



INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

Emprego de acelerador de elétrons para a redução da toxicidade de efluente têxtil e de produtos químicos aplicados durante o tingimento do algodão

VANESSA SILVA GRANADEIRO GARCIA

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:

Profa. Dra. Sueli Ivone Borrely

Coorientador:

Prof. Dr. Leonardo Gondim de Andrade e Silva

São Paulo

2020

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

Emprego de acelerador de elétrons para a redução da toxicidade de efluente têxtil e de produtos químicos aplicados durante o tingimento do algodão

Versão Corrigida

Versão Original disponível no IPEN

VANESSA SILVA GRANADEIRO GARCIA

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:

Profa. Dra. Sueli Ivone Borrely

Coorientador:

Prof. Dr. Leonardo Gondim de Andrade e Silva

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho,
para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Como citar:

GARCIA, V. S. G. ***Emprego de acelerador de elétrons para a redução da toxicidade de efluente têxtil e de produtos químicos aplicados durante o tingimento do algodão.*** 2020. 127p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Garcia, Vanessa Silva Granadeiro

Emprego de acelerador de elétrons para a redução da toxicidade de efluente têxtil e de produtos químicos aplicados durante o tingimento do algodão / Vanessa Silva Granadeiro Garcia; orientadora Sueli Ivone Borrely; co-orientador Leonardo Gondim de Andrade e Silva. -- São Paulo, 2020.

127 p.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear (Aplicações) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2020.

1. Acelerador de Elétrons. 2. Corantes. 3. Efluentes têxteis. 4. Surfactantes. 5. Toxicidade. I. Borrely, Sueli Ivone, orient. II. Silva, Leonardo Gondim de Andrade e, co-orient. III. Título.

A todos que em algum momento fizeram parte do meu caminho, em especial aos meus pais, ao meu querido Cris e aos meus anjos de quatro patas.

*"A compaixão para com os animais é das
mais nobres virtudes da natureza humana"*

Charles Darwin

Agradecimentos

À Dr^a. Sueli Ivone Borrely pelos ensinamentos, amizade, contribuições e dedicação, desde a minha Iniciação Científica. Por ter compreendido os momentos difíceis e pelas palavras de incentivo ao longo dessa trajetória.

Ao Dr. Leonardo Gondim pela ajuda e contribuições ao longo deste trabalho.

À todos do Laboratório de Ensaio Biológicos e Ambientais do CETER/IPEN, em especial: Nathalia, Stephanie, Flávio, Thalita e Reginaldo, obrigada pela parceria e amizade. E por compartilharem comigo do amor pelos animais.

Ao Dr. Jorge Marcos Rosa, pela ajuda no preparo das amostras, ensinamentos e risadas. E ao SENAI, e à equipe de apoio à pesquisa do Senai Brás – Francisco Matarazzo.

À Elizabeth e Samir Somessari pela sempre ajuda com as irradiações das amostras.

À minha mãe, pela ajuda e exemplo a sempre ser seguido. E ao meu pai (*in memorian*), por me mostrar que devemos sempre tentar ser melhor.

À minha querida avó Rosa (*in memorian*), por me ajudar na formação como bióloga. E à minha madrinha Bete, pela ajuda e companhia em congressos.

Ao meu querido Cris, por sempre me apoiar, estar comigo, por acreditar em mim, por me amar...por ser tão importante e presente em tantos momentos!

Aos meus anjos de quatro patas que sempre estavam por perto para me acalmar e me alegrar: Cristal, Brenda, Lana, Pérola, Bah, Théo, Charles e Benjamin.

À Capes, pelo auxílio financeiro durante este trabalho.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), à equipe do CETER/IPEN, à equipe da Pós Graduação e Ensino, por todo suporte ao longo deste trabalho.

À todos os professores que contribuíram e participaram da minha formação, e me mostraram o quão importante é essa profissão, meu muito obrigada!

Agradeço à Deus pela força, tudo que me proporcionou e por mais esta conquista.

RESUMO

GARCIA, Vanessa. S. G. **Emprego de Acelerador de Elétrons para a redução da toxicidade de efluente têxtil e de produtos químicos aplicados durante o tingimento do algodão.** 2020. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – CNEN/SP. São Paulo.

O processo de beneficiamento têxtil utiliza importante quantidade de água durante a produção, enquanto gera efluentes que possuem diversos tipos de compostos químicos, como: surfactantes, peróxidos, ácidos, sais e corantes. Devido a sua complexidade, comumente estes efluentes possuem elevada carga tóxica e 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 tratamento de efluentes têxteis, auxiliando na redução da toxicidade, coloração, demanda química de oxigênio, entre outros parâmetros. Os principais objetivos deste trabalho foram: avaliar a toxicidade de compostos químicos utilizados no beneficiamento das fibras de algodão, além do efluente final (contendo corante reativo Red 239) em organismos aquáticos; e avaliar a eficiência da irradiação por feixe de elétrons no tratamento destes contaminantes. Os ensaios de toxicidade para efeito agudo foram realizados com organismos aquáticos: bactéria *Vibrio fischeri* e o crustáceo *Daphnia similis*. Este último também foi empregado para avaliar efeito crônico: reprodução, efeitos subletais e comprimento corpóreo, pela exposição de 21 dias ao efluente têxtil contendo o corante reativo Red 239. O efluente, bem como os compostos orgânicos, foram submetidos à irradiação em acelerador de elétrons, com variação de dose de radiação entre 0,5 e 15 kGy. O tratamento com irradiação reduziu a toxicidade, a coloração, a demanda química de oxigênio e o carbono orgânico total do efluente. Em relação à toxicidade aguda, para o efluente bruto os valores médios de CE 50% ficaram entre $2,93 \pm 0,13$ e $9,28 \pm 0,32$ para *D. similis* e $5,65 \pm 0,16$ e $8,40 \pm 1,45$ para *V. fischeri*. O tratamento com feixe de elétrons foi efetivo na redução da toxicidade das amostras de efluente, sendo obtidos os seguintes valores com 5 kGy: CE50% = $16,36 \pm 5,37$, representando 61,43% de remoção de toxicidade para *D. similis* e $15,05 \pm 2,93$, remoção de toxicidade de 50,73% para *V. fischeri*. Enquanto 10 kGy resultou em mais de 70% de remoção de efeitos agudos para ambos os organismos expostos. Com relação à redução de

cor, 5 kGy resultou em eficiência superior a 95%. Dentre os surfactantes analisados, os não-iônico, óxido de alquilenos e o etoxilado, foram os mais tóxicos para ambos os organismos, com valores médios de CE 50 inferiores a 4,5 mg L⁻¹. Em relação à exposição crônica de *D. similis* ao efluente têxtil bruto (concentração 3%) foram observados efeitos subletais, como deposição de corante no sistema filtrador e má formação de ovos.

Palavras-chave: acelerador de elétrons; corantes; efluentes têxteis; surfactantes; toxicidade.

ABSTRACT

GARCIA, Vanessa. S. G. **Electron Accelerator to reduce toxicity of textile effluent and chemicals applied during cotton dyeing.** 2020. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear)- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – CNEN/SP. São Paulo.

The textile processing uses an important amount of water during their production, while generating effluents that have various types of chemicals, such as surfactants, peroxides, acids, salts and dyes. Considering their complexity, these effluents commonly have high toxic load and coloration. Advanced Oxidative Processes have been used to improve the treatment of this type of effluent, complementing the biological treatment. Electron beam irradiation has been proposed as a technology for treatment of textile effluents, in order to reduce toxicity, coloration, chemical oxygen demand, and other parameters. The objectives of this work were to evaluate the toxicity of chemical compounds used in the cotton fibers, and the textile effluent (containing red reactive dye 239) to aquatic organisms; and to evaluate the efficiency of electron beam irradiation in treatment of these contaminants. Acute toxicity assays were performed with aquatic organisms *Vibrio fischeri* bacteria and *Daphnia similis* crustacean. For chronic effect, *D. similis* crustacean was used, being evaluated the reproduction, sublethal effects and body length after 21 days exposure to textile effluent containing reactive dye Red 239. The effluent as well as organic compounds were irradiated in electron beam accelerator, with dose range between 0.5 and 15 kGy. The irradiation treatment improved the toxicity, color, chemical oxygen demand and total organic carbon of the effluent. Regarding acute toxicity for raw effluent, the mean EC 50% was between 2.93 ± 0.13 and 9.28 ± 0.32 for *D. similis* and 5.65 ± 0.16 and 8.40 ± 1.45 for *V. fischeri*. The electron beam treatment was effective in reducing the toxicity of the samples, 5 kGy: EC 50% = 16.36 ± 5.37 , representing 61.43% toxicity removal for *D. similis* and 15.05 ± 2.93 , 50.73% toxicity removal for *V. fischeri*. While 10 kGy resulted in over 70% of acute effects removal for both organisms. Regarding color reduction, 5 kGy resulted in > 95% efficiency. Among the surfactants analyzed, the nonionic alkylene oxide and the ethoxylate were more toxic to both organisms, with mean EC 50 values below 4.5 mg L^{-1} . For the chronic measurements, *D. similis* exposed to raw textile effluent (concentration 3%), sublethal effects were observed, such as dye deposition in the filtering system and eggs malformation.

Key-words: dyes; electron beam accelerator; surfactants; textile effluents; toxicity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de água para o beneficiamento da fibra de algodão	21
Tabela 2 - Consumo de água em algumas etapas do beneficiamento têxtil de diferentes fibras	21
Tabela 3 - Compostos Químicos utilizados no beneficiamento têxtil de acordo com o tipo de fibra	24
Tabela 4 - Compostos utilizados no beneficiamento do algodão e analisados neste trabalho	25
Tabela 5 - Classificação dos corantes têxteis de acordo com o tipo de fibra e porcentagem de corante não fixada à fibra.....	27
Tabela 6 - Estudos de relevância sobre efeitos nocivos de corantes e efluentes têxteis.....	36
Tabela 7 - Processos Oxidativos Avançados.....	37
Tabela 8 - Estudos com efluentes e corantes têxteis tratados por irradiação com feixe de elétrons.....	43
Tabela 9 - Forma de preparo do tingimento da fibra de algodão.....	46
Tabela 10 - Toxicidade de compostos inorgânicos e orgânicos contidos no efluente têxtil	56
Tabela 11 - Toxicidade para diferentes tipos de corantes têxteis	59
Tabela 12 - Compostos orgânicos contidos no efluente têxtil: valores de CE50 % para <i>D. similis</i> e <i>V. fischeri</i> (amostras brutas e irradiadas - 2,5 kGy); eficiência do tratamento com feixe de elétrons	60
Tabela 13 - Toxicidade de diferentes surfactantes: CE 50 mg L ⁻¹ para <i>D. similis</i> e <i>V. fischeri</i>	61
Tabela 14 - Toxicidade Aguda de diferentes tipos de surfactantes	63
Tabela 15 - Diferentes surfactantes utilizados no beneficiamento têxtil: valores de CE50 % para <i>D. similis</i> e <i>V. fischeri</i> das amostras brutas e irradiadas -2,5 kGy; eficiência do tratamento com feixe de elétrons.....	65
Tabela 16 - Efluente Têxtil: valores de CE50 % para <i>D. similis</i> e <i>V. fischeri</i> e eficiência do tratamento das amostras com feixe de elétrons	66
Tabela 17 - Estudos de toxicidade em efluentes têxteis para diferentes espécies	68
Tabela 18 - Efeitos das diversas concentrações de efluente sobre a sobrevivência, natalidade e comprimento corpóreo de <i>D. similis</i> (exposição de 21 dias).....	70
Tabela 19 - Parâmetros físico-químicos mensurados nas amostras de efluentes têxteis.....	75

Tabela 20 - Valores médios para cor, DQO e COT nas amostras de efluente têxtil, e eficiência (%) da tecnologia por feixe de elétrons.....	76
Tabela 21 - Toxicidade: Variação entre as médias de CE50 obtidas da exposição às amostras de efluente têxtil bruto e irradiado, por campanha realizada.....	80
Tabela 22 - Cor: Variação entre as médias de absorbância obtidas da exposição às amostras de efluente têxtil bruto e irradiado, por campanha realizada.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais etapas do beneficiamento do algodão na indústria têxtil, compostos químicos utilizados e efluentes gerados.....	23
Figura 2 - Curva típica de concentração dose-resposta.	31
Figura 3 - Organismos utilizados em ensaios de toxicidade. A. <i>Daphnia similis</i> ; B. <i>Vibrio fischeri</i>	32
Figura 4 - Acelerador de elétrons - IPEN. A. Dynamitron DC 1500/25/4 - Job 188. B. Dynamitron DPC 2000 - Job 307	40
Figura 5 - Acelerador de Elétrons. A. Princípio de funcionamento. B. Principais estruturas	41
Figura 6 - A. Estrutura Molecular do corante reativo Red 239. B. Amostras de efluente têxtil bruta e tratadas com feixe de elétrons: 0,5 – 15 kGy	44
Figura 7 - Sequência de máquina lavadoras empregadas no tingimento têxtil, Laboratório pré-industrial (SENAI)	45
Figura 8 - Efluente após etapa de alvejamento do tecido e efluente final, após tingimento e lavagem.....	45
Figura 9 – Tecido de algodão antes e após procedimento de tingimento	45
Figura 10 - Fluxograma das principais etapas experimentais desenvolvidas durante o estudo.....	47
Figura 11 - Acelerador de Elétrons (IPEN/CETER) com amostras de efluente para irradiação	48
Figura 12 - Sistema Microtox®, ensaio com a bactéria <i>V. fischeri</i>	49
Figura 13 - Ensaios de toxicidade com <i>Daphnia similis</i> . A. Ensaio de toxicidade para efeito agudo. B. Ensaio de toxicidade para efeito crônico (efluente têxtil).....	52
Figura 14 - Medição de comprimento corpóreo realizada em <i>D. similis</i> (aumento 3.2x) ...	53
Figura 15 - Toxicidade aguda de diferentes compostos químicos para <i>D.similis e V. fischeri</i>	57
Figura 16 - Toxicidade Aguda para <i>D. similis e V. fischeri</i> expostas a diferentes surfactantes	62
Figura 17 - Efluente Têxtil: Média dos valores de CE50 % para <i>D. similis e V. fischeri</i> expostas às amostras brutas e irradiadas cim feixe de elétrons	67
Figura 18 - Média do tamanho dos organismos (milímetros) expostos às amostras de efluentes brutas e tratadas	71

Figura 19 - Média do tamanho dos organismos (milímetros) expostos às amostras de efluentes brutas e tratadas, das duas campanhas realizadas.....	71
Figura 20 - <i>D. similis</i> – Controle Negativo (Aumento 3.2x).....	72
Figura 21 - <i>D. similis</i> exposta ao efluente têxtil bruto em diferentes concentrações: A. 0,5%; B. 3% (Aumento 3.2x).....	73
Figura 22 - <i>D. similis</i> exposta ao efluente têxtil tratado com feixe de elétrons: A. 2,5 kGy (concentração 5%); B. 5 kGy (concentração 5%) (Aumento 3.2x).....	73
Figura 23 - Espectro de absorvância (UV visível) em função das doses de radiação (2ª Campanha).....	76
Figura 24 - Espectro de absorvância (UV visível) em função das doses de radiação (3ª Campanha).....	77
Figura 25 - Valores médios de DQO E COT no efluente têxtil versus dose.	77
Figura 26 - Carta controle de sensibilidade de <i>V. fischeri</i> para fenol.....	82
Figura 27 - Carta controle de sensibilidade de <i>D. similis</i> para cloreto de potássio	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivos	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	Indústria Têxtil: consumo de água e geração de efluentes.....	20
2.2	Beneficiamento Têxtil.....	23
2.3	Corantes têxteis	26
2.4	Surfactantes: Características gerais.....	27
2.4.1	Surfactantes e prejuízos ambientais.....	28
2.5	Ecotoxicologia: aplicações.....	30
2.6	Organismos utilizados nos ensaios ecotoxicológicos: <i>Vibrio fischeri</i> e <i>Daphnia similis</i>	32
2.7	Toxicidade de efluentes têxteis e contaminantes	34
2.8	Irradiação por feixe de elétrons e tratabilidade de efluentes.....	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1	Irradiação com feixe de elétrons	48
3.2	Ensaio de Toxicidade para Efeito Agudo: <i>Vibrio fischeri</i>	49
3.3	<i>Daphnia similis</i> : Cultivo e manutenção.....	50
3.3.1	Ensaio de Toxicidade para Efeito Agudo: <i>Daphnia similis</i>	50
3.3.2	Ensaio de Toxicidade para Efeito Crônico: <i>Daphnia similis</i>	51
3.3.3	Análise de efeitos subletais e comprimento corpóreo: <i>Daphnia similis</i>	52
3.4	Eficiência da irradiação por feixe de elétrons para redução de toxicidade aguda.....	53
3.5	Análises Físico-Químicas.....	53
3.5.1	pH, Oxigênio Dissolvido, Condutividade e Salinidade	53
3.5.2	Cor	54
3.5.3	Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT).....	54
3.6	Análise estatística.....	54

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1	Avaliação dos ensaios de toxicidade para efeito agudo de compostos químicos contidos no efluente têxtil	55
4.2	Avaliação da toxicidade aguda do corante têxtil Reativo Red 239.....	58
4.3	Avaliação da Irradiação por Feixe de Elétrons no tratamento de compostos orgânicos visando a redução da toxicidade.....	59
4.4	Avaliação da toxicidade aguda de diferentes surfactantes.....	61
4.5	Avaliação da Irradiação por Feixe de Elétrons no tratamento de surfactantes visando a redução da toxicidade	64
4.6	Avaliação toxicidade aguda de efluente têxtil real e eficiência da tecnologia por Feixe de Elétrons.....	65
4.7	<i>Daphnia similis</i> : ensaio de toxicidade para efeito crônico: reprodução, análise de efeitos subletais e comprimento corpóreo.....	69
4.8	Análises Físico-Químicas: Efluente Têxtil	74
4.9	Análise estatística.....	80
4.10	Ensaio de sensibilidade e carta-controle.....	81
5	CONCLUSÕES.....	83
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
	APÊNDICES	102
	APÊNDICE A- Ensaio de toxicidade para efeito Agudo- <i>Daphnia similis</i> : compostos químicos.....	102
	APÊNDICE B- Ensaio de toxicidade para efeito Agudo- <i>Daphnia similis</i> : Efluente Têxtil.....	110
	APÊNDICE C- Ensaio de toxicidade para efeito Agudo- <i>Vibrio fischeri</i> : Compostos Químicos	115
	APÊNDICE D- Ensaio de toxicidade para Efeito Agudo- <i>Vibrio fischeri</i> : Efluente Têxtil.....	120
	APÊNDICE E- Análise de crescimento corpóreo: <i>Daphnia similis</i> - exposição ao Efluente Têxtil (21 dias).....	123

APÊNDICE F- Ensaios de toxicidade para Efeito Crônico- Efluente Têxtil: <i>Daphnia similis</i> - reprodução (21 dias).....	124
APÊNDICE G- Análise de cor do Efluente Têxtil: Leitura de Absorbância das amostras	126

1 INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos naturais é de suma importância para a manutenção da vida no planeta. Fatores como a falta de gerenciamento e políticas públicas adequadas, aumento da industrialização e densidade populacional, introdução de diversos contaminantes tóxicos e persistentes nos ambientes aquático, terrestre e atmosférico, vêm contribuindo com mudanças cada vez mais significativas e danosas ao meio ambiente e à vida. Estes fatores estão diretamente relacionados às mudanças climáticas, contaminação de solos, escassez hídrica mundial, problemas de saúde enfrentados pela população, entre outros.

