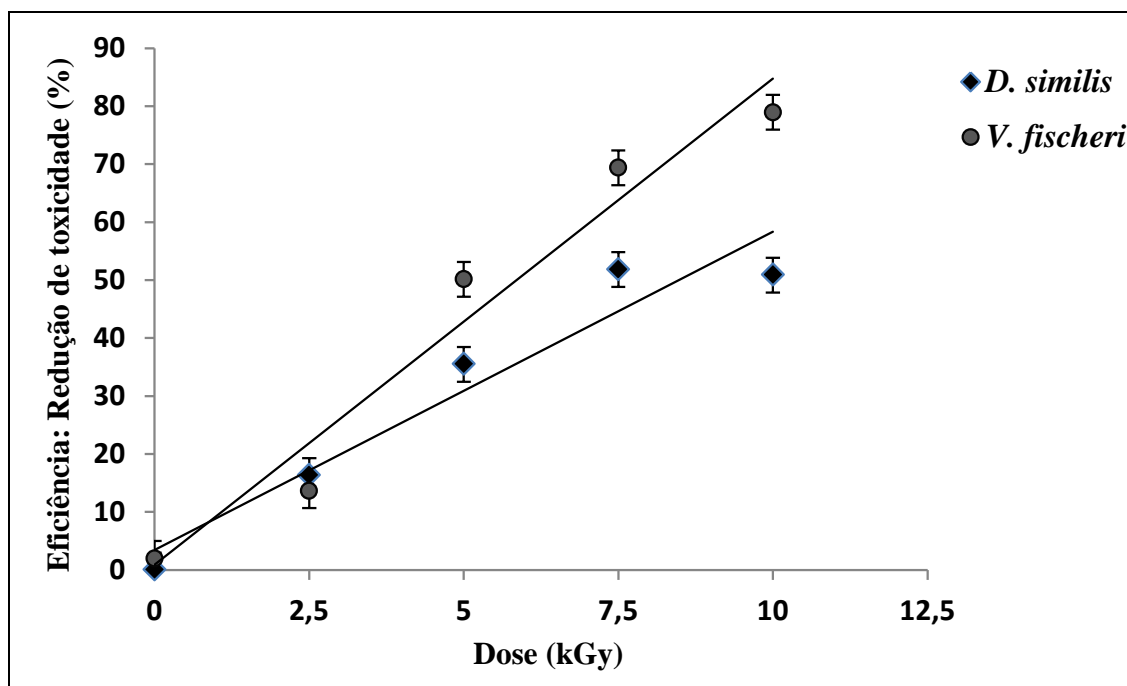
**Figura 1: Toxicidade aguda para *D. similis* e *V. fischeri* para sequestrante/dispersante antes e após tratamento com feixe de elétrons.**

Os resultados de toxicidade aguda, expressos pela CE50 (%), para o efluente têxtil tratado com feixe de elétrons foram apresentados na figura 2. Para ambos os organismos o efluente não tratado foi tóxico, com CE50 (%) inferior a 9. O tratamento com irradiação melhorou significativamente a toxicidade do efluente. Para *V. fischeri*, por exemplo, a CE50 (%) foi aproximadamente 5 vezes maior na dose de 10 kGy; aumentando de 8,40 para 39,70%.



**Figura 2: Toxicidade aguda para *V. fischeri* e *D. similis* expostas ao efluente têxtil antes e após a irradiação com feixe de elétrons.**

O tratamento com feixe de elétrons promoveu significativa melhora em relação à toxicidade do efluente para os organismos expostos. A eficiência de redução de toxicidade foi de aproximadamente 50% para *D. similis* e 80% para *V. fischeri*, quando aplicada a dose de 10 kGy (figura 3).



