

Emprego de radiação ionizante em efluente de tingimento têxtil com o corante *Reactive Black 5* para a avaliação da cor e da toxicidade

Camila Gomes Melo¹

Jorge Marcos Rosa²

Leonardo Gondim de Andrade e Silva³

Maria da Conceição Costa Pereira⁴

Química Ambiental

Resumo

Os corantes reativos são os mais empregados no tingimento da fibra de algodão, e se destacam por sua estabilidade química e pelos altos índices de solidez da cor do substrato têxtil. Entretanto, a concentração de corante hidrolisado presente no banho após o tingimento pode chegar a 60% e, somados aos demais compostos orgânicos utilizados, acarretam águas residuais fortemente coloridas e com alta carga de contaminantes. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a redução da cor e da toxicidade aguda de efluente sintético de tingimento têxtil com o corante *Reactive Black 5*. O efluente têxtil foi irradiado por meio de acelerador de elétrons, nas doses de 2,5 kGy, 5,0 kGy, 7,5 kGy e 10 kGy, e submetido a análises de toxicidade aguda com o microcrustáceo *Daphnia similis* e de absorbância, por espectrofotometria visível. Os ensaios de toxicidade aguda apontaram elevada toxicidade do efluente, com valores de CE50 abaixo de 1%. A máxima absorbância do efluente bruto em 590 nm foi de 1,67. O emprego da radiação ionizante por feixe de elétrons proporcionou a redução de 20,69% da toxicidade do efluente na dose de 5 kGy e redução da cor acima de 90%, a partir de 2,5 kGy. A radiação ionizante por feixe de elétrons se mostrou eficaz no tratamento do efluente estudado, para a redução da cor e da toxicidade.

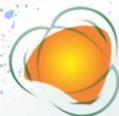
Palavras-chave: radiação ionizante; efluente têxtil; corante reativo; toxicidade; redução de cor.

¹Aluna do Curso de doutorado em Ciência na Área de Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Centro de Tecnologia das Radiações, camila.gomes.melo@hotmail.com.

²Prof. Dr., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Centro de Tecnologia das Radiações, jotarosa@hotmail.com.

³Prof. Dr., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Centro de Tecnologia das Radiações, lgasilva@ipen.br.

⁴Dr^a., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Centro de Tecnologia das Radiações, macoper@ipen.br.



INTRODUÇÃO

A crise hídrica vivenciada mundialmente expõe o desequilíbrio entre os fatores oferta e demanda. O crescente aumento populacional acarreta altas retiradas de água para suprir suas necessidades. Em 2017, a indústria brasileira de transformação foi responsável pela retirada de 2.082,7 m³/s de água, perfazendo 9,1% do total das retiradas (ANA, 2019; Mekonnen; Hoekstra, 2016).

O setor têxtil se destaca no cenário industrial, tanto por sua importância econômica, quanto pelas questões ambientais atreladas à sua cadeia produtiva, devido à elevada demanda de água requerida em diversos processos, como o tingimento com corante reativo.

Os corantes reativos são responsáveis por mais de 50% dos tingimentos da fibra de algodão (Mahapatra, 2016; Rosa et al., 2020). Eles se destacam pela boa estabilidade química, inerente à sua estrutura, que confere bons índices de solidez ao substrato tingido e, ao mesmo tempo, um baixo poder de degradação dos contaminantes (Yusuf, 2018).

Os corantes têxteis do tipo Azo representam cerca de 70% das classes empregadas no setor, sendo o corante C.I. *Reactive Black 5* considerado o de maior sucesso comercial. Ele recebe essa denominação devido ao seu grupo cromóforo (responsável pela cor) ser do tipo Azo (-N=N-) (Shore; Baldwinson, 2002; Azimi; Abdollahzadeh-Sharghi; Bonakdarpour, 2021). Sua estrutura química está representada na Figura 1.