De 1940 até o final do século XX, o consumo de água no mundo aumentou em média 2,5% ao ano, valor este superior à taxa média de crescimento populacional no mesmo período. Estima-se que até 2050 a demanda global por água aumente entre 20 a 30% em relação ao consumo atual, principalmente relacionada aos setores industrial e doméstico (THE WORLD BANK, 2015; UNESCO, 2019).

No Brasil, por exemplo, o consumo de água por pessoa pode chegar a mais de 200 litros/dia, sendo que o preconizado pela Organização das Nações Unidas (ONU) como quantidade suficiente para atender as necessidades básicas de uma pessoa é de 110 litros/dia. Estima-se, ainda, que o uso da água no país deverá crescer 24% até 2030, superando a marca de 2,5 milhões de litros por segundo (ANA, 2019; ONU, 2018).

Além da crescente demanda por água e a escassez hídrica enfrentada em diversas regiões do mundo, um problema recorrente que contribuiu para a degradação dos corpos hídricos é o lançamento de efluentes industriais ou domésticos sem tratamento adequado. Em termos de descarte inadequado de efluentes no Brasil, em 2016, mais de 5,5 bilhões de m³ de esgoto, sem tratamento, foi despejado “in natura” nos rios, o que perfaz mais de 50% do esgoto produzido no ano (IBGE, 2017; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018).

Os efluentes da indústria têxtil são críticos por possuírem diversos contaminantes, como os surfactantes, corantes, peróxidos, sais, ácidos, que além de serem prejudiciais à fauna e flora aquáticas, podem contribuir com mudanças significativas na qualidade das águas dos corpos receptores.

Durante o processo de beneficiamento das fibras, até 50% dos corantes utilizados no tingimento podem ser perdidos e compor o efluente final, assim como surfactantes e umectantes, utilizados na lavagem das fibras. Tais compostos, não são

completamente removidos pelos tratamentos biológicos convencionais, necessitando de tratamento auxiliar (KANT, 2012; REHMAN et al., 2018).

A irradiação por feixes de elétrons tem sido proposta como uma tecnologia para tratamento de efluentes têxteis visando a redução da toxicidade, da coloração, da demanda química de oxigênio, carbono orgânico total, entre outros parâmetros. Neste processo, o feixe de elétrons pode promover a decomposição de contaminantes como resultado de suas reações com espécies altamente reativas, formadas a partir da radiólise de água, e em determinadas doses, estas transformações podem resultar na completa decomposição (remoção) do contaminante (KIM et al. 2011; WOJNÁROVITS e TAKÁCS, 2016; BORRELY et al., 2019).

Diante destes aspectos, estudos sobre a toxicidade de contaminantes e efluentes têxteis e seus impactos nos corpos hídricos tornam-se relevantes do ponto de vista de gerenciamento, tratamento e descarte adequados destes efluentes. Além disso, uma vez que a tecnologia por feixe de elétrons é efetiva na diminuição de cor e carga orgânica, sua utilização juntamente ao tratamento biológico ou até mesmo o reúso deste efluente, no próprio processo industrial, podem ser considerados.

1.1 Objetivos

O presente trabalho teve como objetivos avaliar a toxicidade de compostos químicos utilizados no beneficiamento da fibra de algodão bem como o efluente final gerado neste processo, aos organismos aquáticos *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri*. A eficiência da irradiação por feixe de elétrons no tratamento destes contaminantes também foi avaliada. Além disso, outros objetivos foram:

- Avaliar a toxicidade aguda do corante reativo Red 239 a *D. similis* e *V. fischeri*, antes e após irradiação por feixe de elétrons;
- Analisar cinco diferentes surfactantes utilizados na indústria têxtil, com o intuito de determinar a faixa de toxicidades destes;
- Avaliar o efeito crônico e alterações sub-letais em *Daphnia similis*, em decorrência da exposição ao efluente têxtil bruto e tratado com feixe de elétrons;
- Determinar parâmetros físico-químicos cor, demanda química de oxigênio e carbono orgânico total, em amostras de efluentes têxteis brutas e tratadas com feixe de elétrons. Analisando a eficiência da irradiação na redução destes parâmetros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Indústria Têxtil: consumo de água e geração de efluentes

O setor têxtil é um dos mais expressivos na economia mundial, com movimentação superior a 330 bilhões de dólares ao ano. O consumo mundial de fibras têxteis cresceu, em média, 3,5% ao ano entre 1990 e 2011, chegando 82,0 milhões de toneladas em 2011. A Ásia lidera a produção na Indústria Têxtil, com cerca de 2/3 do total fabricado, sendo a China responsável por 50,2% da produção de têxteis, além de representar o maior mercado consumidor desses produtos no mundo, seguida da Índia. (BEZERRA, 2014; ABIT, 2019).

O Brasil ocupa o 5º lugar na produção mundial de têxteis, com 2,4% do total. Em 2017, o faturamento do setor foi de US\$ 51 bilhões, com produção média têxtil de 1,3 milhão de toneladas e produção média de confecção de 8,9 bilhões de peças. Atualmente o setor conta com 27,5 mil empresas em todo país e é o 2º maior empregador da indústria brasileira (BEZERRA, 2014; ABIT, 2019).

Para ter idéia sobre a utilização de água no processo de beneficiamento têxtil, para produção de cerca de 8000 kg de tecido por dia são necessários aproximadamente 1,6 milhões de litros de água. O consumo de água utilizada no tingimento de tecido (peça), por exemplo, varia de 30 a 50 litros por kg de tecido, dependendo do tipo de corante utilizado; já o consumo de água para tingimento de fios é de cerca de 60 litros por kg de fios (KANT, 2012).

Na Índia, em indústria no estado de Tamil Nadu, 1 tonelada de algodão requer 10m³ de água, enquanto 1 tonelada de poliéster consome 4 m³ em cada etapa do processo de beneficiamento têxtil que envolve branqueamento, tingimento e lavagem das fibras, podendo o processo inteiro envolver mais de 10 etapas (RANGANATHAN et al., 2007). Em Bangladesh, para a produção de 750 toneladas de tecido em um mês, são consumidos aproximadamente 106.500 m³ de água (HOSSAIN et al, 2018).

Em complexo industrial têxtil na Coreia (Daegu - DDIC) foi reportado que em média 100 indústrias consomem aproximadamente 90.000 m³ por dia de água em seus processos (KIM et al., 2011).

Desta forma, pode ser observado que o consumo de água varia de acordo com o tipo de fibra beneficiada e com as etapas da manufatura. Na Tabela 1 consta um exemplo de consumo de água nas etapas do processo de beneficiamento da fibra de algodão; na

Tabela 2 foram organizados valores referentes ao consumo de água em algumas etapas do beneficiamento têxtil de outras fibras.

Tabela 1 - Consumo de água para o beneficiamento da fibra de algodão

Processo (Etapas)	Consumo de água (L/1000kg de produto)
Engomagem	500-8200
Desengomagem	2500-21000
Lavagem	20000-45000
Branqueamento	2500-25000
Mercerização	17000-32000
Tingimento	10000-300000
Finalização	8000-16000

Fontes: NTULI et al., 2009; GHALY et al., 2014.

Tabela 2 - Consumo de água em algumas etapas do beneficiamento têxtil de diferentes fibras

Processo (Etapas)	Consumo de água (L/1000kg de produto)				
	Seda	Acetato	Poliamida	Acrílico/Modacrílico	Poliéster
Lavagem	17000-34000	25000-84000	50000-67000	50000-67000	25000-42000
Tingimento	17000-34000	34000-50000	17000-34000	17000-34000	17000-34000
Finalização	4000-12000	24000-40000	32000-48000	40000-56000	8000-12000

Fontes: NTULI et al., 2009; GHALY et al., 2014.

Além do alto consumo de água necessária na produção têxtil, outro aspecto importante é o efluente gerado neste processo, que geralmente possui alta coloração e carga orgânica.

Os efluentes da indústria têxtil são críticos por possuírem diversos contaminantes, como os surfactantes, corantes, peróxidos, sais, ácidos, metais, sólidos em suspensão, altas taxas de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), pela presença de compostos orgânicos e outros aditivos. Geralmente, tais compostos possuem como característica elevada solubilidade e baixa biodegradabilidade, o que dificulta a remoção destes por tratamentos biológicos convencionais, necessitando de tratamentos complementares (KANT, 2012; BORRELY et al., 2018; HOSSAIN et al., 2018).

Os contaminantes presentes nos efluentes têxteis, além de serem tóxicos à fauna e flora aquáticas, podem contribuir com mudanças de parâmetros importantes de qualidade das águas dos corpos receptores, tais como: coloração, turbidez, oxigênio

dissolvido, temperatura, pH, entre outros, podendo afetar diretamente a dinâmica do ecossistema do corpo hídrico que os recebe.

Mesmo em baixas concentrações ($<1 \text{ mg L}^{-1}$) na água, por exemplo, os corantes são altamente visíveis, sendo prejudicial para a transparência e solubilidade dos gases, agindo diretamente na penetração da luz, o que contribui para a diminuição da atividade fotossintética (HASSAAN e NEMR, 2017).

Boa parte dos compostos que contaminam os efluentes têxteis persistem nas águas por longo tempo por serem refratários. Além disso, corantes e outros compostos liberados no ambiente podem sofrer alterações químicas sob determinadas condições (degradação biológica ou fotoquímica), e os produtos de transformação podem, eventualmente, ser mais tóxicos do que o composto original (TRIPATHI e SRIVASTAVA, 2012; DARSANA et al., 2015; CROCE et al., 2017). À exemplo, a União Européia listou 24 metabólitos de corantes (aminas aromáticas) como tóxicos e proibiu seu uso em indústrias (ETAD, 2008).

O Banco Mundial estima que 17 a 20% da poluição das águas é proveniente da indústria têxtil. Cerca de 72 substâncias químicas tóxicas foram identificadas em efluente de tingimento têxtil, 30 das quais não podem ser removidas por tratamentos biológicos, apenas (KANT, 2012).

Em relação à geração de efluentes, a China, responsável por mais de 50% da produção têxtil mundial, gerou aproximadamente 1,84 bilhão de toneladas de efluente durante 2015 (CHINA ENVIRONMENT STATISTICAL YEARBOOK, 2015; LIANG et al., 2018). Em Bangladesh (2º maior exportador mundial de tecidos), em 2016, a produção de 1,80 milhão de toneladas de tecido gerou cerca de 217 milhões de m^3 de efluentes (HOSSAIN et al., 2018). E em planta industrial na Índia, para 1500-2000 kg/dia de tecido fabricado, o volume de efluente gerado foi da ordem de 100-200 m^3 /dia (RANGANATHAN et al., 2007).

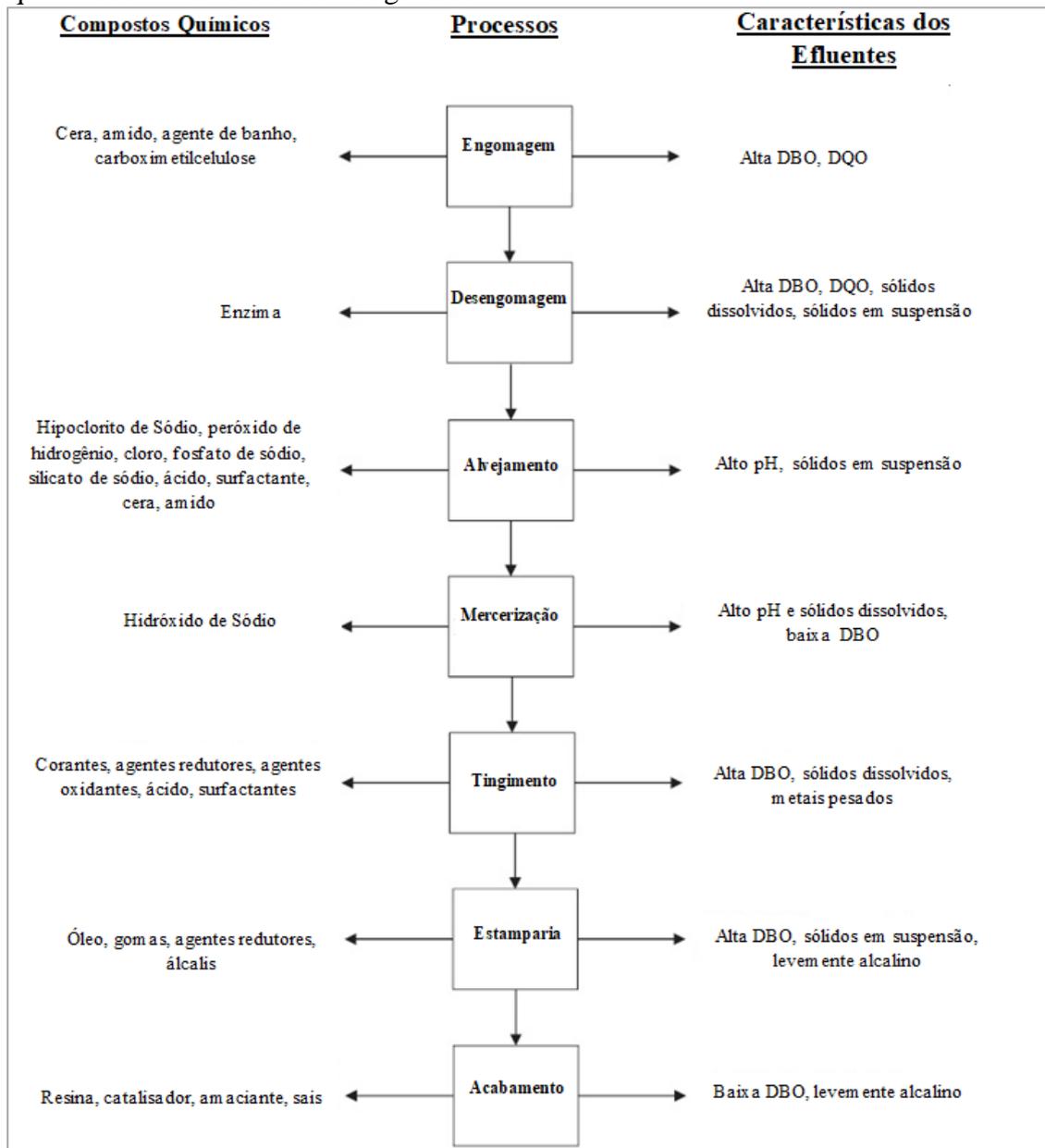
Com relação aos corantes, de 10 a 50% da quantidade total dos corantes usados durante a fabricação têxtil podem compor o efluente final, perfazendo 200 a 280 mil toneladas de corantes perdidos por ano. Essa perda se deve principalmente ao fato do esgotamento incompleto dos corantes na fibra têxtil (PINHEIRO, 2011; KANT, 2012; HASSAAN e NEMR, 2017; REHMAN et al., 2018). Sobre os demais contaminantes presentes no efluente têxtil, a carga anual destes poluentes, em toneladas, pode chegar a: 200.000-250.000 de sais; 20.000-25.000 de tensoativos (surfactantes, umectantes, etc);

15.000-20.000 de ácidos carboxílicos; 25.000-30.000 de agentes de preparação; 5000 de produtos auxiliares, entre outros (EWA, 2005; ZAHARIA e SUTEU, 2012).

2.2 Beneficiamento Têxtil

O beneficiamento têxtil envolve etapas de alvejamento (Pré-tratamento), tingimento e lavagem (Pós-tratamento) das fibras. Na Figura 1 estão apresentadas as principais etapas do beneficiamento da fibra de algodão, bem como compostos químicos utilizados e características dos efluentes gerados em cada etapa.

Figura 1 - Principais etapas do beneficiamento do algodão na indústria têxtil, compostos químicos utilizados e efluentes gerados



Fonte: HOSSAIN et al., 2018.

O número de etapas, temperatura e compostos químicos empregados no processo variam de acordo com o tipo de fibra. Na Tabela 3 estão organizados os principais compostos químicos utilizados no beneficiamento de acordo com o tipo de fibra. Já na Tabela 4 consta a descrição dos compostos utilizados no beneficiamento do algodão e avaliados neste estudo.

Tabela 3 - Compostos Químicos utilizados no beneficiamento têxtil de acordo com o tipo de fibra

Químicos	Poliamida	Algodão	Poliéster
(g L ⁻¹)			
Sequestrante	1,00	1,00	1,00
Surfactante	1,00	1,00	1,00
Carbonato de Sódio	0,50	5,00	0,50
Hidróxido de Sódio	-	1,40	1,00
Metassulfato de Sódio	-	0,50	-
Cloreto de Sódio	-	50,00	-
Agente de Fixação	2,00	-	-
Sulfato de Amônia	1,00	-	-
Dispersante	-	1,00	1,00
Enzima Catalase	-	0,50	-
Sequestrante/Dispersante	1,00	-	-
(mL L ⁻¹)			
Ácido Sulfúrico	-	0,14	-
Peróxido de Hidrogênio	-	2,00	-
Ácido Acético	0,30	0,50	0,30
(g L ⁻¹)			
Corantes Reativos	-	0,76-1,22	-
Corantes Ácidos	0,22-0,66	-	-
Corantes Dispersos	-	-	0,49-0,82

Fonte: ROSA et al., 2019.