**Figura 3: Redução de toxicidade do efluente para *D. Similis* e *V. fischeri* em função da dose absorvida.**

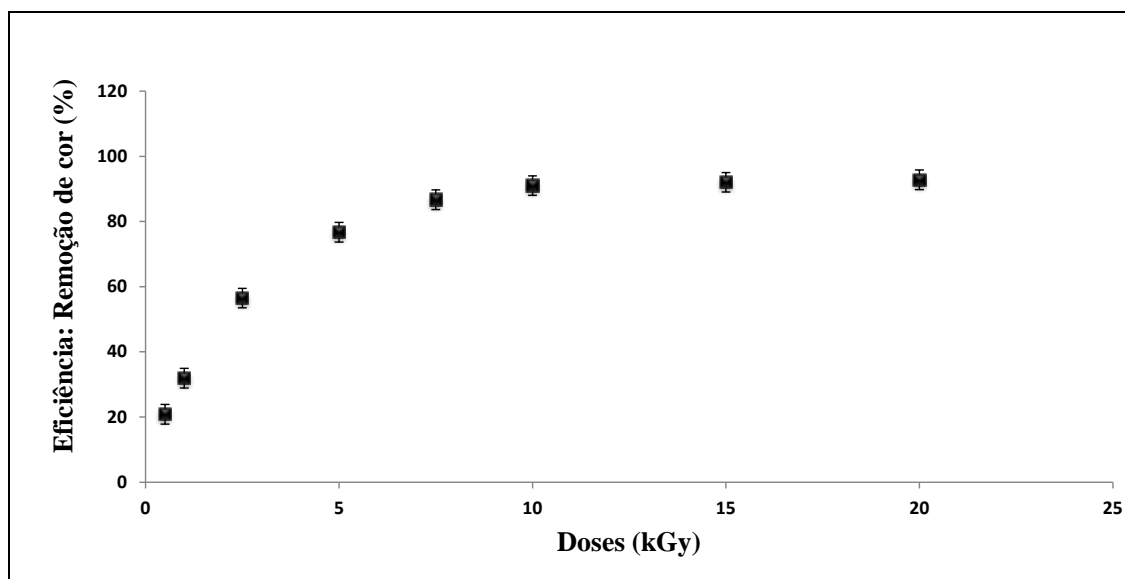
Resultados de remoção de toxicidade em efluentes irradiados, e semelhantes a este estudo foram demonstrados por Borrelly *et al.*, 2016, para corante têxtil RB222 irradiado com feixe de elétrons: eficiência de redução de toxicidade de 34,55% para *D. similis* e 47,83% para *B. plicatilis* (2,5 kGy). Para *V. fischeri* a dose de 5 kGy apresentou melhor resultado com uma eficiência de 57,29%.

Em relação aos efeitos negativos de compostos e efluentes têxteis (indução de toxicidade): Tigini *et al.* (2011) revelaram alta toxicidade durante o processamento de fibras de algodão para *D. magna* - CE50 7,2%; *L. sativum* - CE50 2,8%; *C. sativus* - CE50 4,4% e *P. subcapitata* - CE50 2,2%. Danos a *Lemna aequinoctialis*, como fragmentação de células, perda de raízes e redução de 50% até 70% são citados por Sharma *et al.*, 2007. Esterilização completa de ratos albinos expostos a efluentes não tratados e alterações no sistema hematopoiético de ratos albinos suíços, tais como: redução do tamanho dos glóbulos vermelhos (13-27%); aumento de ureia, creatinina e bilirrubina (5-97%); glicose diminuída, proteína total, albumina (8-53%) também são reportadas na literatura (Suryavathi *et al.*, 2005; Sharma, Kalpana *et al.*, 2007).

Alta atividade mutagênica devido a efluentes e corantes têxteis também foi reportada em diferentes trabalhos: 70% de possibilidade de mutagenicidade pelo teste de Ames/*Salmonella* em efluentes não tratados da indústria têxtil bem como em águas superficiais do rio receptor Amani Shah (Índia) foram evidenciados por Mathur *et al.*, 2005. Os corantes têxteis Disperse Blue 373 e Disperse Violet 93 foram os principais responsáveis para a mutagenicidade em análise de água do rio Piracicaba em São Paulo (Brasil), contribuindo com mais de 44% da atividade mutagênica nestas águas (Vacchi *et al.*, 2017).

Com base nos resultados de toxicidade, o peróxido de hidrogênio foi altamente tóxico para ambos os organismos com CE50 = 0,98 mg/L para *D. similis* e 0,69 mg/L para *V. fischeri*. Já o metassulfato de sódio foi mais tóxico para *V. fischeri* com CE50 = 100,4 mg/L; enquanto para *D. similis* CE50 = 207,2 mg/L. Cabe destacar que CE50 é parâmetro inversamente proporcional.

O tratamento com irradiação por feixe de elétrons foi efetivo para remoção de cor dos efluentes têxteis: remoção > 90% a partir de 10 kGy; sendo que em doses menores (2,5 kGy), por exemplo, já foi possível a redução > 50% (Figura 4).



**Figura 4: Remoção de cor (%) do efluente em função da dose de radiação empregada no tratamento com irradiação.**

Os resultados obtidos neste trabalho com relação à remoção de cor do efluente têxtil empregando a irradiação corroboram com a literatura: Abdou *et al.*, 2011; Borrelly *et al.*, 2016; Kim *et al.* 2011; Ting & Jamaludin, 2008; Vahdat *et al.*, 2010; Wojnárovits & Takács, 2008. Os autores também aplicaram doses relativamente baixas de radiação, obtendo boa eficiência.