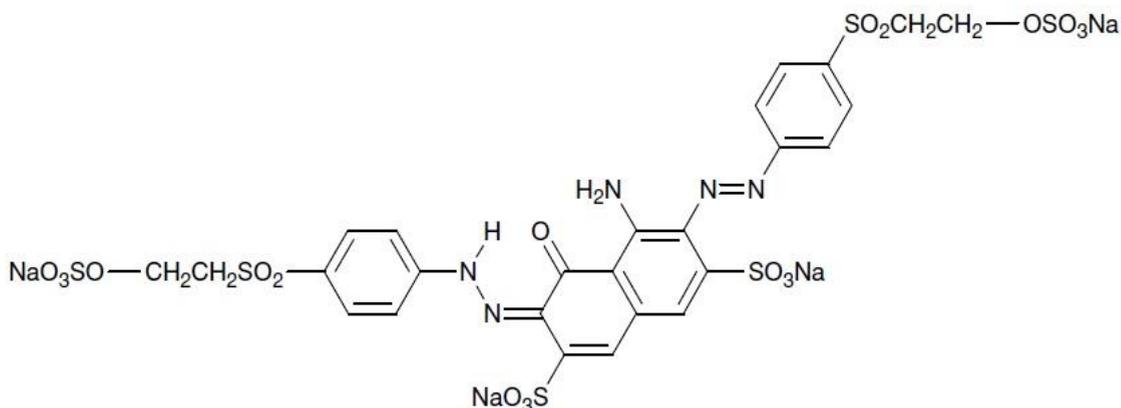


Figura 1: Representação da estrutura química do corante C.I. *Reactive Black 5* (Shore, 2002).

Realização

Apoio



A estrutura molecular do corante *Reactive Black 5* aponta a presença de dois grupos reativos iguais, obtendo a classificação de corante bi-homofuncional. Além disso, a presença de quatro grupos solubilizantes garante ao corante uma alta solubilidade.

As águas residuais provenientes de tingimentos com corantes reativos contam com a presença de insumos orgânicos e inorgânicos, contendo poluentes recalcitrantes. Essa combinação de características heterogêneas, altera os parâmetros dos corpos d'água e, conseqüentemente, a vida dos organismos aquáticos (Meto et al., 2021; Rosa et al., 2021).

Na busca por tecnologias que promovam tanto a descoloração quanto a desintoxicação das águas residuais industriais, a radiação ionizante por feixe de elétrons pode ser considerada uma nova geração para o tratamento de efluentes têxteis, sem geração de resíduos secundários e sem a necessidade de aditivos químicos.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a redução da cor e da toxicidade aguda de efluente sintético de tingimento têxtil com o corante *Reactive Black 5*.

METODOLOGIA

O efluente têxtil sintético analisado consistiu na coleta de amostras, de mesma alíquota, dos processos de beneficiamento primário, ou seja, da preparação do tecido (purga, desengomagem e alvejamento) e de beneficiamento secundário (tingimento e enxágues), conforme formulação do fabricante.

A irradiação foi realizada nas doses de 2,5 kGy, 5,0 kGy, 7,5 kGy e 10 kGy com as amostras neutralizadas, com o auxílio de ácido sulfúrico, por meio do acelerador de elétrons do tipo Dynamitron, alocado no Laboratório de Fontes Intensas de Radiação (LFIR), no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

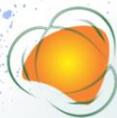
As análises de cor e de toxicidade foram realizadas em amostras sem irradiar e irradiadas. Os possíveis efeitos adversos promovidos à biota aquática, foram verificados por meio de ensaios de toxicidade aguda (Figura 2) com o microcrustáceo *Daphnia similis*, conforme a NBR 12713/ 2016. Os resultados foram expostos na concentração efetiva

Realização



Apoio





mediana que causou efeito a 50% dos organismos expostos, após um período de 48 horas (CE50_{48h}), por meio do método *Trimmed – Spearman Karber* (TSK).



Figura 2: Ensaio de toxicidade para efeito aguda com *Daphnia similis*.

O valor de CE50 é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior for a toxicidade da amostra, menor será o valor obtido. Para facilitar a compreensão, foi calculado o valor diretamente proporcional das amostras, conhecido como a Unidade Tóxica (UT). O cálculo foi realizado por meio da Equação 1 (Zagatto; Bertoletti, 2014) em que, a partir dela, pode ser calculada a redução da toxicidade após o tratamento (Equação 2).

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

$$\text{Redução de toxicidade} = \left(\frac{UT_b - UT_i}{UT_b} \right) * 100 \quad (2)$$

A leitura da absorbância das amostras foi realizada por espectrofotometria visível, com comprimento de onda no intervalo entre 400 nm e 700 nm. O Decaimento Absorciométrico decorrente do tratamento com a radiação ionizante foi calculado por meio da equação abaixo (Melo, 2022):

Realização

Apoio



$$D_A = \left(\frac{Abs_0 - Abs_f}{Abs_0} \right) * 100 \quad (3)$$

Onde:

- D_A : Decaimento absorciométrico (%);
- Abs_0 : Absorbância inicial (amostra sem tratamento);
- Abs_f : Absorbância final (amostra irradiada).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontram-se os resultados dos ensaios de toxicidade aguda com o microcrustáceo *Daphnia similis*, nas doses de 2,5 kGy e 5,0 kGy.