Tabela 4 - Compostos utilizados no beneficiamento do algodão e analisados neste trabalho

Características principais		Natureza Química	Caráter Iônico
Compostos Inorgânicos			
Catalase	Eliminação do residual do peróxido de hidrogênio. Reduz os tempos de processos de lavagem e também a quantidade de água utilizada.	Enzima	Não iônico
Estabilizador: -Metassilicato de Sódio - Líquido	Estabilizador do peróxido de hidrogênio no processo de alvejamento do algodão.	Composto a base de silício	Iônico
Hidróxido de sódio (micropérolas)	Tingimento: controle de pH. Alvejamento: saponificação de óleos e graxas.	Base metálica cáustica	Iônico
Peróxido de hidrogênio	Alvejamento do algodão.	Peróxido	Iônico
Cloreto de Sódio	Minimiza a repulsão eletromagnética corante/fibra. Favorece a adsorção do corante ao tecido.	Sal	Iônico
Carbonato de Sódio	Controle de pH.	Sal	Iônico
Compostos Orgânicos			
Surfactante	Confere à fibra de celulose boa hidrofiliidade. Emulsão de óleos e graxas.	Etoxilado	Não iônico
		Álcool graxo etoxilado	Não Iônico
		Óxido de alquilenos	Não Iônico e Aniônico
		Alquil-aril etoxilado e sulfonado aromático	Não Iônico
		Dodecilbenzeno Sulfonado	Aniônico
Dispersante e sequestrante	Sequestrante/Dispersante de sais de dureza e ferro.	Polímero orgânico	Aniônico
Dispersante e sequestrante	Auxiliar na solubilização de corantes.	Alquil poliglicol éter	Não iônico
Umectante	Diminui a tensão superficial entre tecido e água.	Copolímero aril-alquil-éter.	Não iônico
Corante Reativo Red 239	Responsável pela coloração.	Azo reativo	Aniônico

Fonte: autor da tese.

2.3 Corantes têxteis

A produção de corantes pode variar entre 7×10^5 a 9×10^5 toneladas por ano, dependendo da demanda. Estima-se que aproximadamente 3600 corantes são utilizados por dia nas indústrias têxteis. Os corantes do tipo Azo, por exemplo, representam o grupo de corantes mais utilizado, constituindo de 60% a 70% de todo o corante relativo à produção têxtil (TRIPATHI e SRIVASTAVA, 2012; ZAHARIA e SUTEU, 2012; RAWAT et al., 2016; BRÜSCHWEILER et al., 2017).

O mercado total de importação e exportação de corantes e preparações reativas aumentaram de 125.000 toneladas em 1988 para 350.000 toneladas em 2011 (aumento de 3 vezes em 23 anos) (United Nations Statistics Division, 2013; GHALY et al., 2014).

Concentrações importantes de corantes têxteis em águas, sedimentos e solos foram identificadas em diversas regiões ao redor do mundo. No Brasil, os corantes dispersos Red 1, Blue 373 e Violet 93, foram detectados em amostras de água dos rios Ribeirão dos Cristais e Piracicaba, com concentração variando de 0,002 a $3,5 \mu\text{g L}^{-1}$ (CARNEIRO et al., 2010; ZOCCOLO et al., 2015). A presença do corante Disperso Red 1, em águas superficiais dos rios Piracicaba e Quilombo (Americana, São Paulo, Brasil), em concentrações entre 50 a 500 ng L^{-1} , também foi reportada por VACCHI et al. (2016). Os autores ainda destacam que provavelmente os sedimentos destes rios também devem estar contaminados, já que o corante Disperso Red 1 possui baixa solubilidade.

Estudos em águas superficiais de rios no Canadá, demonstraram que a concentração de corantes Azo nestas pode chegar até $22 \mu\text{g L}^{-1}$, e em sedimentos até $209 \mu\text{g g}^{-1}$. Para o corante Azo Disperso Yellow 7 é destaque a maior toxicidade quando associado ao sedimento, pela característica de facilidade de adsorção (MATHIEU-DENONCOURT et al., 2014). Em relação à contaminação do solo, a concentração total de corantes orgânicos pode chegar a $456,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na superfície do solo, perto das indústrias de corantes sintéticos (ZHOU, 2001; OLCAY TOPAÇ et al., 2009).

Os corantes têxteis podem ser classificados de acordo com sua estrutura química ou com o método pelo qual ele é fixado à fibra têxtil. Os principais grupos de corantes são: reativos, ácidos, diretos, dispersos, azoicos, à cuba, enxofre, pré-metalizados e branqueadores. Na Tabela 5 consta a classificação dos corantes têxteis de acordo com o tipo de fibra bem como a porcentagem de corante não fixada à fibra.

Tabela 5 - Classificação dos corantes têxteis de acordo com o tipo de fibra e porcentagem de corante não fixada à fibra

Fibra	Corante	Corante não fixado a fibra (%)
Lã e Poliamida	Ácido/Reativo para lã	7-20
	Pré-metalizado	2-7
Algodão e Viscose	Azóico	5-10
	Reativo	20-50
	Direto	5-20
	Pigmento	1
	À cuba	5-20
	Enxofre	30-40
Poliéster e Poliamida	Disperso	8-20
Acrílico	Básico	2-3

Fonte: GHALY et al., 2014.

Os corantes têxteis são compostos orgânicos com estruturas moleculares complexas, formadas por um ou mais grupos cromóforos (azo, antroquinona, nitro, etc), que são responsáveis pela cor do corante e para que ocorra descolaração é necessário quebrá-las. Entre os corantes mais utilizados pela indústria têxtil estão os reativos, que contém o grupamento Azo em sua estrutura. Estes são caracterizados pela presença da ligação nitrogênio-nitrogênio (-N=N-) no centro da molécula ligados a sistemas aromáticos, e, portanto, são altamente deficientes em elétrons. Como característica, esses corantes apresentam boa solidez aos tratamentos úmidos e versatilidade de aplicação, porém baixa fixação à fibra (GUARATINI e ZANONI, 2000; ROSA, 2013; GHALY et al., 2014).

2.4 Surfactantes: Características gerais

Além dos corantes, um dos compostos presentes em efluentes têxteis com elevada toxicidade e de preocupação ambiental são os surfactantes (tensoativos). Estes são os principais constituintes de formulações de produtos de limpeza, dos detergentes e produtos de higiene pessoal, por possuir como principal característica a capacidade de reduzir a tensão superficial da água. A propriedade de detergência e solubilização dos surfactantes vêm da formação de micelas em solução, pela característica destes possuírem grupos hidrofílicos e hidrofóbicos em sua molécula (YING, 2006).

Os surfactantes podem ser divididos em quatro classes principais, de acordo com a composição química: aniônicos, catiônicos, não-iônicos e anfóteros. Os aniônicos,

que apresentam sulfato na estrutura, são os mais empregados na indústria, como os alquilbenzeno sulfonatos de sódio lineares (LAS) e o dodecilsulfato de sódio (DSS). Estes representam a classe de tensoativos mais utilizados no mundo devido ao custo relativamente baixo, e por possuírem boas propriedades de limpeza, alto poder espumante, alta detergência e alta umectância. Possuindo ampla utilização nos sabões em pó e líquidos para roupas, detergentes para limpeza de louças, xampus e sabões em geral (ROMANELLI et al., 2004; DALVIN, 2011; IVANKOVIĆ e HRENOVIĆ, 2010).

Os surfactantes catiônicos possuem baixo poder de detergência e por isso são pouco utilizados em produtos de limpeza, sendo empregados como agentes sanitizantes, como desinfetantes e amaciantes. Os não-iônicos são amplamente utilizados em segmentos têxteis, papéis, alimentos, plásticos, vidros, fibras, medicamentos, pesticidas, corantes e outras indústrias, sendo a segunda classe de surfactantes mais empregada na indústria. Os anfóteros, por possuírem propriedade aniônica ou catiônica, são aplicados em produtos como sabonetes líquidos e xampus, por serem sensíveis à pele e por possuírem boa biodegradabilidade. Cabe ressaltar, que possuem alto custo quando comparado aos outros surfactantes (ROMANELLI et al., 2004; DALVIN, 2011; YUAN et al., 2014).

Em 2015, os surfactantes aniônicos representaram 50,37% de participação no mercado global; os não-iônicos 40,08%; surfactantes anfotéricos e surfactantes catiônicos tiveram participação de mercado de 6,40% e 3,15%, respectivamente (GLOBAL SURFACTANT MARKET GROWTH, 2019).

Estima-se que o mercado de surfactantes atinja US\$ 39,86 bilhões, até 2021, registrando aumento de 5,4%, entre 2016 e 2021 (GLOBAL SURFACTANTS MARKET, 2017).

2.4.1 Surfactantes e prejuízos ambientais

A elevada produção de surfactantes sintéticos se destacou à partir da década de 80. Em 1982, a produção mundial foi de aproximadamente 5 milhões de toneladas; 7,2 em 1996; 12,5 milhões de toneladas em 2006 (BLOK e BALK, 1995; DI CORCIA, 1998; EDSER, 2006; IVANKOVIĆ e HRENOVIĆ, 2010).

Os surfactantes são um dos componentes mais utilizados em produtos de detergência e amaciantes, compreendendo de 15% a 40% do total da formulação destes produtos (SCHEIBEL, 2004). Em estudo realizado nos Estados Unidos, são listados como

ingrediente em 117 produtos de limpeza em geral, 68 em produtos de cuidado pessoal e 103 em produtos de lavagem de roupas e afins (DELEO et al., 2018).

Em 2014 o consumo de detergente per capita na Índia, foi de cerca de 2,7 kg/ano, enquanto em lugares como Filipinas e Malásia, 3,7 kg, e nos EUA, em torno de 10 kg (REBELLO et al., 2014). Em 2015, a estimativa de consumo nos Estados Unidos de surfactantes foi de aproximadamente 695.000 toneladas métricas de AES (Álcool Etóxi Sulfato) e 211.000 toneladas métricas de LAS (Alquilbenzeno sulfonato linear) (JANSHEKAR et al., 2016).

Os tensoativos podem chegar às águas naturais através do descarte de efluentes domésticos e industriais sem tratamento adequado. Uma vez nos corpos receptores, estes podem contribuir com mudanças significativas na qualidade das águas, alterando a solubilidade de gases, temperatura e luminosidade, por exemplo, com possível formação de espumas, além de interferir na atividade fotossintética de algas.

Além disso, em sua maioria, não são biodegradáveis e as condições do meio podem influenciar na degradação de alguns surfactantes: em condições aeróbicas, os surfactantes LAS, alcoóis graxos etoxilados, álcool etoxilado, alquilfenol etoxilado e catiônico cloreto de dimetil amônio são degradáveis. Entretanto, em condições anaeróbicas LAS, Alcoóis Graxos Etoxilados e cloreto de dimetil amônio são persistentes e o alquilfenol etoxilado é parcialmente degradável. Tal fato, cofirma a complexidade da degradação dos surfactantes no meio ambiente (YING, 2006; JOVANIC et al., 2010; LECHUGA et al., 2016).

Pela difícil biodegradação, os surfactantes tendem a ficar bioacumulados ao longo da cadeia alimentar. Em contato com organismos, estes podem interferir no metabolismo energético e transporte de nutrientes e oxigênio através da membrana plasmática; comprometendo as atividades enzimáticas e, conseqüentemente, a função fisiológica normal do organismo. Concentrações de LAS em fígado e nos órgãos internos de truta arco-íris demonstraram rápida absorção em circulação sistêmica, por exemplo (YING, 2006; YUAN et al., 2014; COWAN-ELLSBERRY et al., 2014).

Com relação à concentração de efeito (CE 50) para organismos aquáticos expostos a diferentes classes de surfactantes, valores entre 1,24 a 74,5 mg L⁻¹, para bactéria *V. fischeri*, e 4,56 a 29,87 mg L⁻¹ para dafinídeos, foram reportados por diferentes autores (ROMANELLI et al., 2004; JURADO et al., 2009; ROSAL et al., 2010; LECHUGA et al., 2016).

De acordo com a legislação brasileira, CONAMA 357/05, os limites máximos estabelecidos para concentração de substâncias tensoativas em águas doces é de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ e em águas salinas e salobras é de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (CONAMA 357, 2005). Órgãos internacionais, como a Environmental Protection Agency/USA - EPA, estabelecem concentração máxima para surfactantes em águas superficiais de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, limite este, superior ao indicado pela OMS – Organização Mundial da Saúde que é de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (BARBOSA e VALÉRIO, 2009).

No Brasil, foi detectada degradação incompleta de LAS em águas superficiais no Rio Macacu (Rio de Janeiro), com concentrações entre 14 e $155 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ e os níveis de seus metabólitos intermediários entre $1,2$ a $14 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ (EICHHORN et al., 2002). Caso recorrente de contaminação por surfactantes também foi detectado no rio Tietê (São Paulo), $1,22 - 0,19 \text{ mg L}^{-1}$ à jusante da ETE Suzano (HAMADA et al., 2011).

Na Índia, em Tirupati (Andhra Pradesh), concentrações de surfactantes de 2 a $62 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ foram detectadas em águas de rios da região e da ordem de $50 - 720 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ em efluentes (KANCHI et al., 2012).

MCDONOUGH et al. (2016), detectaram a presença significativa de surfactantes em amostras de efluentes de ETEs nos Estados Unidos: LAS concentrações de $2,09 - 105 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ e para AS (sulfato de álcool) de $1,05 - 27,3 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$. No mesmo país, estudos anteriores já demonstravam a presença de surfactantes em efluentes de Estações de Tratamento de Efluente (ETEs), com valores entre de $0,005$ à $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ de LAS (LARSON e WOLTERING, 1995; MCAVOY et al., 1998).

2.5 Ecotoxicologia: aplicações

Com o crescente descarte de efluentes e contaminantes nos corpos hídricos, estudos de monitoramento destes, a fim de avaliar impactos aos ecossistemas, vêm sendo amplamente realizados. Neste aspecto, os ensaios ecotoxicológicos se destacam por determinarem o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos, avaliando a sensibilidade de diferentes espécies a uma substância tóxica, um efluente ou uma amostra ambiental, além de outras aplicações (CONAMA 357/05; ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

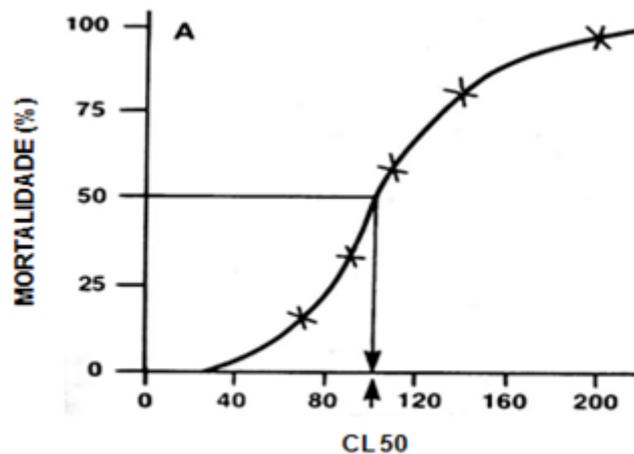
Os efeitos adversos dos poluentes sobre os organismos podem ser quantificados por uma variedade de critérios, como mortalidade, taxa de reprodução, comprimento e massa corpórea, número de anomalias ou incidência de tumores, alterações

fisiológicas e bioquímicas, densidade e diversidade de espécies numa determinada comunidade biológica, entre outros (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008; BORRELY et al., 2018).

O resultado de um ensaio de toxicidade para efeito agudo pode ser expresso pela CL50 (concentração letal mediana) ou pela CE50 (concentração efetiva mediana). A CL50 é a concentração estimada que causa mortalidade em 50% dos organismos expostos em um período de tempo específico. O tempo de exposição, usualmente, é de 24 a 96 horas, dependendo da espécie (RAND, 1995). Na Figura 2 é mostrado um exemplo de CL50, em que o percentual de mortalidade de peixes e a concentração de determinado contaminante estão plotados em escala aritmética.

A CE50 (concentração efetiva mediana) é a concentração de determinado contaminante produzir um efeito específico em 50% dos organismos expostos após um período de exposição específico (24 ou 48 horas, por exemplo). Entre os efeitos mais comuns, pode-se citar: imobilidade, perda de equilíbrio, falha para responder a um estímulo externo e comportamento anormal (RAND, 1995).

Figura 2 - Curva típica de concentração dose-resposta



Fonte: RAND, 1995.

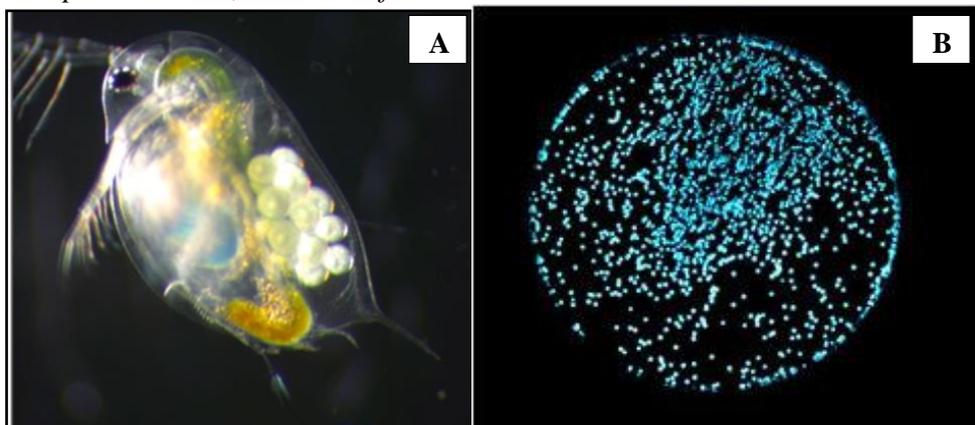
Em relação à toxicidade dos contaminantes, geralmente observa-se uma relação de concentração-resposta entre a concentração do contaminante teste ao qual os organismos estão expostos e a gravidade da resposta encontrada (Figura 2). Geralmente, quanto maior a exposição à concentração do composto químico estudado, mais grave é a letalidade (ou outra indicação biológica de efeito) (RAND, 1995).