Vahdat *et al.*, 2010, destacaram 6 kGy para solução com C.I. Preto Direto 22 (50 ppm) atingindo 100% de remoção. Para a solução 3RF Amarelo Reativo, 7 kGy foi suficiente para mais de 80% de remoção na cor (Abdou *et al.*, 2011). Remoção de 40-70% de coloração na dose de 8kGy é reportada por Ting *et al.*, 2008.

Exemplos de estudos que envolveram a irradiação para efluentes têxteis foram organizados na tabela 1, com a finalidade de demonstrar a faixa de dose de radiação que vem sendo proposta para esse tipo de efluente, bem como parâmetros analisados.

**Tabela 1: Estudos com irradiação para efluentes e corantes têxteis.**

Objeto de Estudo	Faixa de dose de radiação (kGy)	Autores/Ano de publicação
Efeito tóxico de diferentes efluentes têxteis ( <i>D. similis</i> , <i>V. fischeri</i> )	0,5 - 40	Higa, M. C., 2008
Efeito de corantes reativos a diversos organismos aquáticos (Preto B e Alaranjado 3R). ( <i>D. similis</i> , <i>V. fischeri</i> e <i>B. glabrata</i> )	0,5- 10	Pinheiro, A. S., 2011
Efeito tóxico de diferentes efluentes têxteis ( <i>D. similis</i> , <i>V. fischeri</i> e <i>B. plicatilis</i> )	0,5 - 20	Borrelly <i>et al.</i> , 2016
Cor, DQO e pH de diferentes corantes têxteis reativos e dispersos	0,5 - 215	Ting <i>et al.</i> , 2008
COT, DQO, pH e Cor de diferentes corantes têxteis em solução com e sem H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (C.I. Direct Blue 4GL; Reactive yellow 3RF; C.I.Direct Green 5GLL e C.I. Reactive Blue RB19)	0,5 - 7	Abdou <i>et al.</i> , 2011
Cor, DQO e pH do corante têxtil Direct Black 22 em solução	0 - 9	Vahdat <i>et al.</i> , 2010
TOC, DQO, DBO, pH e Cor de efluentes têxteis	0- 4,3	Kim <i>et al.</i> , 2011



## CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram a importância da análise isolada em contaminantes presentes em efluentes têxteis, de modo a caracterizar melhor o efluente e buscar alternativas adequadas para o tratamento. A irradiação com feixe de elétrons se apresenta como uma ferramenta promissora para a redução de toxicidade e de coloração de efluentes têxteis, em doses relativamente baixas. O estudo de contaminantes em efluentes, bem como de efluentes têxteis, podem subsidiar planos de ação para auxiliar na manutenção e preservação dos corpos hídricos receptores de efluentes. O emprego de mais de um organismo teste é recomendado e pode confirmar o nível de toxicidade de efluente bem como sua carga tóxica a ser diluída em um determinado corpo receptor. Nem sempre a eficiência de redução de toxicidade de um processo de tratamento é confirmada quando se empregam distintas classes de organismos aquáticos, mesmo com a recomendação de emprego dos organismos mais sensíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABDOLU, L.A.W, HAKEIM, O.A, MAHMOU, M.S., EL-NAGGAR, A.M. Comparative study between the efficiency of electron beam and gamma irradiation for treatment of dyes solutions. *Chemical Engineering Journal* 168: 752–758, 2011.
2. ABIT. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. 2017. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em 09 de março de 2017.
3. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ecotoxicologia aquática – Determinação do efeito inibitório de amostras de água sobre a emissão de luz de *Vibrio fischeri*. ABNT NBR 15411, Rio de Janeiro, 2012.
4. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade Aguda- Método de ensaio com *Daphnia spp* (Crustacea, Cladocera). ABNT NBR 12713, Rio de Janeiro, 2009.
5. BEZERRA, F. D. Análise retrospectiva e prospectiva do setor têxtil no Brasil e no nordeste. Informe Técnico do ETENE (Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste). Informe Macroeconomia, Indústria e Serviços, Fortaleza, Ano VIII,2, 2014.
6. BORRELY, S.I., MORAIS, A.V., ROSA, J.M., BADARÓ-PEDROSO, C., PEREIRA, M.C., HIGA, M.C. Decoloration and detoxification of effluents by ionizing radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 124, p. 198–202, 2016.
7. HIGA, M. C. Aplicação de ensaios de toxicidade na avaliação da eficiência da radiação ionizante e da adsorção em zeólitas para tratamento de efluentes coloridos. São Paulo, 2008. Dissertação de mestrado- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo, 2008.
8. KIM, Y., KIM, J., HAN, B. Application of an Electron Accelerator for the Treatment of Wastewater from Textile Dyeing Industries. *Journal of the Korean Physical Society*. 59 (6), 3489-3493, 2011.
9. MATHUR, N., BHATNAGAR, P., NAGAR, P., BIJARNIA, M. K. Mutagenicity assessment of effluents from textile/dye industries of Sangner, Jaipur (India): a case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 61, 105–113, 2005.
10. PINHEIRO, A. S. Avaliação da toxicidade e genotoxicidade dos corantes Azo reativos Remazol Preto B e Remazol Alaranjado 3R e da eficácia da radiação com feixe de elétrons na redução da cor e feitos tóxicos. São Paulo, 2011. Tese de doutorado- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo, 2011.
11. RANGANATHAN, K., KARUNAGARAN, K., SHARMA, D.C. Recycling of wastewaters of textile dyeing industries using advanced treatment technology and cost analysis—Case studies. *Resources, Conservation and Recycling*. 50, 306–318, 2007.
12. RATNA, PADHI, B.S. Pollution due to synthetic dyes toxicity & carcinogenicity studies and remediation. *International Journal of Environmental Sciences* 3:940-955, 2012.
13. SANCHEZ-PRADO L., LOMPART, M., LORES, M., GARCMA-JARES, C., BAYONA, J.M., CELA, R. Monitoring the photochemical degradation of triclosan in waste water by UV light and sunlight using solid phase micro-extraction. *Chemosphere* 65: 1338- 1347, 2006.
14. SHARMA, S., KALPANA, ARTI, SHWETA, SURYAVATHI, V., SINGH, P. K., RAMESH, SHIPRA., SHARMA, K. P. Toxicity assessment of textile dye wastewater using swiss albino rats. *Australasian Journal of Ecotoxicology*. 13, 81-85, 2007.