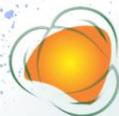
Tabela 1: Valores de $CE_{50_{48h}}$ e de UT com *Daphnia similis*

	Dose (kGy)	$CE_{50_{48h}}$ (%)	UT
1ª campanha	0,0	0,69	144,93
	2,5	0,74 (0,68 - 0,80)	135,13
	5,0	0,87 (0,74 - 1,02)	114,94
2ª campanha	0,0	0,73 (0,68 - 0,78)	136,99
	2,5	0,81 (0,72 - 0,92)	123,46
	5,0	0,93 (0,80 - 1,09)	107,53

O ensaio de toxicidade aguda com *Daphnia similis* apresentou elevada toxicidade nas duas campanhas, sobretudo nas amostras sem tratamento, com valores de CE_{50} abaixo de 1% e de Unidade Tóxica acima de 100. Entretanto, o tratamento com radiação ionizante por feixe de elétrons garantiu uma redução máxima de toxicidade de 9,88% na dose de 2,5 kGy, e de 20,69% na dose de 5 kGy.

Realização

Apoio



A citotoxicidade do corante *Reactive Black 5*, em solução aquosa, foi verificada por Copete-Pertuz et al. (2018), ao analisarem sua degradação por processo de fotocatalise com TiO₂/ UV. O valor da concentração que causou a letalidade de 50% da linhagem celular exposta (CL₅₀) foi superior a 25%, tanto nas amostras sem tratamento quanto nas amostras submetidas com 14 horas de tratamento, ou seja, não houve a formação de subprodutos tóxicos. Já Pinheiro et al. (2007), ao submeterem a solução aquosa do corante *Reactive Black 5* ao tratamento com acelerador de elétrons, notaram o aumento da toxicidade em ensaios realizados com o organismo *Daphnia similis*, nas doses de 1 kGy e 5 kGy.

Manimaran, Sulthana e Elangovan (2018) apontaram que o corante RB 5 pode induzir toxicidade e causar anomalias graves em embriões de peixe-zebra, quando expostos a concentrações acima de 10 mg L⁻¹.

A redução da cor do efluente têxtil sintético do estudo, foi obtida por meio da leitura por espectrofotometria visível, com absorbância máxima em 590 nm, e aplicação da Equação 3. As Figuras 3 e 4, representam as cubetas de acrílico contendo as amostras e o gráfico com os valores máximos de absorbância durante o tratamento.

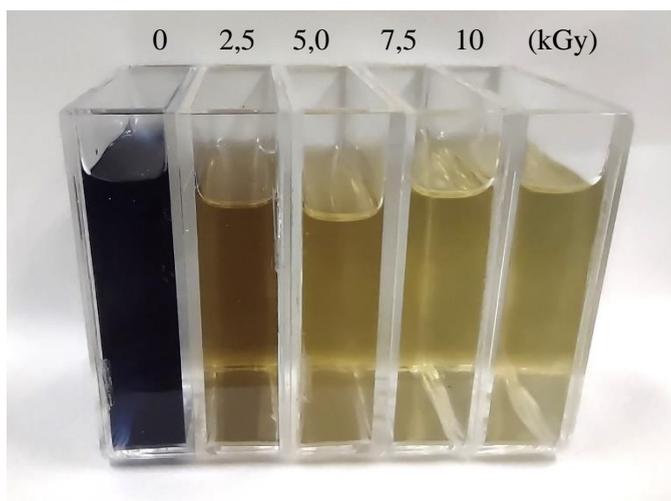


Figura 3: Amostras para a análise do D_A.