Um contaminante pode não causar um efeito agudo aos organismos aquáticos, o que não significa que não exista toxicidade deste para as espécies. Os ensaios de toxicidade crônica permitem avaliar a possibilidade de efeitos adversos dos contaminantes em condições de exposição prolongada a concentrações subletais. Neste caso analisa-se o ciclo de vida do organismo, em vários estágios, incluindo reprodução e crescimento, por exemplo. Com os dados obtidos nestes ensaios, pode-se estimar a concentração máxima aceitável de substâncias tóxicas. Esta é a concentração limiar estimada de um produto químico dentro de uma faixa definida pela maior concentração testada na qual nenhum efeito deletério significativo foi observado (CENO- Concentração de Efeito Não Observado) e a menor concentração testada na qual algum efeito deletério significativo foi observado (CEO - Concentração de Efeito Observado) (RAND, 1995; ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

2.6 Organismos utilizados nos ensaios ecotoxicológicos: *Vibrio fischeri* e *Daphnia similis*

No presente estudo, os ensaios de toxicidade para efeito agudo foram realizados com a bactéria *Vibrio fischeri* e o microcrustáceo *Daphnia similis*, para este último organismo, também foram realizados ensaios que analisaram efeito crônico. Os organismos empregados estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Organismos utilizados em ensaios de toxicidade. **A.** *Daphnia similis*; **B.** *Vibrio fischeri*



Fonte: **A.** autor da tese; **B.** NATIONAL SCIENCE FOUNDATION [US].

A bactéria *Vibrio fischeri* é um organismo de água salgada, gram-negativo, pertencente à classe Gammaproteobacteria e à família Vibrionacea. Geralmente vive em colônias, em mutualismo com lulas e peixes, mas também há representantes de vida livre. A luminescência emitida pela bactéria está relacionada à atividade metabólica do organismo, que libera energia na forma de luz. A inibição de alguma enzima deste processo causa diminuição da luminescência. Geralmente, os poluentes podem causar indução ou supressão das atividades enzimáticas (PARVEZ et al., 2006; TORTORA et al., 2017).

O ensaio com a bactéria *Vibrio fischeri* apresenta vantagens como sensibilidade, rapidez, simplicidade, rentabilidade, reprodutibilidade e confiabilidade. Este ensaio, pela rápida obtenção de resultados, é muito utilizado em correlação com bioensaios com vertebrados e peixes. Neste tipo de ensaio, é avaliada a redução da quantidade de luz emitida pelo microrganismo-teste, após exposição à amostra de interesse. As medidas da quantidade de luz emitida pelas bactérias antes e após o contato com a amostra, em intervalos de tempo padronizados, mostram a redução da capacidade de produção da luz ao entrar em contato com amostras tóxicas (BORRELY, 2001; PARVEZ et al., 2006).

Os microcrustáceos *Daphnia similis* pertencem à classe Cladocera, Família Daphnidae, representam papel importante na cadeia alimentar, por serem consumidores primários, alimentando-se de algas e servindo de alimento para organismos de níveis tróficos superiores, como peixes. Desta forma, alterações em populações, podem acarretar em desequilíbrio em toda a cadeia alimentar. Por sua representatividade em ecossistemas, ciclo de vida relativamente curto, facilidade de cultivo em laboratório, sensibilidade, entre outros aspectos, são muito utilizados em ensaios de toxicidade (COONEY, 1995; ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

Em relação à fisiologia desse organismo, a maioria das espécies de dafinídeos possuem cerdas filtradoras, presentes na região torácica, que retêm algas, bactérias e material orgânico da água, por exemplo. O alimento é transferido para a boca, triturado na mandíbula e em seguida passa ao trato digestório (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

2.7 Toxicidade de efluentes têxteis e contaminantes

A toxicidade em efluentes têxteis atinge diferentes organismos da cadeia trófica, impactando todo ecossistema exposto a estes contaminantes. Dentre as alterações mais citadas na literatura estão: toxicidade a organismos aquáticos, causando mortalidade, alterações fisiológicas, genotoxicidade e mutagenicidade. E alterações histopatológicas em sistemas respiratório, filtrador, reprodutor, hematopoiético, de diferentes organismos, como em peixes, anfíbios e mamíferos (SHARMA et al., 2007a; BORRELY et al., 2016; AKHTAR et al., 2018; MEIRELES et al., 2018).

Estudos com organismos aquáticos, como peixes, demonstraram indução de genotoxicidade, alterações enzimáticas e stress oxidativo para *Danio rerio* e alterações gerais e de secreção de mucosa (mecanismo defensivo) em *Gambusia affinis* (SHARMA et al., 2007b; ZHANG et al., 2012; MEIRELES et al., 2018).

O efeito tóxico de efluente com corante Reativo Blue 222 para os organismos aquáticos *D. similis*, *V. fischeri* e *B. plicatilis*, com valores de CE 50% entre 8,73 e 14,61, são relatados por BORRELY et al. (2016). OLIVEIRA et al. (2018) reportam para *D. magna* CL50 de 686,5 mg L⁻¹ relativa ao corante Reativo Blue 15. Para o mesmo organismo, exposto corante têxtil Reativo Red 120, valor de CE 50 de 10,40 mg L⁻¹ é citado por DARSANA et al. (2015).

Em relação a vegetais, NOUREN et al. (2017) demonstraram que o corante azo Direto Yellow 4 afetou significativamente a germinação das sementes (50% de inibição) e reduziu significativamente o comprimento de raízes em *Zea mays*. Em estudo com *Lemna aequinoctialis*, exposta a efluente têxtil proveniente de complexo industrial, houve fragmentação de células, perda de raízes e redução de tamanho de 50% até 70% (SHARMA et al., 2007b).

Em mamíferos, estudos com ratos albinos e com camundongos expostos a efluentes têxteis indicam diminuição do peso (7-25%), alterações em sistema reprodutor, com diminuição de espermatozóides de até 60% e esterilização completa, em alguns casos. Também foi reportado aumento da frequência de espermatozóides com morfologia anormal e diminuição da fertilidade em *Mus musculus* exposto ao corante disperso Red 1. Com relação ao sistema hematopoiético, foram reportadas alterações como: redução do tamanho dos glóbulos vermelhos (13-27%); aumento de ureia, creatinina e bilirrubina (5-97%); glicose diminuída, proteína total, albumina (8-53%) (SURYAVATHI et al., 2005; SHARMA et al., 2007a; FERNANDES et al., 2015). Em *Rattus norvegicus*, AKHTAR et

al. (2018) evidenciaram lesões histopatológicas em coração, rins, pulmões e epitélio intestinal. Incluindo degeneração e necrose de células epiteliais nos túbulos renais e enfisema alveolar.

A alta atividade mutagênica devido a efluentes e corantes têxteis foi estudada por diferentes autores: 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 Disperso Blue 373 e Disperso Violet 93 foram os principais responsáveis pela mutagenicidade encontrada para *Salmonella* 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).

Quanto à genotoxicidade, os corantes Reativo Blue 15 e Direto Black 38 induziram a danos significativos no DNA, evidenciados pelo teste do Cometa, em *D. magna* à partir de 250 mg L⁻¹, após 48 h de exposição (OLIVEIRA et al., 2018). No mesmo estudo, para Direto Black 38 também foi possível observar efeito genotóxico em células RTG-2 de peixes, em concentrações entre 32,25 a 125 µg mL⁻¹. O mesmo ensaio também detectou genotoxicidade do corante Remazol Preto B a partir da concentração 1g L⁻¹ para *Biomphalaria glabrata* (PINHEIRO, 2011).

Estudo a respeito de atividade mutagênica, sugere que os corantes azo Disperso Red 1 e Disperso Orange 1 aumentam a frequência de micronúcleos em linfócitos humanos e células HepG2, com máximo de indução de formação em concentração até 1,0 µg mL⁻¹. Para o corante azo disperso Red13 foi observado indução de danos cromossômicos em linfócitos humanos, e os respectivos produtos de oxidação e redução também apresentaram atividade mutagênica, em concentração de até 4,0 µg mL⁻¹ (CHEQUER et al., 2009; CHEQUER et al., 2015).

Na Tabela 6 foram organizados estudos de relevância sobre o tema, tratando dos efeitos nocivos de corantes e efluentes têxteis.

Tabela 6 - Estudos de relevância sobre efeitos nocivos de corantes e efluentes têxteis

Organismo - Teste	Alterações Biológicas decorrentes de poluentes empregados na indústria têxtil	Referência
Ratos Albinos Camundongos	Esterilização completa dos animais expostos a efluentes têxteis; alterações no sistema hematopoiético, com redução corporal e tamanho dos glóbulos vermelhos.	SURYAVATHI et al., 2005 SHARMA et al., 2007
<i>Lemna aequinoctialis</i>	Fragmentação de células, perda de raízes e redução de até 70% em tamanho e espessura das frondes.	SHARMA et al., 2007b
<i>Gambusia affinis</i>	Deposição de corantes em brânquias e órgãos internos, escurecimento do corpo e branqueamento dos olhos, secreção de muco como defesa.	SHARMA et al., 2007b
<i>Daphnia magna</i> <i>Lactuca sativum</i> <i>Crocus sativus</i> <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	Toxicidade para organismos expostos a efluente têxtil.	TIGINI et al., 2011
<i>Silurana tropicalis</i>	Toxicidade e indução de má formação larval, devido a exposição ao corante Azo Disperso Yellow 7.	MATHIEU-DENONCOURT et al., 2014.
<i>Girardia tigrina</i>	Movimentos descoordenados, torções irregulares, deposição de corante na pele e região encefálica, aumento da produção de muco e atrasos regenerativos, devido exposição ao corante Disperso Red 1.	RIBEIRO e UMBUZEIRO, 2014.
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> <i>Lemna gibba</i> <i>Daphnia magna</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Toxicidade aguda do corante reativo Red 120.	DARSANA et al., 2015
<i>Daphnia similis</i> <i>Brachionus plicatilis</i> <i>Vibrio fischeri</i>	Toxicidade de efluente têxtil com corante reativo Blue 222.	BORRELY et al., 2016 MORAIS, 2015
<i>Danio rerio</i>	Alterações enzimáticas e stress oxidativo, induzidos pelos corantes têxteis Red 60, R73 e R78.	MEIRELES et al., 2018
<i>Danio rerio</i>	Redução no consumo de energia e diminuição da atividade de natação em embriões (corantes Basic Red 51 e naftoquinona natural eritrostominona).	ABE et al., 2018
<i>Rattus norvegicus</i>	Exposição à efluente têxtil: lesões histopatológicas, com necrose de células epiteliais e hepatócitos, e enfisema alveolar.	AKHTAR et al., 2018
<i>Vibrio fischeri</i> <i>Desmodesmus subspicatus</i>	Toxicidade de efluente têxtil proveniente de indústrias têxteis na China.	LIANG et al., 2018
<i>Eisenia foetida</i> <i>Cucumis sativus</i> <i>Lactuca sativa</i> <i>Lycopersicon esculentum</i> <i>Daphnia magna</i> <i>Artemia salina</i>	Toxicidade e genotoxicidade dos corantes Direto Black 38 e Reativo Blue 15.	OLIVEIRA et al., 2018
<i>Daphnia similis</i> <i>Vibrio fischeri</i>	Toxicidade do efluente têxtil com corante reativo Yellow 160	BORRELY et al., 2019

Fonte: autor da tese.

2.8 Irradiação por feixe de elétrons e tratabilidade de efluentes

Devido às características dos efluentes têxteis, além do tratamento biológico, geralmente se faz necessário o uso de Processos Oxidativos Avançados (POAs) para garantir melhor eficiência no tratamento destes. Os POAs são processos que produzem espécies oxidantes, como as hidroxilas ($\text{OH}\cdot$) que são capazes de quebrar as moléculas em produtos menos nocivos e, muitas vezes, também mineralizá-las e comparados a outros métodos geram pouco material residual e emissão gasosas (WOJNÁROVITS e TAKÁCS, 2008; RAUF e ASRAF, 2009). Na Tabela 7 estão apresentados os principais POAs e as espécies reativas de tais processos.

Tabela 7 - Processos Oxidativos Avançados

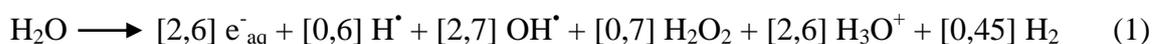
Métodos	Espécies Reativas
Tratamento com Ozônio: O_3 ou $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$	$\cdot\text{OH}$, $\text{HO}_2\cdot/\text{O}_2\cdot^-$, $\text{O}_3\cdot^-$
Processo Fenton: $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$ ou $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3/\text{Fe}^{+2}$ (meio ácido)	$\cdot\text{OH}$, $\text{HO}_2\cdot/\text{O}_2\cdot^-$, $\text{O}_3\cdot^-$
Processo Foton-Fenton com luz UV	$\cdot\text{OH}$
Foto-oxidação induzida por UV ($\lambda = 185\text{nm}$ e 254nm) ou UV/ O_3 , UV/ H_2O_2 e UV/ $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, respectivamente, usando, por exemplo, lâmpada de Hg de baixa pressão	$\cdot\text{OH}$, $\text{HO}_2\cdot/\text{O}_2\cdot^-$, $\text{O}_3\cdot^-$
Tratamento por fotocatalise: UV/Vis usando TiO_2 , ZnO , etc como catalisador	$\cdot\text{OH}$
Radiação- induzindo a oxidação de poluentes usando elétrons acelerados, raios γ , raios X; efeito sinérgico na presença de O_3/O_2 , eventualmente H_2O_2 como aditivo	$\cdot\text{OH}$, $\text{HO}_2\cdot/\text{O}_2\cdot^-$, $\text{O}_3\cdot^-$, e_{aq}^- , $\text{H}\cdot$
Oxidação Eletroquímica	-
Tratamento Ultrasônico (sonólise da água)	$\cdot\text{OH}$, $\text{H}\cdot$
Oxidação Térmica usada para efluentes industriais líquidos	-

Fonte: WOJNÁROVITS e TAKÁCS, 2008.

Com relação ao POA por radiação, a partir da irradiação de soluções aquosas em aceleradores de elétrons, a principal modificação se dá devido a interação da radiação com a matéria (água) com mudanças fundamentais no sistema irradiado, através da geração

de ionização e excitação em átomos e moléculas, envolvendo a oxidação de moléculas orgânicas e alterações estruturais em moléculas orgânicas e inorgânicas, por exemplo. A degradação dos compostos pode ocorrer pela interação direta da radiação ionizante com estes ou por efeito indireto através da interação com a molécula de água (radiólise da água), gerando espécies químicas reativas. Normalmente para compostos puros, os efeitos da radiação ocorrem de forma direta, já para soluções e amostras líquidas o principal mecanismo é a ação indireta da radiação (COOPER et al., 1998; PINHEIRO, 2011).

As principais espécies geradas pela radiólise da água são os e^-_{aq} , H^\bullet , OH^\bullet , e os produtos moleculares H_2 e H_2O_2 . A equação a seguir (equação 1) corresponde ao mecanismo da radiólise da água:



Os radicais livres originados como consequência da ionização de moléculas de água interagem quimicamente entre si ou com moléculas próximas a eles. Dentre os principais radicais formados na radiólise, o radical hidroxila (OH^\bullet) é o oxidante primário na degradação de compostos orgânicos (BORRELY, 2001; WOJNÁROVITS e TAKÁCS, 2016).

O rendimento das espécies formadas pela absorção de energia na reação de radiólise da água pode ser avaliado pelo valor G (mol J^{-1}). Os respectivos valores de G das espécies formadas na radiólise estão representados na equação 1. Este valor corresponde ao número de radicais, moléculas ou íons que surgem ou reagem em uma solução devido a 100 eV de energia absorvida, e é influenciado pelo pH do meio (BORRELY, 2001).

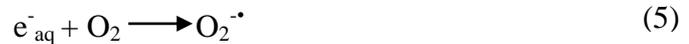
Em meio ácido o e^-_{aq} é convertido em átomo de hidrogênio (equação 2):



Em meio básico, os átomos de hidrogênio transformam-se em e^-_{aq} e os radicais OH^\bullet dissociam-se (equações 3 e 4, respectivamente):



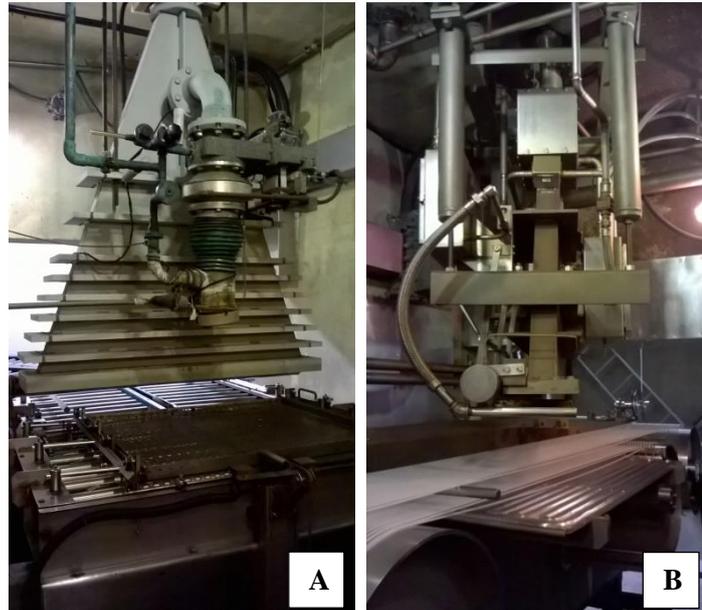
Quando o sistema possui ar ou em soluções com oxigênio saturado os radicais e^-_{aq} e H^\bullet são capturados pelo oxigênio originando os radicais ânion superóxido e hidroperoxila (equações 5 e 6, respectivamente):



A quantidade de energia da radiação ionizante transferida para a matéria é chamada de dose absorvida. A unidade definida pelo Sistema Internacional de Unidades para dose absorvida é o Joule por quilograma ($J\ kg^{-1}$). Dessa unidade surgiram o rad e o gray. Esta última é a unidade utilizada atualmente. A relação entre essas unidades é: $1\ Gy = 1\ J\ kg^{-1} = 100\ rad$ (BORRELY, 2001).