15. SHARMA, K.P., SHARMA, S., SHARMA, SUBHASINI, SINGH, P.K., KUMAR, S., GROVER, R., SHARMA, P. K. A comparative study on characterization of textile wastewaters (untreated and treated) toxicity by chemical and biological tests. *Chemosphere* 69, 48–54, 2007.
16. SURYAVATHI, V., SHARMA, S., SHARMA, SHWETA., SAXENA, P., PANDEY, S., GROVER, R., KUMAR, S., SHARMA, K. P. Acute toxicity of textile dye wastewaters (untreated and treated) of Sangner on male reproductive systems of albino rats and mice. *Reproductive Toxicology*. 19, 547–556. 2005.
17. TIGINI, V., GIANSAINTI, P., MANGIAVILLANO, A., PANNOCCHIA, A., VARESE, G. C. Evaluation of toxicity, genotoxicity and environmental risk of simulated textile and tannery wastewaters with a battery of biotests. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74, 866–873, 2011.
18. TING, T.M., JAMALUDIN, N. Decolorization and decomposition of organic pollutants for reactive and disperse dyes using electron beam technology: Effect of the concentrations of pollutants and irradiation dose. *Chemosphere* 73: 76–80, 2008.
19. TRIPATHI, A., SRIVASTAVA, S. K. Biodegradation of Orange G by a novel isolated bacterial strain *Bacillus megaterium* ITBHU01 using response surface methodology. *African J. of Biotech.*, 11(7), 1768-1781, 2012.
20. VACCHI, F.I., VENDEMIATTI, J.A.S., SILVA, B.F., ZANONI, M.V.B., UMBUZEIRO, G. A. Quantifying the contribution of dyes to the mutagenicity of waters under the influence of textile activities. *Science of the Total Environment* 601-602: 230–236, 2017.
21. VAHDAT, A., BAHRAMI, S.H., ARAMI, M., MOTAHARI, A. Decomposition and decoloration of a direct dye by electron beam radiation. *Radiation Physics and Chemistry* 79: 33–35, 2010.
22. WANG, C., YEDILER, A., LINERT, D., WANG, Z., KETTRUP, A. Toxicity evaluation of reactive dye stuff, auxiliaries and selected effluents in textile finishing industry to luminescent bacteria *Vibrio fischeri*. *Chemosphere*, 46, 339-344, 2002.
23. WOJNÁROVITS, L., TAKÁCS, E. Irradiation treatment of azo dye containing wastewater: An overview. *Radiation Physics and Chemistry* 77: 225-244, 2008.
24. ZHANG, W., LIU, W., ZHANG, J., ZHAO, H., ZHANG, Y., QUAN, X., JIN, Y. Characterization of acute toxicity, genotoxicity and oxidative stress posed by textile effluent on zebrafish. *J. Environ. Sci (China)*; 24(11):2019-27, 2012.