Realização

Apoio

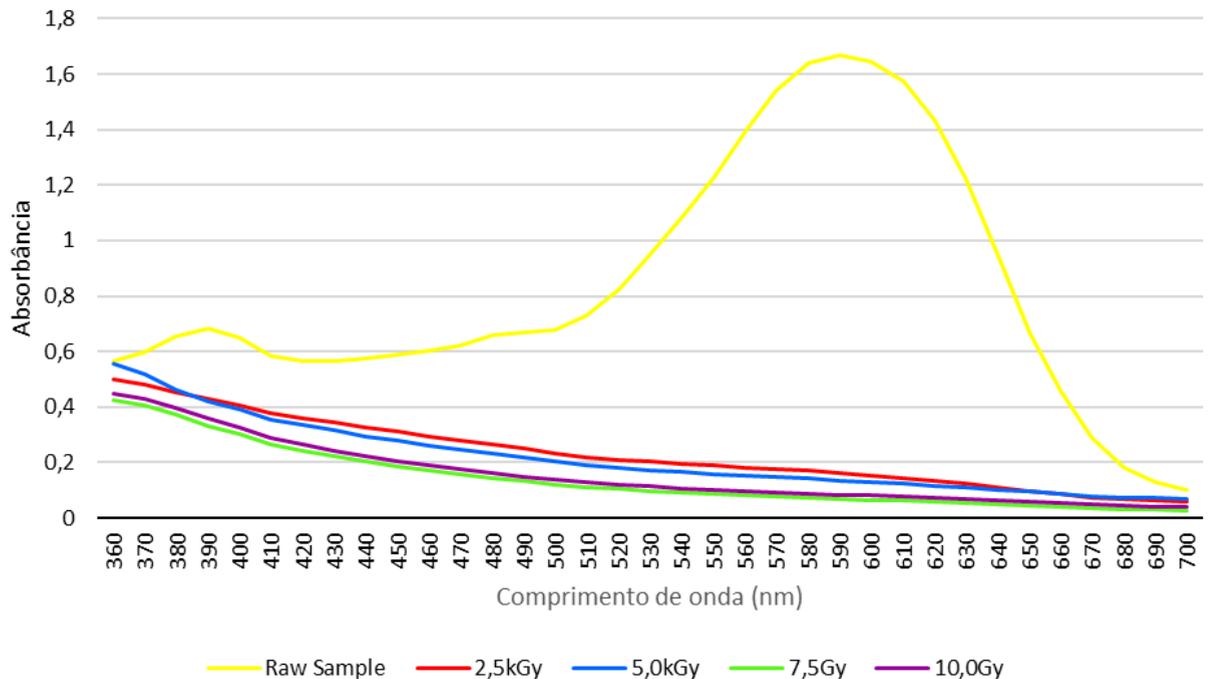


Figura 4: Espectro de absorvância em relação as doses de radiação.

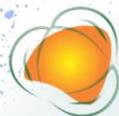
Os radicais livres produzidos pela radiação ionizante, agiram no efluente têxtil degradando o corante *Reactive Black 5*, conhecido por sua alta solubilidade, em mais de 90%. A olho nu é possível notar a redução da cor a partir de 2,5 kGy. A dose de 7,5 kGy apresentou o maior decaimento absorciométrico, com 95,86% de degradação do corante. As doses de 10 kGy, 5 kGy e 2,5 kGy obtiveram uma redução de cor de 94,94%, 91,91% e 90,27%, respectivamente. Melo (2022) também apontou a dose de 7,5 kGy como a mais eficaz na degradação da cor do efluente de tingimento têxtil contendo o corante *Reactive Blue 21*.

Duy et al. (2019) analisaram a redução de cor de efluente têxtil, a partir de uma tricromia de corantes reativos contendo o corante *Reactive Black 5* e, após o tratamento com feixe de elétrons, obtiveram uma redução de cor de 88% na dose de 10 kGy e de 74,91% na dose de 5 kGy.

A degradação do corante *Reactive Black 5* em efluentes sintéticos também foi analisada em outros processos de tratamento, como o Foto-Fenton com uma descoloração

Realização

Apoio



de 96%, e pela exposição à radiação UV em presença de H₂O₂ (Peróxido de Hidrogênio), com uma redução a valores insignificantes (Dias et al., 2022; Rosa et al., 2010).

Diversos tratamentos já foram empregados para a redução de cor em soluções contendo o corante do estudo: radiação ionizante com dose de 0,5 kGy (descoloração de 76%) (Pinheiro et al., 2007); coagulação química com o uso de Cloreto de Polialumínio (descoloração de 98%), de Alúmen (descoloração de 11%) e de FeSO₄ (descoloração de 6%) (Patabandige; Wadumethrige; Wanniarachchi, 2020); fotocatalise com TiO₂/UV (descoloração de 94,66%, após 10 horas de tratamento) (Copete-Pertuz et al., 2018).