As tecnologias que envolvem radiação são utilizadas em diversos segmentos como industrial, radioterapia, ambiental e produção de alimentos. Mundialmente, existem aproximadamente 250 instalações de radiação gama e mais de 1600 aceleradores de feixe de elétrons. No Brasil, encontram-se sete irradiadores gama com atividades entre 10 kCi e 100 MCi e mais de vinte aceleradores de elétrons com energias entre 100 keV e 10 MeV. Sendo que dois aceleradores industriais, JOB 188 e JOB 307, estão instalados no Centro de Tecnologia das Radiações do IPEN (Figura 4), e são destinados a pesquisa em diversas áreas e à prestação de serviços (IAEA, 2019).

Figura 4 - Acelerador de elétrons - IPEN. **A.** Dynamitron DC 1500/25/4 - Job 188. **B.** Dynamitron DPC 2000 - Job 307

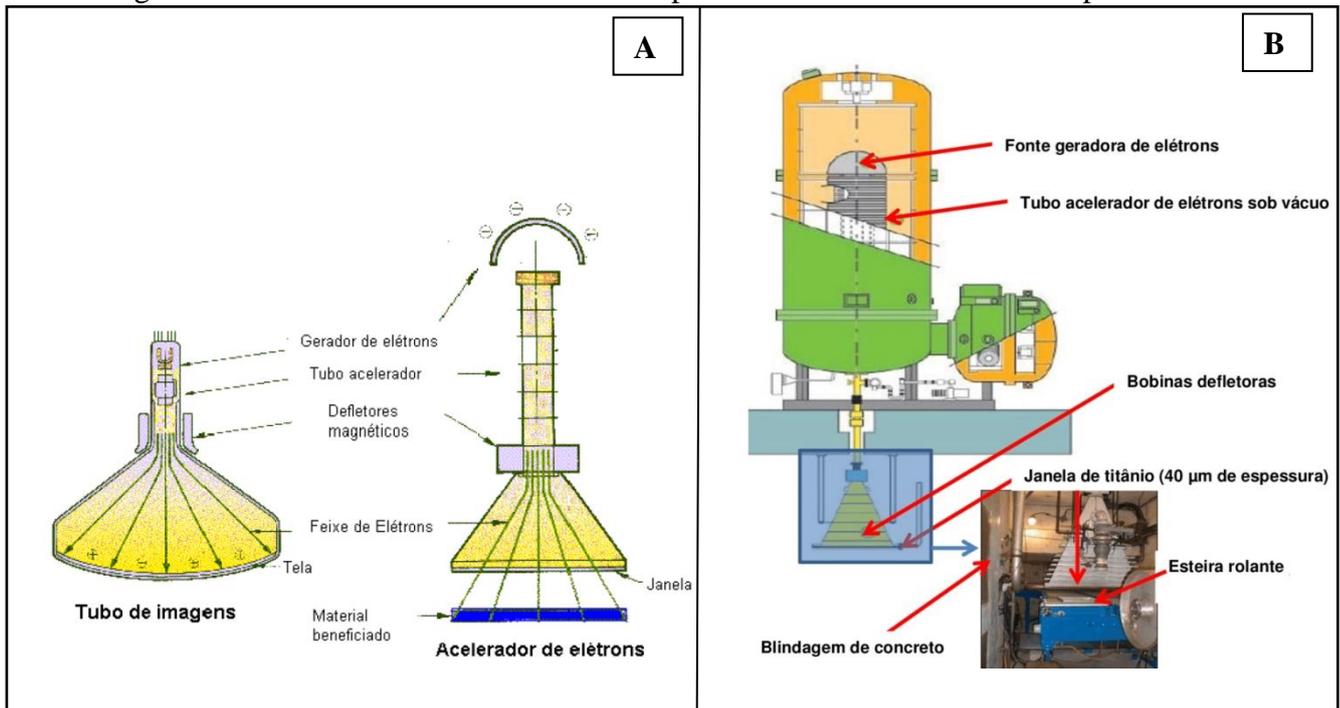


Fonte: IPEN/CETER; autor da tese.

Um acelerador de partículas pode ser definido como um equipamento que aplica forças a partículas carregadas por meio de alguma combinação de campos elétricos e magnéticos, gerando íons de alta velocidade e alta energia cinética. Quando se estabelece um potencial de alta voltagem entre cátodo e ânodo, no vácuo, o cátodo emite feixe de elétrons. O produto da intensidade do feixe ou corrente elétrica formada por partículas carregadas em movimento no acelerador de elétrons, corresponde à potência do feixe de elétrons. A potência média deste feixe está diretamente relacionada com o rendimento da taxa de dose de radiação utilizada no processo (BLY, 1988; BORRELY, 2001). O princípio de funcionamento do acelerador de elétrons e as principais estruturas que o compõem, estão representados na Figura 5A e B.

Os aceleradores originam elétrons com energia entre 50 a 400 kW. Para o tratamento de gás, a energia necessária em elétrons esta entre 0,7 a 1,0 MeV, porém para o tratamento de águas residuais e esgotos, essa energia deve ser superior a 1,0 MeV o que torna esse processo pouco mais caro para o tratamento de efluentes industriais. No entanto, doses baixas de radiação podem ser suficientes para a penetração de elétrons acelerados em efluentes industriais e originar mudanças na hidrodinâmica onde se encontram os poluentes, justificando o seu uso (HAN et al., 2007; MORAIS, 2015).

Figura 5 - Acelerador de Elétrons. **A.** Princípio de funcionamento. **B.** Principais estruturas



Fontes: BORRELY, 2001; BARDI, 2014; “Dynamitron(R) e-beam accelerator: IBA”, 2015.

A tecnologia com radiação ionizante possui diferentes aplicações em matrizes ambientais: para tratamento de esgotos, foi evidenciada redução de 99,99% de coliformes fecais em 3 kGy e redução de 20% de DBO, na mesma dose (BORRELY et al., 1998). BORRELY (2001), também em estudo sobre desinfecção de esgotos, evidenciou diminuição de toxicidade para organismos aquáticos da ordem de 75 a 95% em amostras de esgotos irradiadas.

Com relação à fármacos, TOMINAGA et al. (2018) demonstraram degradação do diclofenaco: 95% (2,5 kGy); TEGZE et al. (2018), para os antibióticos ciprofloxacina e norfloxacina: degradação próxima de 70% com 0,5 kGy, e eficiência de remoção de DQO e TOC próxima de 40% com 6 kGy e BOIANI et al. (2019) remoção de até 80% de efeitos agudos (5 kGy) para fluoxetina e propranolol.

Desinfecção de esgoto seco (dose de 10 kGy) para posterior uso na agricultura como fertilizante foi reportada por NITZAN (2007). Em tratamento com diferentes pesticidas foi evidenciada degradação superior a 80% com 5 kGy para os produtos Dimetoato, Carbofurano e Imidacloprid (RAMÍREZ et al., 2008).

Quanto à aplicação das radiações ionizantes em corantes e efluentes têxteis, diferentes estudos demonstraram a eficiência na remoção de toxicidade para organismos aquáticos; redução significativa da demanda química de oxigênio, carbono orgânico total e

cor, com doses de radiação até 10 kGy (WOJNÁROVITS e TAKÁCS, 2008; VAHDAT et al., 2010; ABDOU et al., 2011; KIM et al., 2011; HE et al., 2016; BORRELY et al., 2019).

VAHDAT et al. (2010) destacaram que 6 kGy para solução com C.I. Preto Direto 22 foi suficiente para 100% de remoção de cor. Para a solução com 3RF Amarelo Reativo, ABDOU et al. (2011), reportam 7 kGy para mais de 80% de remoção na cor; na mesma dose redução significativa de DQO e COT para o corante azo direto (Direto Blue 4GL) com valores de 45% e 42%, respectivamente. Em estudo com efluente têxtil proveniente de parque industrial da cidade Rawang (Malásia), composto por mistura de corantes reativos (80-90%) e corantes dispersos (10-20%), foi evidenciada que a irradiação por feixe de elétrons promoveu remoção de 40-70% de coloração na dose de 8 kGy; e diminuição de DQO superior a 10% na dose de 0,5 kGy (TING e JAMALUDIN, 2008).

Mais recentemente, a Coréia do Sul aplicou a irradiação para o tratamento de efluentes têxteis em complexo industrial (cidade de Daegu). Utilizando a irradiação com feixe de elétrons como pré- tratamento para o processo biológico (lodo ativado), obtendo resultados promissores em relação à biodegradabilidade dos efluentes, com diminuição de DQO e DBO entre 30 e 40%, e TOC superior a 70%, em dose próxima 1 kGy. Com isso houve redução no tempo de retenção do efluente no tratamento biológico e a utilização de reagentes químicos (diminuição de até 50%) (KIM et al., 2011; HAN et al., 2012).

Também sobre a implementação de acelerador de elétrons em planta industrial, na China, foi constatado que a utilização da irradiação, juntamente com o tratamento biológico, melhorou a biodegradabilidade do efluente em 224% (3 kGy), com base nos valores de DQO e DBO obtidos (HE et al., 2016). Neste caso a irradiação foi aplicada após o tratamento biológico, diferentemente da Coréia do Sul.

No Brasil essa tecnologia tem sido estudada há anos e à diminuição de toxicidade a organismos aquáticos tem sido evidenciada, além de outros parâmetros: corante têxtil RB222 - eficiência da irradiação por feixe de elétrons superior a 30% na dose de 2,5 kGy e 50% com 5 kGy. Em efluente contendo corante reativo Amarelo 160 - eficiência de aproximadamente 18% com 2,5 kGy (BORRELY et al., 2016; BORRELY et al., 2019).

Exemplos de estudos que envolveram a irradiação por feixe de elétrons para efluentes e corantes têxteis foram organizados na Tabela 8, com a finalidade de demonstrar a eficiência desta tecnologia para este tipo de efluente.

Tabela 8 - Estudos com efluentes e corantes têxteis tratados por irradiação com feixe de elétrons

Objeto de Estudo	Intervalo de dose (kGy)	Referência
Toxicidade de efluente proveniente da indústria têxtil	0,1- 10	BORRELY et al., 2000
DQO, DBO e COT de Efluentes Industriais	5-20	DUARTE et al., 2000
DQO, DBO e cor de nove corantes e efluentes têxteis	1,17 - 3,90	CHOI et al, 2004
Decomposição, cor, DQO e pH dos corantes têxteis Reativos Red KE-3B e Blue XBR	0,1 - 26	WANG et al., 2006
Cor, DQO e pH de diferentes corantes têxteis reativos e dispersos	0,5 - 215	TING e JAMALUDIN, 2008
Cor, TOC e toxicidade de efluente têxtil real	0,5-3	HIGA, 2008
Cor, DQO e pH do corante têxtil Direto Black 22	0,1 - 9	VAHDAT et al., 2010
Cor, Efeito tóxico dos corantes reativos Preto B e Alaranjado 3R <i>D. similis, V. fischeri e B. glabrata</i>	0,5- 10	PINHEIRO, 2011
COT, DQO, pH e cor dos corantes têxteis: Direto Blue 4GL; Reativo Yellow 3RF; Direto Green 5GLL e Reativo Blue 19	0,5 - 7	ABDOU et al., 2011
COT, DQO, DBO, pH e cor de efluentes têxteis	0,1- 4,3	KIM et al., 2011
Efeito tóxico de efluentes têxteis e estudo com corante Reativo Blue 222 <i>D. similis, V. fischeri e B. plicatilis</i>	0,5 - 10	MORAIS, 2015
Efeito tóxico de diferentes efluentes têxteis <i>D. similis, V. fischeri e B. plicatilis</i>	0,5 - 20	BORRELY et al., 2016
Biodegradação, DQO, DBO e cor de corantes e efluentes têxteis reais, provenientes de complexo industrial têxtil	1,0 - 9,0	HE et al., 2016
Cor e efeito tóxico de efluente têxtil com corante Reativo Yellow 160 <i>D. similis e V. fischeri</i>	0,5-20	BORRELY et al., 2019

Fonte: autor da tese.

Sobre os custos de implementação de um acelerador de elétrons de alta potência para tratamento de efluentes têxteis, auxiliar ao tratamento biológico, em complexo industrial têxtil (Coréia do Sul), foram gastos aproximadamente 4 milhões de dólares para a construção da planta, incluindo o equipamento e implementação deste. Quanto à operação da planta, o real custo para tratamento de 10.000 m³ por dia foi estimado em aproximadamente 500 mil dólares por ano; e o custo para o tratamento de efluente no complexo industrial ficou em torno de US\$ 0,30 por m³ tratado, utilizando dose em torno de 1 kGy. Antes da implementação da tecnologia com feixe de elétrons, o custo incluindo os tratamentos químico e biológico, era entre US\$1,1 e 1,2 por m³ tratado (KIM et al., 2011; HAN et al., 2012).

Na China, estudo em escala piloto para tratamento de efluentes têxteis (coagulação/floculação + feixe de elétrons- dose 1 kGy) em complexo industrial têxtil, demonstrou custo de US\$ 0,020 por m³ tratado (CHEN et al., 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo foram avaliadas amostras de efluente têxtil que contém corante Reativo Red 239 (Figura 6A). A irradiação por feixe de elétrons foi empregada para o tratamento desses efluentes (Figura 6B).

Conforme Colour Index (catálogo da *Society of dyes and Colourists*), o corante Reativo Red 239 (RR 239) possui forma molecular $C_{31}H_{19}ClN_7Na_5O_{19}S_6$, peso molecular 1136.32 e número de registro CAS 89157-03-9, sendo caracterizado na classe dos corantes reativos monoazo (WORLDDYEVARIETY, 2019).

Figura 6 - **A.** Estrutura Molecular do corante reativo Red 239. **B.** Amostras de efluente têxtil bruta e tratadas com feixe de elétrons: 0,5 – 15 kGy



Fonte: **A.** WORLDDYEVARIETY.COM; **B.** autor da tese.

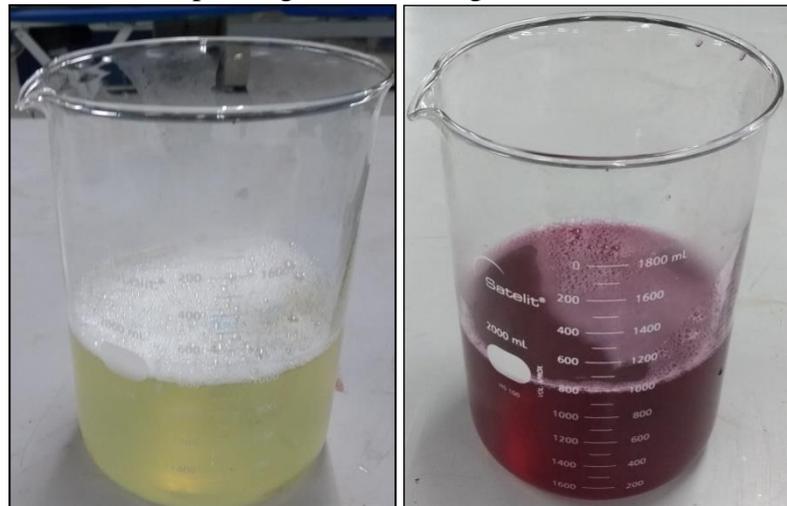
O efluente padrão foi obtido durante o processamento da fibra de algodão em laboratório têxtil pré-industrial (Laboratório de Química Têxtil, SENAI, Brás-“Francisco Matarazzo”), (Figura 7). A Figura 8 ilustra o efluente após etapa de alvejamento do tecido e efluente final, após tingimento e lavagem. Já na Figura 9 pode ser observado o tecido de algodão antes e após procedimento de tingimento. E na Tabela consta 9 a forma de preparo do tingimento do algodão, que gerou o efluente analisado, bem como os compostos químicos avaliados neste estudo.

Figura 7 - Sequência de máquina lavadoras empregadas no tingimento têxtil, Laboratório pré-industrial (SENAI)



Fonte: autor da tese.

Figura 8 - Efluente após etapa de alvejamento do tecido e efluente final, após tingimento e lavagem



Fonte: autor da tese.

Figura 9 – Tecido de algodão antes e após procedimento de tingimento



Fonte: autor da tese.

Tabela 9 - Forma de preparo do tingimento da fibra de algodão

Etapas	Tempo/ Temperatura	Insumos químicos	Unidade	Concentração
Alvejamento (Pré-Tratamento)	20 min/90°C	Umectante	g L ⁻¹	0,50
		Hidróxido de Sódio	g L ⁻¹	1,00
		Surfactante	g L ⁻¹	1,00
		Dispersante/Sequestrante	g L ⁻¹	1,00
		Estabilizador (Metassilicato de Sódio e líquido)	g L ⁻¹	0,50
		Carbonato de Sódio	g L ⁻¹	0,50
	Peróxido de Hidrogênio	mL L ⁻¹	2,00	
10 min/60°C	Enzima Catalase	g L ⁻¹	0,50	
	Ácido Sulfúrico	mL L ⁻¹	0,15	
Tingimento	70 min/60°C	Cloreto de Sódio	g L ⁻¹	50,00
		Corante Reativo Red 239	%	1,50
		Hidróxido de Sódio	mL L ⁻¹	0,5
Lavagem (Pós-Tratamento)	5 min/25°C	Ácido Acético	mL L ⁻¹	1,00
	10 min/25°C	Água	-	1:12*
	10 min/25°C	Água	-	1:12*
	5 min/90°C	Dispersante/Sequestrante	g L ⁻¹	1,00
	10 min/25°C	Água	-	1:12*

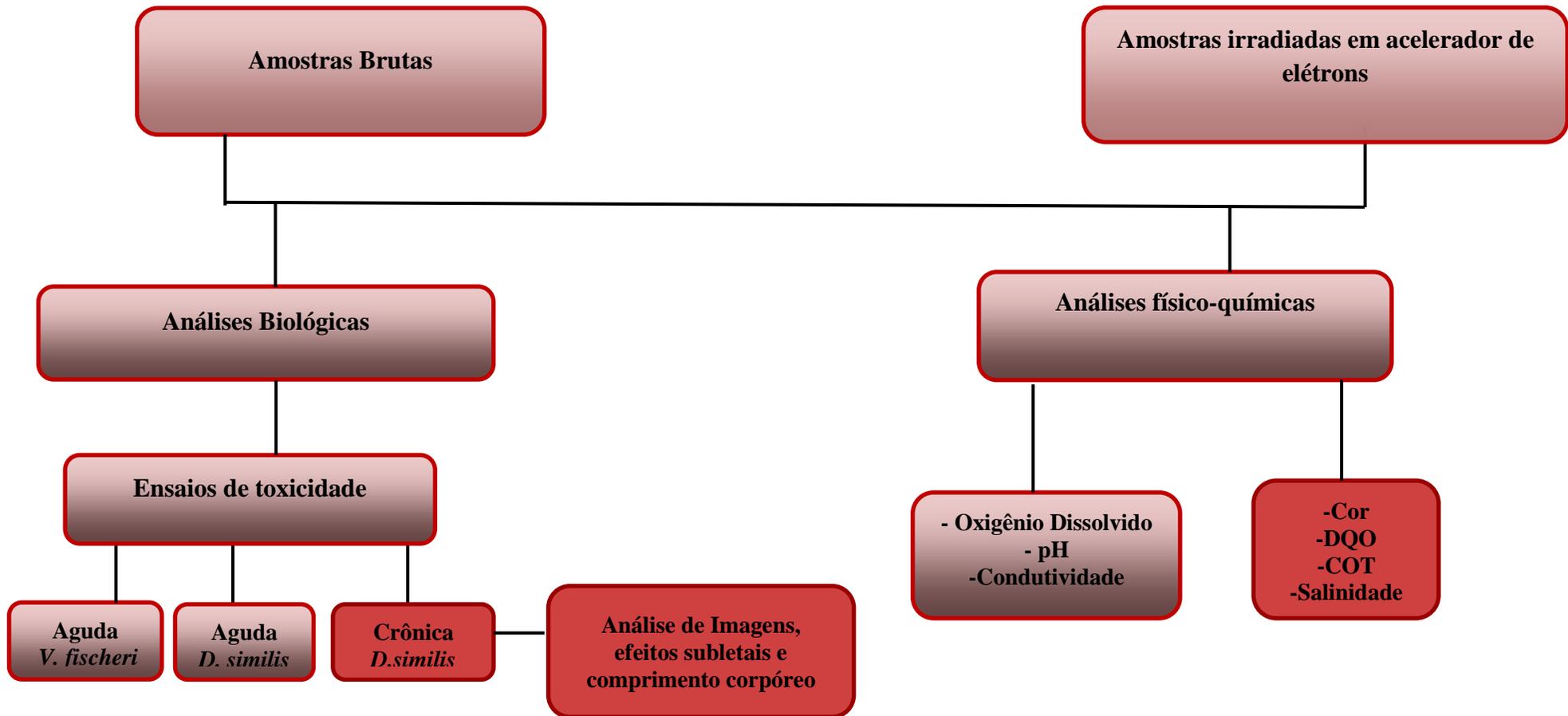
Legenda: *Relação banho: 1:12 (1 kg de tecido/12 Litros de água). Fonte: autor da tese.

A avaliação de toxicidade dos compostos em solução aquosa foi realizada à partir de concentrações iniciais descritas na Tabela 9, com exceção do corante, que foi utilizada a concentração no efluente final: $C = 0,564 \text{ g L}^{-1}$. Esse valor pode ser calculado de acordo com a porcentagem de esgotamento do corante fixado a fibra no processo de tingimento (BEZERRA et al., 2015).

Os ensaios de toxicidade, tanto para as amostras de contaminantes quanto para efluente, foram desenvolvidos com os organismos *Vibrio fischeri* (bactéria) e *Daphnia similis* (microcrustáceo). Outras análises no efluente, tais como: toxicidade para efeito crônico, alterações subletais e comprimento corpóreo em *D. similis*, foram incluídas no estudo. Cabe destacar que para o efluente têxtil foram realizadas três campanhas em momentos distintos deste trabalho. Todos os ensaios de toxicidade foram realizados no Laboratório de Ensaios Biológicos e Ambientais (LEBA) do CETER/IPEN (Centro de Tecnologia das Radiações/ IPEN).

Além disso, também foram avaliados os parâmetros físico-químicos das amostras de efluente e compostos químicos, tais como: oxigênio dissolvido (O.D.), pH, condutividade, salinidade, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Total (COT) e cor. A parte experimental realizada durante o estudo consta no fluxograma (Figura 10).

Figura 10 - Fluxograma das principais etapas experimentais desenvolvidas durante o estudo



 Ensaio realizado com efluente têxtil e compostos.

 Ensaio realizado com efluente têxtil.

Fonte: autor da tese.

3.1 Irradiação com feixe de elétrons

As amostras foram irradiadas em acelerador de elétrons do CETER/ IPEN, modelo Dynamitron (Figura 11), com energia fixada em 1,4 MeV e potência de 37,5kW. As doses de radiação aplicadas variaram conforme a intensidade da corrente elétrica para obtenção do feixe de elétrons. As amostras foram acondicionadas em recipiente de vidro de borossilicato, com volume de 246 mL de amostra foi colocado (garantindo espessura de 4,0 mm de amostra para correta distribuição da energia), e o recipiente foi coberto com filme plástico. Na irradiação, os recipientes com as amostras foram dispostos em bandeja móvel, em esteira automática com velocidade fixada em $6,72 \text{ m min}^{-1}$, passando duas vezes pelo feixe de elétrons, recebendo metade da dose em cada passagem.

A dose de radiação selecionada para os compostos orgânicos surfactante, umectante, dispersante/sequestrante e corante reativo foi de 2,5 kGy, e para o efluente têxtil as doses variaram entre 0,5 e 15 kGy, dependendo do parâmetro estudado.

Figura 11 - Acelerador de Elétrons (IPEN/CETER) com amostras de efluente para irradiação



Fonte: autor da tese.

3.2 Ensaio de Toxicidade para Efeito Agudo: *Vibrio fischeri*

O ensaio de toxicidade aguda com a bactéria marinha luminescente *Vibrio fischeri* foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 15411-2: 2012. O ensaio foi realizado com o sistema Microtox®, modelo M-500 da Microbics. Na Figura 12 foi mostrado o equipamento Microtox® e materiais utilizados durante o ensaio.

Figura 12 - Sistema Microtox®, ensaio com a bactéria *V. fischeri*



Fonte: autor da tese.

A luminescência da bactéria foi analisada inicialmente (I_0) e após 15 minutos (I_{15}) de exposição à amostra de interesse, a fim de avaliar se houve perda de luminescência, em cada concentração-teste. A perda de luminescência é indicativo de efeito tóxico da amostra para a bactéria. As concentrações utilizadas variaram de acordo com cada amostra analisada, com valores entre: 2,55% e 81,90% (fator 2 de diluição), as concentrações para cada composto e efluentes foram descritas nos Apêndices C e D, mais um controle (organismo exposto no diluente, nas mesmas condições do ensaio). Os ensaios foram realizados em triplicata para todos os compostos e efluentes analisados.

Para a validação dos ensaios realizados, foi avaliada a sensibilidade de *V. fischeri* utilizando o fenol como substância referência, os resultados obtidos foram utilizados na composição da carta controle de sensibilidade, segundo recomendações da Norma Técnica.

A partir da análise dos resultados de luminescência, foi possível calcular os valores da CE50 (concentração efetiva mediana que causa efeito a 50% dos organismos expostos), empregando curva de regressão linear, baseada no valor do efeito gama (γ), que é o quociente entre a luz perdida e a luz remanescente.

As bactérias (marca Biolux®) foram adquiridas na forma liofilizada e armazenadas em freezer a -18°C . Para a realização dos ensaios, um frasco de 1 mL, com as bactérias liofilizadas, foi reconstituído em 1000 μL de solução tampão de reativação, essa solução foi transferida para a cubeta específica e colocada no sistema Microtox® com temperatura aproximada de $3^{\circ}\text{C} \pm 0,2$. Com isso, foi realizada a diluição de 100 μL da bactéria hidratada em 1000 μL de solução diluente em nova cubeta.

Para realização dos ensaios, 100 μL da solução descrita anteriormente foi transferido para as respectivas cubetas-teste para a realização da leitura inicial de luminescência (I_0). A diluição das amostras foi realizada nas próprias cubetas, sendo que a de maior concentração recebeu 200 μL de solução salina para ajuste osmótico. Em seguida, foram transferidos 900 μL das cubetas com as amostras para as que já continham 100 μL de bactéria, após 15 minutos de exposição foi realizada a segunda leitura de luminescência (I_{15}).

3.3 *Daphnia similis*: Cultivo e manutenção

Os cultivos foram mantidos em cristalizadores de 2 litros, com 35 organismos em cada e acondicionados em incubadora com fotoperíodo de 16 horas de luz e temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Cada cultivo foi mantido por aproximadamente 30 dias e diariamente foi realizada a manutenção deste: alimentação, retirada das neonatas e limpeza da cuba.

A alimentação diária foi com alga *Pseudokirchneriella subcapitata* e alimento a base de ração de peixes e leveduras diluídos em água (RL). A alga *P. subcapitata* foi mantida em meio de cultura L.C. Oligo, com aeração e luminosidade constantes. O RL (Ração Líquida) foi feito com 0,5g de fermento biológico diluído em 50 mL de solução fermentada de ração de peixes e completado para 125 mL com água destilada.

A renovação de água dos cultivos foi realizada semanalmente. A água utilizada na manutenção dos organismos foi coletada em Salto/SP, com ajuste de dureza total para $45 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, pH entre 6,8 e 7,2, e mantida em aeração constante.

3.3.1 Ensaio de Toxicidade para Efeito Agudo: *Daphnia similis*

O ensaio com *Daphnia similis* seguiu recomendações da norma ABNT NBR 12713:2016. Para cada amostra foi realizada uma série de concentrações, a fim de

determinar o valor de CE50: concentração efetiva mediana que causa efeito a 50% dos organismos expostos; parâmetro inversamente proporcional à toxicidade. As concentrações foram determinadas a partir de ensaios preliminares.

O mínimo de cinco concentrações foi adotado além de um controle (somente água de cultivo). Os ensaios foram realizados em triplicata para todos os compostos e efluentes analisados. Para cada concentração foram utilizados quatro tubos de ensaio com volume de 10 mL, com cinco organismos jovens (6 a 24 horas de vida) em cada, totalizando vinte organismos por concentração (Figura 13A).

Os tubos de ensaio foram acondicionados em estantes, cobertos com filme plástico e plástico preto, visto que *D. similis* é fotossensível, mantidos em incubadora com temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por 48 horas, sem alimentação. O efeito observado foi a imobilidade/letalidade dos organismos expostos. O valor de CE50 foi determinado, de acordo com recomendação de metodologia padrão, pelo software Trimmed Spearman Karber (HAMILTON et al., 1977).

Para a validação dos ensaios de toxicidade foi avaliada a sensibilidade dos organismos utilizando Cloreto de Potássio (KCl) como substância referência, os resultados foram utilizados para a carta controle de sensibilidade, segundo recomendações da Norma Técnica (ABNT NBR 12713:2016).

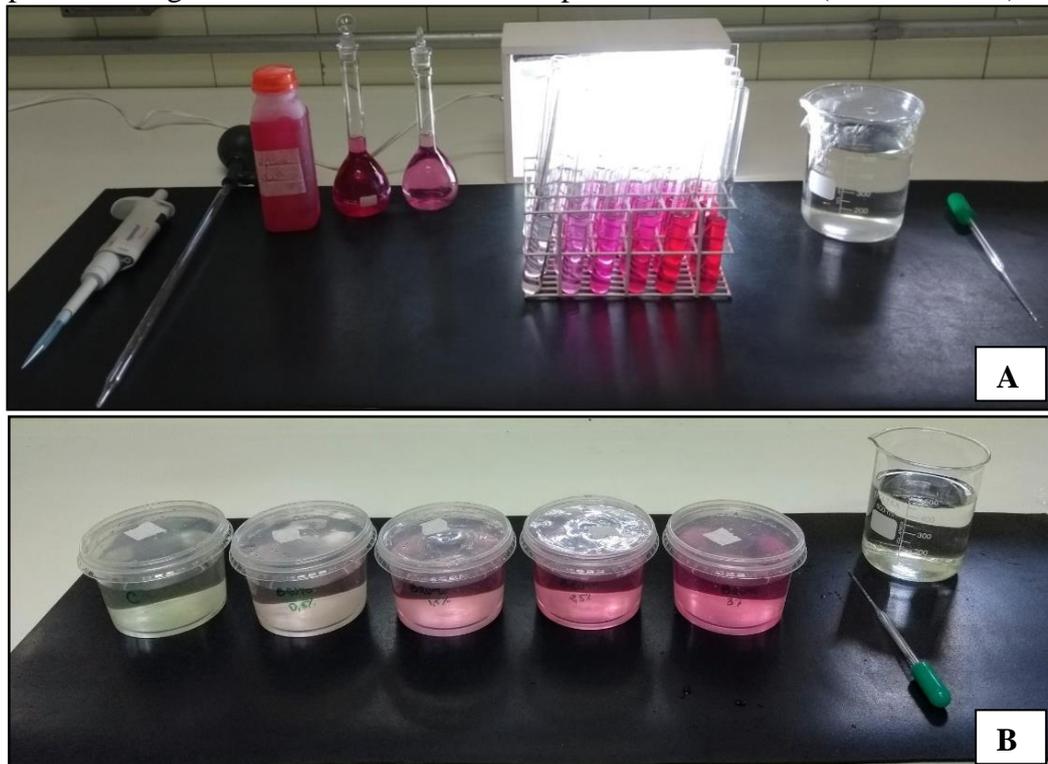
3.3.2 Ensaio de Toxicidade para Efeito Crônico: *Daphnia similis*

Com base nos ensaios de toxicidade para efeito agudo, das amostras do efluente têxtil bruto e tratado com feixe de elétrons, foram realizados ensaios de toxicidade para avaliação de efeito crônico em *D. similis* (Figura 13B). As concentrações utilizadas partiram do valor da CE 50% encontrada nos ensaios de toxicidade aguda. Na 2ª campanha foram avaliadas amostras do efluente bruto e na dose 5 kGy e na 3ª campanha foram avaliados efluente bruto, 2,5 kGy e 5 kGy.

Para cada concentração e controle, 10 jovens (6 a 24 horas de vida) foram expostos em recipientes de 400 mL. Os recipientes foram cobertos com filme plástico e plástico preto, e levados à incubadora com temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Os organismos foram alimentados diariamente com alga e RL. A troca de soluções ocorreu a cada dois dias, sendo registrado o número de adultos e neonatos de cada organismo exposto.

O ensaio totalizou 21 dias, e foi possível avaliar efeitos letais e subletais dos organismos expostos. Ao término do ensaio foram contabilizadas as mortes, os neonatos, bem como as taxas de reprodução (nº de jovens/adulto) por concentração.

Figura 13 - Ensaio de toxicidade com *Daphnia similis*. A. Ensaio de toxicidade para efeito agudo. B. Ensaio de toxicidade para efeito crônico (efluente têxtil)



Fonte: autor da tese.

3.3.3 Análise de efeitos subletais e comprimento corpóreo: *Daphnia similis*

A análise de efeitos subletais e comprimento corpóreo dos organismos adultos sobreviventes à exposição de 21 dias ao efluente têxtil, foi realizada utilizando Lupa modelo Leica MZ95 (aumento de 3.2 X), câmera Leica DFC 295 e software Leica Application Suite V4.12.0.

As imagens dos organismos expostos foram comparadas com dados da literatura a fim de observar possíveis alterações na morfologia e histologia de *D. similis* em decorrência à exposição de 21 dias as amostras de efluente têxtil bruta e tratadas com feixe de elétrons em duas campanhas. Com relação à medição dos organismos, está foi realizada da base da antena até início da cauda, em milímetros. Na Figura 14 foram apresentadas as estruturas do corpo tomadas como referência para a devida medição do tamanho do corpo da *D. similis*, e adotada neste estudo (USEPA 2000, com modificações).

Figura 14 - Medição de comprimento corpóreo realizada em *D. similis* (aumento 3.2x)



Fonte: autor da tese.

3.4 Eficiência da irradiação por feixe de elétrons para redução de toxicidade aguda

A eficiência da irradiação quanto à redução de toxicidade aguda para *D. similis* e *V. fischeri* foi obtida a partir dos valores de CE50, transformados para unidade de toxicidade (UT), seguindo com o cálculo (equação 7):

$$UT = \frac{100}{CE_{50}} \quad (7)$$

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

Em que: UT_0 = Unidades Tóxicas antes da irradiação; UT_{irrad} = Unidades Tóxicas após a irradiação.

3.5 Análises Físico-Químicas

3.5.1 pH, Oxigênio Dissolvido, Condutividade e Salinidade

Os parâmetros físico-químicos (oxigênio dissolvido, condutividade, pH e salinidade) das amostras foram avaliados antes e após os ensaios de toxicidade. Tais determinações foram realizadas em equipamentos específicos: HD 40d (OD e condutividade), Micronal B474 (pH) e Refratômetro Quimis Q-767-3 (salinidade).

3.5.2 Cor

A espectrofotometria foi utilizada na análise de cor de efluentes irradiados e não irradiados. O espectrofotômetro UV-VIS 1800 (Shimadzu) e software UV- Probe Ver. 2.7, foram utilizados na análise. A leitura de absorbância foi realizada na faixa de 400 a 700 nm, com comprimento máximo de absorção em 545nm. A redução de cor das amostras foi calculada de acordo com a equação (8):

$$RC(\%) = \left(\frac{A_0 - A_{\text{irrad}}}{A_0} \right) \times 100 \quad (8)$$

Em que: RC (%) = Porcentagem de redução de cor; A_0 = absorbância antes da irradiação; A_{irrad} = absorbância após a irradiação.

3.5.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT)

A análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO), no efluente têxtil, foi realizada por método colorimétrico utilizando Espectrofotômetro Hach (modelo: DR 2000), de acordo com metodologia padronizada (APHA, 2017). A remoção de DQO obtida pelo tratamento com feixe de elétrons foi calculada através do valor de DQO antes e após irradiação por feixe de elétrons (semelhante ao descrito na equação 8).