CONCLUSÕES

Os resultados apontaram a intensa coloração e a elevada toxicidade do efluente têxtil contendo o corante *Reactive Black 5*. O tratamento por feixe de elétrons propiciou uma degradação de cor acima de 90% em todas as doses analisadas, e uma redução de toxicidade para *Daphnia similis* acima de 20%. Isto implica na liberação de um efluente menos colorido e menos tóxico aos corpos d'água receptores e, conseqüentemente, à vida aquática. A radiação ionizante por feixe de elétrons se mostrou eficaz no tratamento do efluente estudado.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN) pelo auxílio financeiro concedido e, assim como a Faculdade de Tecnologia SENAI Antoine Skaf, por fornecer os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Realização



Apoio





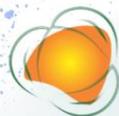
REFERÊNCIAS

- ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas - Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com Daphnia spp (Crustacea, Cladocera) Aquatic**. Rio de Janeiro: ABNT NBR 12713, 2016.
- ANA. **Agência Nacional de Águas - Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, 2019.
- AZIMI, B.; ABDOLLAHZADEH-SHARGHI, E.; BONAKDARPOUR, B. Anaerobic-aerobic processes for the treatment of textile dyeing wastewater containing three commercial reactive azo dyes: Effect of number of stages and bioreactor type. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 19, p. 228-239, 2021.
- DIAS, F. F. S.; LIRA, R. J.; CHIAVONE-FILHO, O.; CARVALHO, F. O.; PACHECO, J. G. Degradação de corante Reative Black 5 via processo foto-Fenton em reator PTC com modelagem e otimização utilizando RNA. **Scientia Plena**, v. 18, n. 6, p. 1-12, 2022.
- DUY, N. N.; PHU, D. VAN; LAN, N. T. K.; DUOC, N. T.; HIEN, N. Q.; HIEP, B. N.; HAN, B. N.; HA, B. M. Treatment of Real Textile Wastewater Using Electron Beam Irradiation. **Acta Chemica Iasi**, v. 27, n. 2, p. 303-316, 2019.
- MAHAPATRA, N. N. **Textile Dyes**. 1ª ed. New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., 2016.
- MANIMARAN, D.; SULTHANA, A.; ELANGOVAN, N. Reactive black 5 induced developmental defects via potentiating apoptotic cell death in Zebrafish (Danio rerio) embryos. **Pharmacy & Pharmacology International Journal**, v. 6, n. 6, 2018.
- MELO, C. G. **Otimização do tingimento de algodão com o corante Reactive Blue 21 e tratamento do respectivo efluente têxtil com acelerador de elétrons para a redução da cor e dos efeitos tóxicos agudos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, 2022.
- MELO, C. G.; ROSA, J. M.; GARCIA, V. S. G.; BORRELY, S. I.; PEREIRA, M. C. C. Toxicity and color reduction of reactive dyestuff RB21 and surfactant submitted to electron beam irradiation. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 9, n. 1A, p. 1-14, 2021.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances**, v. 2, n. 2, p. 1-7, 2016.
- PATABANDIGE, D. S. B. T.; WADUMETHRIGE, S. H.; WANNIARACHCHI, S. Decolorization and COD removal from synthetic and real textile dye bath wastewater containing Reactive Black 5. **Desalination and Water Treatment**, v. 197, p. 392-401, 2020.
- PINHEIRO, A. S.; HIGA, M. C.; SILVEIRA, C. G.; BORRELY, S. I. **Toxicity and colour**

Realização

Apoio





reduction for azo dyes submitted to electron beam irradiation. International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007. **Anais...**2007

ROSA, J. M. et al. Reactive Blue 21 Exhaustion Degree Investigated Using the Surface Response Methodology as an Auxiliary Tool in Cotton Dyeing. **Journal of Natural Fibers**, v. 18, n. 4, p. 520–530, 2021.

ROSA, J. M.; TAMBOURGI, E. B.; VANALLE, R. M.; GAMARRA, F. M. C.; SANTANA, J. C. C.; ARAÚJO, M. C. Application of continuous H₂O₂/UV advanced oxidative process as an option to reduce the consumption of inputs, costs and environmental impacts of textile effluents. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, p. 119012, 2020.

ROSA, J. M.; BAPTISTA, A. E.; SANTANA, J. C. C. Degradação fotoquímica e reuso da água obtida de um efluente têxtil tratado via UV/H₂O₂. **Exacta**, v. 8, n. 2, p. 169-178, 2010.

SHORE, J.; BALDWINSON, T. M. **Colorants and Auxiliaries**. Manchester: Society of Dyers and Colourists, v. 2, 2002.

YUSUF, M. **Handbook of Textile Effluent Remediation**. Singapore: Pan Stanford, 2018.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática - Princípios e Aplicações**. 3. ed. São Carlos: Rima, 2014.

Realização



Apoio