Para a análise de Carbono Orgânico Total (COT) presente no efluente têxtil foi utilizado o equipamento Shimadzu, modelo TOC- 5000 A. Sendo o COT medido pela diferença entre o carbono total (CT) e o carbono inorgânico (CI). A remoção de COT obtida pelo tratamento com feixe de elétrons foi calculada de acordo com os valores antes e após irradiação (similar a equação 8).

3.6 Análise estatística

Para os resultados de toxicidade e cor do efluente têxtil bruto e irradiado, foi realizada a análise estatística de significância entre os valores obtidos com o método de Análise de Variância (ANOVA), e com o Teste de Tukey. Após a análise de variação significativa pelo ANOVA, foram comparadas as médias/contrastes das condições testadas pelo Teste de Tukey. Para estas análises, foi utilizado o software GraphPad Prism 7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação dos ensaios de toxicidade para efeito agudo de compostos químicos contidos no efluente têxtil

Um dos objetivos deste trabalho foi avaliar a toxicidade de compostos inorgânicos e orgânicos contidos no efluente têxtil. A irradiação por feixe de elétrons foi empregada para tratamento dos compostos orgânicos (dose 2,5 kGy). O estudo também analisou mais de um tipo de composto com a mesma função: dois estabilizadores, dois dispersante/sequestrante e cinco diferentes surfactantes.

Na Tabela 10 constam os resultados de toxicidade aguda para *D. similis* e *V. fischeri* dos contaminantes inorgânicos e orgânicos estudados. Os valores foram expressos em CE50 mg L⁻¹ e Unidades Tóxicas (UT), tendo em vista que a CE50 é um valor inversamente proporcional à toxicidade, e a UT é um valor diretamente proporcional à toxicidade. Os valores referentes aos surfactantes foram discutidos a diante (item 4.4). Os valores também foram descritos nos apêndices A e C.

Na Figura 15 foram compiladas as médias de toxicidade destes compostos, e de dois surfactantes analisados: o não iônico/aniônico - óxido de alquilenos (mais tóxico para ambos os organismos) e o aniônico - dodecilbenzeno sulfonado (menos tóxico).

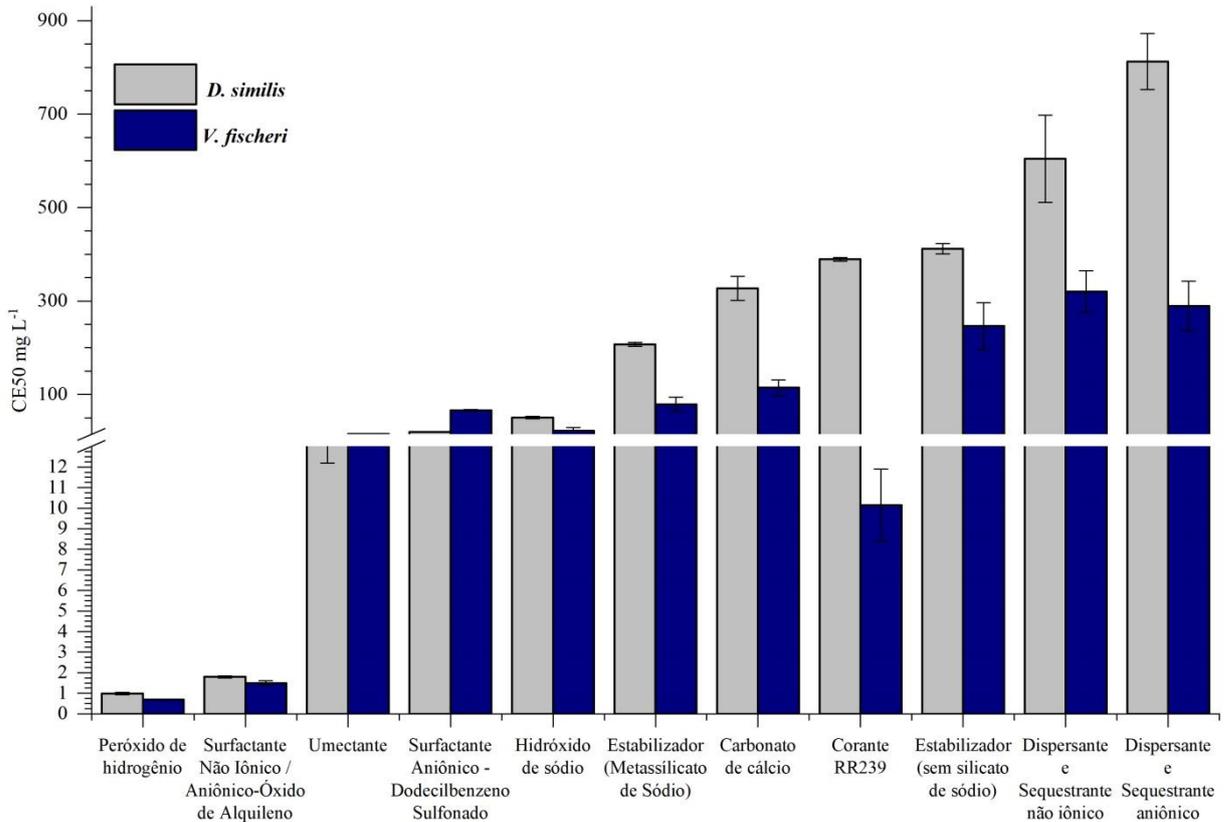
Tabela 10 - Toxicidade de compostos inorgânicos e orgânicos contidos no efluente têxtil

	<i>D. similis</i> : CE50 mg L ⁻¹ (48h)	UT	<i>V. fischeri</i> : CE50 mg L ⁻¹ (15min)	UT
Compostos Inorgânicos				
Carbonato de Cálcio	356,30 (326,35-388,95)		97,20 (49,55-190,55)	
	312,30 (294,15-331,65)		131,40 (77,90-221,6)	
	311,50 (288,30-336,6)		114,40 (30,01-184,40)	
$\bar{X} \pm S$	326,70 ± 25,63	0,30	114,33 ± 17,10	0,87
Catalase (Enzima)	Efeito Não Observado		Efeito Não Observado	
Cloreto de Sódio	3860 (3395-4385)		Efeito Não Observado	
	3185 (2680-3780)			
	4010 (3590-4475)			
$\bar{X} \pm S$	3685 ± 439,45	0,027		
Estabilizador (Metassilicato de Sódio)	211,30 (194,05-230,10)		77,30 (9,80-60,85)	
	207,15 (189,65-226,30)		64,80 (10,05-411,30)	
	203,15 (185,55-222,40)		95,00 (39,45-228,75)	
$\bar{X} \pm S$	207,20 ± 4,07	0,48	79,03 ± 15,17	1,26
Estabilizador (sem silicato de sódio)	422,00 (416,45-427,65)		189,00 (171,10-201,35)	
	413,75 (404,55-423,15)		279,75 (209,25-274,00)	
	400,05 (387,50-427,95)		269,80 (202,70-359,05)	
$\bar{X} \pm S$	411,93 ± 11,08	0,24	246,18 ± 49,77	0,40
Hidróxido de Sódio	52,80 (45,30-61,50)		29,10 (9,10-92,60)	
	47,90 (41,00-56,00)		22,80 (1,70-29,40)	
	51,10 (44,90-58,90)		14,40 (3,10-65,90)	
$\bar{X} \pm S$	50,60 ± 2,48	1,97	22,10 ± 7,37	4,52
Peróxido de Hidrogênio	0,99 (0,88-1,12)		0,73 (0,46-1,12)	
	0,91 (0,80-1,03)		0,66 (0,49-0,88)	
	1,04 (0,99-1,10)		0,68 (0,44-1,05)	
$\bar{X} \pm S$	0,98 ± 0,06	102,4	0,69 ± 0,03	144,92
Compostos Orgânicos				
Umectante	12,80 (10,75-15,30)		14,55 (3,05-19,85)	
	13,90 (11,75-16,40)		14,35 (2,75-74,55)	
	12,30 (10,30-14,70)		16,60 (3,95-69,45)	
$\bar{X} \pm S$	13,0 ± 0,81	7,69	15,16 ± 1,24	6,59
Dispersante e Sequestrante Não Iônico	655,20 (594,50-722,00)		300,00 (71,30-1261,50)	
	662,00 (604,80-724,70)		289,60 (772,00-1086,60)	
	496,40 (445,20-553,40)		371,10 (275,30-500,20)	
$\bar{X} \pm S$	604,50 ± 93,70	0,16	320,23 ± 44,35	0,31
Dispersante e Sequestrante Aniônico	747,30 (589,00-948,10)		280,00 (523,00-1498,00)	
	824,00 (749,40-906,00)		241,40 (48,50-1200,00)	
	866,00 (749,40-1000,00)		346,10 (121,10-989,10)	
$\bar{X} \pm S$	812,40 ± 60,18	0,12	289,16 ± 52,94	0,34
Corante RR 239	387,24 (371,11-404,04)		8,57 (6,93-10,60)	
	387,24 (371,11-404,04)		9,81 (8,34-11,56)	
	393,78 (389,49-398,12)		12,06 (8,23-17,65)	
$\bar{X} \pm S$	389,42 ± 3,77	0,25	10,14 ± 1,76	9,86

$\bar{X} \pm S$ = média e desvio padrão.

Fonte: autor da tese.

Figura 15 - Toxicidade aguda de diferentes compostos químicos para *D.similis* e *V. fischeri*



Fonte: autor da tese.

Com relação aos valores de toxicidade dos diferentes compostos avaliados, nota-se a que a maior toxicidade pode ser atribuída ao peróxido de hidrogênio, com CE50 inferior a 1,0 mg L⁻¹, para ambos os organismos expostos. E a menor toxicidade foi verificada para o composto dispersante/sequestrante não iônico para *V. fischeri* (CE50 = 320,23 mg L⁻¹ ± 44,35) e dispersante/sequestrante aniônico para *D. similis* (CE50 = 812,4 mg L⁻¹ ± 60,18). Cabe ressaltar que para a enzima catalase não foi observado efeito em relação à toxicidade, e quanto ao cloreto de sódio este não apresentou efeito à *V. fischeri*, e para *D. similis*, foi obtido valor médio de CE50 = 3685 ± 439,45 mg L⁻¹, representando baixa toxicidade se comparada aos demais produtos estudados.

Quanto aos dois tipos de estabilizadores, o líquido (sem silicato de sódio) foi bem menos tóxico se comparado ao metassilicato de sódio: CE50 mg L⁻¹ para *D. similis* de 207,2 ± 4,07 (metassilicato de sódio) e 411,93 ± 11,08 (líquido); e para *V. fischeri* de 79,03 ± 15,17 (metassilicato de sódio) e 246,18 ± 49,77 (líquido). Comparando os dois tipos de

dispersante/sequestrante, o aniônico foi menos tóxico para *D. similis* se comparado ao não iônico, $CE_{50} \text{ mg L}^{-1} = 604,5 \pm 93,70$ e $812,4 \pm 60,18$, respectivamente. Já para *V. fischeri*, não houve diferença significativa.

4.2 Avaliação da toxicidade aguda do corante têxtil Reativo Red 239

O efeito agudo do corante reativo Red 239, em solução aquosa foi de: $389,42 \pm 3,77 \text{ mg L}^{-1}$, *D. similis* e $10,14 \pm 1,76 \text{ mg L}^{-1}$, *V. fischeri* (Tabela 11 e Figura 15). Sendo, portanto, *V. fischeri* mais sensível ao corante têxtil.

O efeito tóxico de corantes têxteis para organismos aquáticos vêm sendo alvo de diversos estudos ambientais. Na Tabela 11 foram organizados os resultados de toxicidade encontrados na literatura, expressos pela $CE_{50} \text{ mg L}^{-1}$, para diferentes tipos de corantes têxteis e organismos.

Valores de CE_{50} entre 0,23 e 2993,73 mg L^{-1} foram obtidos para dafinídeos, e entre 5,9 e 27,12 para *V. fischeri* (PINHEIRO, 2011; MORAIS, 2015; LEITE et al., 2016; ROCHA et al. 2017). Os valores obtidos neste estudo corroboram com os valores descritos. Cabe destacar ainda que os valores de toxicidade diferem muito de acordo com o tipo de corante e a espécie estudada: VACCHI et al. (2016) da exposição de *D. similis* ao corante Disperso Red 1 obtiveram $CE_{50} = 0,18 \text{ mg L}^{-1}$, e CROCE et al. (2017), da exposição de *P. subcapitata* ao corante reativo Black 5, $CE_{50} = 4348 \text{ mg L}^{-1}$.

Com relação a toxicidade de corantes vermelhos para dafinídeos, o Disperso Red 1 foi mais tóxico, com $CE_{50} \text{ mg L}^{-1}$ entre 0,18 e 0,23 (LEITE et al., 2016; VACCHI et al., 2016), seguido do reativo Red 120, $CE_{50} \text{ mg L}^{-1} = 10,40$ (DARSANA et al., 2015) e o menos tóxico foi o Reativo Red 239, $CE_{50} \text{ mg L}^{-1} = 389,42$ (presente estudo). Comparando os corantes vermelhos com os demais corantes descritos na Tabela 11 também é possível verificar que estes representam elevada toxicidade para os organismos analisados.

Tabela 11 - Toxicidade para diferentes tipos de corantes têxteis

Corante	Espécie	CE50 mg L ⁻¹	Referência
Disperso Red 1	<i>D. similis</i>	0,23	LEITE et al., 2016
Disperso Red 1	<i>D. similis</i>	0,18	VACCHI et al., 2016
Ácido Black 210	<i>D. similis</i>	2993,73	ROCHA et al. 2017
Ácido Blue 324	<i>P. subcapitata</i>	2083,00	CROCE et al. 2017
Reativo Black 5	<i>P. subcapitata</i>	4348,00	CROCE et al. 2017
Reativo Red 120	<i>D. magna</i>	10,40	DARSANA et al., 2015
Remazol Alaranjado 3R	<i>D. similis</i>	4,42	PINHEIRO, 2011
Remazol Preto B	<i>D. similis</i>	95,25	PINHEIRO, 2011
Reativo Blue 222	<i>D. similis</i>	37,00	MORAIS, 2015
Reativo Red 239	<i>D. similis</i>	389,42	Presente estudo
Remazol Preto B	<i>V. fischeri</i>	27,12	PINHEIRO, 2011
Remazol Alaranjado 3R	<i>V. fischeri</i>	12,72	PINHEIRO, 2011
Reativo Blue 222	<i>V. fischeri</i>	5,90	MORAIS, 2015
Reativo Red 239	<i>V. fischeri</i>	10,14	Presente estudo

Fonte: autor da tese.

4.3 Avaliação da Irradiação por Feixe de Elétrons no tratamento de compostos orgânicos visando a redução da toxicidade.

A tecnologia por feixe de elétrons foi utilizada para tratamento dos compostos orgânicos visando à redução da toxicidade aguda destes para *D. similis* e *V. fischeri*. Sendo a dose de 2,5 kGy estabelecida para esta determinação.

Na Tabela 12 constam os valores de toxicidade, expressos por CE50 %, obtidos para as amostras brutas e irradiadas com feixe de elétrons, bem como a eficiência do tratamento na redução da toxicidade.

Tabela 12 - Compostos orgânicos contidos no efluente têxtil: valores de CE50 % para *D. similis* e *V. fischeri* (amostras brutas e irradiadas - 2,5 kGy); eficiência do tratamento com feixe de elétrons

	<i>D. similis</i>		<i>V. fischeri</i>		Eficiência (%)
	CE50 % _(48h)		CE50 % _(15min)		
	Bruto	2,5 kGy	Bruto	2,5 kGy	
Umectante	2,56 (2,15-3,06)	2,46 (2,06-2,94)	2,91 (0,61-3,97)	7,17 (5,10-8,43)	
	2,78 (2,35-3,28)	2,19 (1,75-2,76)	2,87 (0,55-14,91)	9,31 (6,49-13,36)	
	2,46 (2,06-2,94)	2,27 (1,90-2,72)	3,32 (0,79-13,89)	9,72 (7,56-12,51)	
$\bar{X} \pm S$	2,60 ± 0,16	2,30 ± 0,13**	3,03 ± 0,24	8,73 ± 1,36	65,29
Dispersante e	65,52 (59,45-72,2)	53,21(47,57-59,51)	30,0 (7,13-126,15)	37,70 (28,43-49,99)	
Sequestrante	66,20 (60,48-72,47)	57,17 (53,14-61,51)	28,96 (7,72-108,66)	44,01 (38,83-49,88)	
Não Iônico	49,64 (44,52-55,34)	60,12 (55,45-65,19)	37,11 (27,53-50,02)	45,87 (25,56-82,30)	
$\bar{X} \pm S$	60,45 ± 9,37	56,83 ± 3,46**	32,02 ± 4,43	42,52 ± 4,28	24,71
Dispersante e	74,73 (58,9-94,81)	58,49 (55,01-62,20)	28,00 (5,23-149,8)	35,65 (24,82-51,22)	
Sequestrante	82,40 (74,94-90,60)	53,36 (47,91-59,43)	24,14 (4,85-120,09)	32,54 (21,69-48,84)	
Aniônico	86,60 (74,94-100,08)	61,24 (59,37-63,17)	34,61 (12,11-98,91)	42,61 (32,82-55,31)	
$\bar{X} \pm S$	81,24 ± 6,01	57,69 ± 3,99**	28,91 ± 5,29	36,93 ± 5,15	21,68
Corante	68,66 (65,8-71,64)	20,21 (17,98-22,72)	1,52 (1,23-1,88)	5,08 (3,88-6,66)	
Reativo Red	68,66 (65,8-71,64)	20,15 (17,62-23,04)	1,74 (1,48-2,05)	6,24 (2,07-18,8)	
239	69,82 (69,06-70,59)	21,95 (19,89-24,21)	2,14 (1,46-3,13)	4,05 (1,74-9,42)	
$\bar{X} \pm S$	69,04 ± 0,66	20,77 ± 1,02**	1,80 ± 0,31	5,12 ± 1,09	64,84

**Não houve redução da toxicidade após irradiação; $\bar{X} \pm S$ = média e desvio padrão.

Fonte: autor da tese.

De acordo com os valores de toxicidade expostos na Tabela 12, para *D. similis*, após irradiação com feixe de elétrons, a toxicidade de nenhum dos compostos orgânicos avaliados diminuiu, visto que os valores de CE50 % foram menores após irradiação. Já para *V. fischeri*, houve eficiência do tratamento na diminuição da toxicidade, para umectante e corante RR239 próxima de 65%, e para os dois tipos de dispersante/sequestrante próxima de 25%. Desta forma, cabe destacar a importância do emprego de mais de uma espécie representativa da biota aquática.

A respeito da redução de toxicidade de corantes têxteis após tratamento com feixe de elétrons, PINHEIRO (2011), evidenciou redução de 59,52% da toxicidade aguda para *V. fischeri* para o corante Remazol Preto B (10 kGy) e para Remazol Alaranjado 3R, redução de 81,29% (*V. fischeri*) e 77,07% (*D. similis*) ambos na dose de 5 kGy.

4.4 Avaliação da toxicidade aguda de diferentes surfactantes

Os surfactantes são uma classe de contaminantes de grande preocupação ambiental, utilizados em diversos processos industriais e domésticos, por possuírem alta solubilidade, são contaminantes persistentes nos corpos hídricos. Desta forma, parte importante deste estudo, foi dedicada à avaliação da toxicidade de cinco tipos de surfactantes utilizados pela indústria têxtil.

Os resultados obtidos para os surfactantes analisados foram dispostos na Tabela 13 e Figura 16. De forma geral, para ambos os organismos expostos, os surfactantes foram tóxicos, sendo os não iônicos mais tóxicos quando comparados ao aniônico. Para *D. similis*, os valores de CE50 mg L⁻¹ variaram entre 1,8 ± 0,05 (Não iônico/Aniônico - óxido de alquilenos) a 19,4 ± 0,5 (Aniônico - Dodecilbenzeno Sulfonado), para *V. fischeri*, a faixa de CE50 destes mesmos surfactantes foi entre 1,5 ± 0,1 e 66,2 ± 1,6 mg L⁻¹.

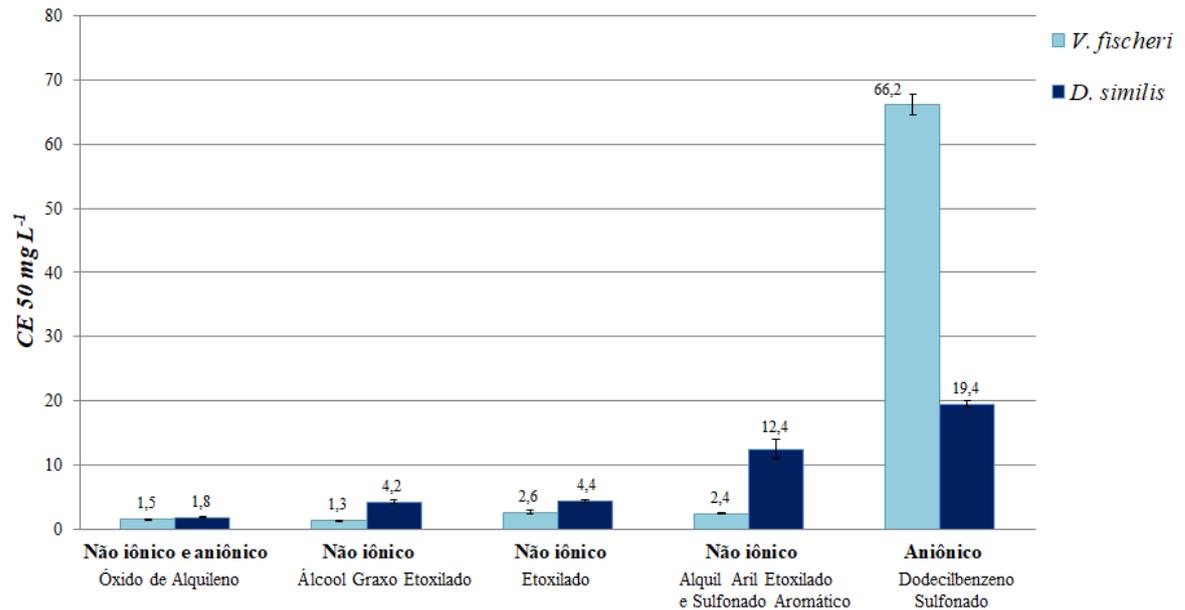
Tabela 13 - Toxicidade de diferentes surfactantes: CE 50 mg L⁻¹ para *D. similis* e *V. fischeri*

<u>Surfactantes</u>	<i>D. similis</i>		<i>V. fischeri</i>	
	CE50 mg L ⁻¹ (48h)		CE50 mg L ⁻¹ (15min)	
	Bruto	UT	Bruto	UT
Não Iônico/ Aniônico - Óxido de Alquilenos	1,9 (1,7-2,3)		1,4 (1,1-1,9)	
	1,8 (1,6-2,0)		1,4 (1,1-1,9)	
	1,9 (1,6-2,1)		1,7 (1,3-2,2)	
$\bar{X} \pm S$	1,8 ± 0,05	55,55	1,5 ± 0,1	66,66
Não Iônico - Álcool Graxo Etoxilado	4,4 (3,9-4,9)		1,2 (0,8- 1,8)	
	4,4 (3,9-5,0)		1,4 (1,1-1,7)	
	3,8 (3,5-4,2)		1,3 (0,9-1,8)	
$\bar{X} \pm S$	4,2 ± 0,3	23,80	1,3 ± 0,1	76,92
Não Iônico - Etoxilado	4,2 (3,7-4,8)		2,3 (2,1-2,5)	
	4,6 (4,0-5,3)		2,9 (2,1-3,9)	
	4,4 (3,8-5,0)		2,6 (2,3-3,0)	
$\bar{X} \pm S$	4,4 ± 0,2	22,72	2,6 ± 0,3	38,46
Não Iônico - Alquil aril etoxilado e sulfonado aromático	11,0 (9,2-13,2)		2,3 (0,6-8,0)	
	14,0 (12,3-15,9)		2,6 (0,8-8,8)	
	12,4 (10,5-14,6)		2,5 (0,7-9,4)	
$\bar{X} \pm S$	12,4 ± 1,5	8,06	2,4 ± 0,1	41,66
Aniônico - Dodecilbenzeno Sulfonado	19,7 (15,8-24,6)		66,7 (37,7-117,9)	
	18,8 (15,2-23,2)		67,7 (25,2-181,6)	
	19,7 (15,8-24,6)		64,4 (23,7-174,6)	
$\bar{X} \pm S$	19,4 ± 0,5	5,15	66,2 ± 1,6	1,51

$\bar{X} \pm S$ = média e desvio padrão

Fonte: autor da tese.

Figura 16 - Toxicidade Aguda para *D. similis* e *V. fischeri* expostas a diferentes surfactantes



Fonte: autor da tese.

Semelhante aos valores determinados neste estudo, dados na literatura demonstram a alta toxicidade atribuída aos surfactantes para diferentes organismos: para surfactante aniônico Éter Carboxílico (EC-R₈E₅) valores de CE50 mg L⁻¹ de 29,87 e 32,71, para *D. magna* e *V. fischeri*, respectivamente, são reportados por LECHUGA et al., 2016. E para o aniônico Linear Alquil Benzeno Sulfonado (LAS) valores entre 4,56 e 14,17 mg L⁻¹ para *D. similis*, 0,67 e 28 para *D. magna* e 13,49 a 27,58 para *V. fischeri*, foram discutidos em diferentes estudos (ROMANELLI et al., 2004; HODGES et al., 2006; COELHO e ROCHA, 2010; JURADO et al., 2011). No presente estudo, para surfactante aniônico Dodecilbenzeno Sulfonado foram obtidos valores de CE50 = 19,4 ± 0,5 mg L⁻¹, *D. similis* e 66,2 ± 1,6 mg L⁻¹, *V. fischeri* (Tabela 13).

Para os surfactantes não iônicos, avaliados neste trabalho, foram evidenciados valores de CE 50 mg L⁻¹ entre 4,2 e 12,4 para *D. similis* e entre 1,3 e 2,6 para *V. fischeri* (Figura 16). Resultados que corroboram com a literatura: CE 50 mg L⁻¹ entre 0,35 e 3,39 para *V. fischeri* e para *D. magna* entre 15,46 e 27,14 (JURADO et al., 2009; FERNÁNDEZ-SERRANO et al., 2014). Avaliando a toxicidade do surfactante não iônico álcool graxo etoxilado para *V. fischeri*, neste estudo, o valor médio de CE50 foi de 1,3 mg L⁻¹. JURADO et al. (2009) reportaram valores semelhantes para dois tipos do mesmo surfactante, com CE50 entre 1,24 e 2,1 mg L⁻¹. Para melhor análise dos valores obtidos, alguns dados da literatura foram organizados na Tabela 14.

Tabela 14 - Toxicidade Aguda de diferentes tipos de surfactantes

Surfactante	Organismo-teste	CE50 mg L ⁻¹	Referência
<i>Aniônico</i>			
Dodecil Sulfato de Sódio (DSS)	<i>V. fischeri</i>	1,92	ROMANELLI et al., 2004
	<i>D. similis</i>	11,81	ROMANELLI et al., 2004
Linear Alquil Benzeno Sulfonado (LAS)	<i>V. fischeri</i>	13,49	ROMANELLI et al., 2004
	<i>V. fischeri</i>	27,58	JURADO et al., 2011
	<i>D. similis</i>	4,56	ROMANELLI et al., 2004
	<i>D. similis</i>	14,17	COELHO e ROCHA, 2010
	<i>C. dubia</i>	11,84	COELHO e ROCHA, 2010
	<i>D. magna</i>	11,00	HODGES et al., 2006
	<i>D. magna</i>	10,09	JURADO et al., 2011
Éter Carboxílico (EC-R ₈ E ₅)	<i>D. magna</i>	29,87	LECHUGA et al., 2016
	<i>V. fischeri</i>	32,71	LECHUGA et al., 2016
	<i>S. capricornutum</i>	76,42	LECHUGA et al., 2016
Docusato de Sódio	<i>P. subcapitata</i>	39,5	ROSAL et al., 2010
	<i>V. fischeri</i>	74,50	ROSAL et al., 2010
Dodecilbenzeno Sulfonado	<i>D. similis</i>	19,40	Presente trabalho
	<i>V. fischeri</i>	66,20	Presente trabalho
<i>Não Iônico</i>			
Óxido de miristil dimetil amina (OA-R ₁₄)	<i>V. fischeri</i>	3,39	FERNÁNDEZ-SERRANO et al., 2014
	<i>D. magna</i>	15,46	FERNÁNDEZ-SERRANO et al., 2014
Óxido de lauril dimetil amina (OA-R ₁₂)	<i>V. fischeri</i>	0,35	FERNÁNDEZ-SERRANO et al., 2014
	<i>D. magna</i>	27,14	FERNÁNDEZ-SERRANO et al., 2014
Óxido de Alquilenos	<i>V. fischeri</i>	1,50	Presente trabalho
	<i>D. similis</i>	1,80	Presente trabalho
Álcool Graxo Etoxilado (R ₁₀ E ₃)	<i>V. fischeri</i>	2,10	JURADO et al., 2009
Álcool Graxo Etoxilado (R ₁₂₋₁₄ E ₄)	<i>V. fischeri</i>	1,24	JURADO et al., 2009
Álcool Graxo Etoxilado	<i>D. similis</i>	4,20	Presente trabalho
	<i>V. fischeri</i>	1,30	Presente trabalho
Etoxilado	<i>D. similis</i>	4,40	Presente trabalho
	<i>V. fischeri</i>	2,60	Presente trabalho
Alquil aril etoxilado e sulfonado aromático	<i>D. similis</i>	12,40	Presente trabalho
	<i>V. fischeri</i>	2,40	Presente trabalho

Fonte: autor da tese

4.5 Avaliação da Irradiação por Feixe de Elétrons no tratamento de surfactantes visando a redução da toxicidade

Um dos objetivos deste trabalho foi a utilização da tecnologia por feixe de elétrons para a diminuição da toxicidade de diferentes tipos de surfactantes para organismos aquáticos. Foram selecionados surfactantes utilizados no Brasil, em função do emprego destes em muitas atividades industriais, como no caso do setor têxtil. Diante do amplo uso e dos efeitos nocivos à biota torna-se relevante o estudo desses produtos a fim de minimizar impactos ao meio ambiente, bem como buscar tecnologias que possam auxiliar na degradação e diminuição da toxicidade de efluentes que contêm estes contaminantes. Também é possível a substituição por produtos menos tóxicos.

Os valores de toxicidade obtidos e eficiência do tratamento foram compilados na Tabela 15. De acordo com os resultados obtidos, foi observado que a toxicidade de diferentes surfactantes diminuiu após a irradiação com feixe de elétrons. Para *V. fischeri*, com excessão do surfactante Não Iônico - Álcool Graxo Etoxilado, houve diminuição da toxicidade após a irradiação para os outros surfactantes, sendo a melhor eficiência obtida para os surfactantes Não Iônico - Etoxilado e Aniônico - Dodecilbenzeno Sulfonado com eficiência superior a 80%. Para *D. similis*, após tratamento por feixe de elétrons, a toxicidade de três surfactantes melhorou sendo para o Aniônico-Dodecilbenzeno Sulfonado eficiência superior a 65%.

Os valores obtidos neste estudo corroboram com dados da literatura, a utilização desta tecnologia foi descrita por ROMANELLI et al. (2004) para redução da toxicidade do surfactante Dodecil Sulfato de Sódio: aproximadamente 82% para *D. similis* e 92% para *V. fischeri*, com 3 kGy. Para o surfactante Linear Alquil Benzeno Sulfonado (LAS), foi demonstrada redução de toxicidade de 88% para *D. similis* e 94% para *V. fischeri* (BORRELY et al., 2009).

Os valores aqui obtidos, bem como os descritos na literatura demonstram que a irradiação pode ser efetiva na diminuição da toxicidade desses contaminantes. Concentrações importantes de surfactantes em água superficiais e em efluente de ETES após tratamento biológico são apontadas na literatura por diferentes autores, destacando a necessidade de tratamento posterior (COWAN-ELLSBERRY et al., 2014; MCDONOUGH et al., 2016; AHMIA et al., 2016). Neste aspecto, a irradiação pode ser alternativa a ser considerada.

Tabela 15 - Diferentes surfactantes utilizados no beneficiamento têxtil: valores de CE50 % para *D. similis* e *V. fischeri* das amostras brutas e irradiadas -2,5 kGy; eficiência do tratamento com feixe de elétrons.

Surfactantes	<i>D. similis</i> CE50 % _(48h)		Eficiência (%)	<i>V. fischeri</i> CE50 % _(15min)		Eficiência (%)
	Bruto	2,5 kGy		Bruto	2,5 kGy	
Não Iônico/ Aniônico - Óxido de Alquileno	0,19 (0,17-0,23)	0,16 (0,15-0,18)		0,14 (0,11-0,19)	0,21 (0,12-0,36)	
	0,18 (0,16-0,20)	0,14 (0,13-0,17)		0,14 (0,11-0,19)	0,21 (0,17-0,26)	
	0,19 (0,16-0,21)	0,15 (0,14-0,17)		0,17 (0,13-0,22)	0,22 (0,16-0,31)	
$\bar{X} \pm S$	0,18 ± 0,005	0,15 ± 0,01	-	0,15 ± 0,01	0,21 ± 0,005	28,57
Não Iônico - Álcool Graxo Etoxilado	0,44 (0,39-0,49)	0,26 (0,22-0,31)		0,12 (0,08- 0,18)	0,078 (0,076-0,087)	
	0,44 (0,39-0,50)	0,27 (0,23-0,32)		0,14 (0,11-0,17)	0,063 (0,059-0,067)	
	0,38 (0,35-0,42)	0,24 (0,20-0,29)		0,13 (0,09-0,18)	0,069 (0,061-0,071)	
$\bar{X} \pm S$	0,42 ± 0,03	0,25 ± 0,01	-	0,13 ± 0,01	0,07 ± 0,007	-
Não Iônico - Etoxilado	0,42 (0,37-0,48)	0,5 (0,44-0,56)		0,23 (0,21-0,25)	1,85 (1,74-1,96)	
	0,46 (0,40-0,53)	0,38 (0,33-0,45)		0,29 (0,21-0,39)	1,26 (1,08-1,46)	
	0,44 (0,38-0,50)	0,52 (0,46-0,59)		0,26 (0,23-0,30)	1,24 (0,99-1,56)	
$\bar{X} \pm S$	0,44 ± 0,02	0,46 ± 0,07	4,34	0,26 ± 0,03	1,45 ± 0,35	82,06
Não Iônico - Alquil aril etoxilado e sulfonado aromático	1,10 (0,92-1,30)	1,84 (1,29-2,63)		0,23 (0,06-0,80)	0,44 (0,20-0,98)	
	1,40 (1,23-1,59)	1,68 (1,32-2,13)		0,26 (0,08-0,88)	0,39 (0,25-0,58)	
	1,24 (1,05-1,46)	1,61(1,2-2,17)		0,25 (0,07-0,94)	0,33 (0,23-0,49)	
$\bar{X} \pm S$	1,24 ± 0,15	1,71 ± 0,11	27,48	0,24 ± 0,01	0,38 ± 0,05	36,84
Aniônico - Dodecilbenzen o Sulfonado	1,97 (1,58-2,46)	6,92 (5,88-8,14)		6,67 (3,77-11,79)	42,44 (30,69-58,70)	
	1,88 (1,52-2,32)	6,47(5,34-7,85)		6,77 (2,52-18,16)	36,67 (29,51-45,56)	
	1,97 (1,58-2,46)	5,76 (4,40-7,55)		6,44 (2,37-17,46)	34,82 (27,01-44,90)	
$\bar{X} \pm S$	1,94 ± 0,05	6,38 ± 0,58	69,59	6,62 ± 0,16	37,97 ± 3,97	82,56

$\bar{X} \pm S$ = média e desvio padrão.

Fonte: autor da tese.

4.6 Avaliação toxicidade aguda de efluente têxtil real e eficiência da tecnologia por Feixe de Elétrons

Neste trabalho, além da análise isolada dos compostos presentes no efluente, a toxicidade do efluente têxtil contendo RR239 também foi realizada. Os valores de toxicidade aguda, das três campanhas, foram dispostos na Tabela 16, Figura 17 e Apêndices B e D. Os valores da eficiência do tratamento das amostras com feixe de elétrons também constam nas mesmas.

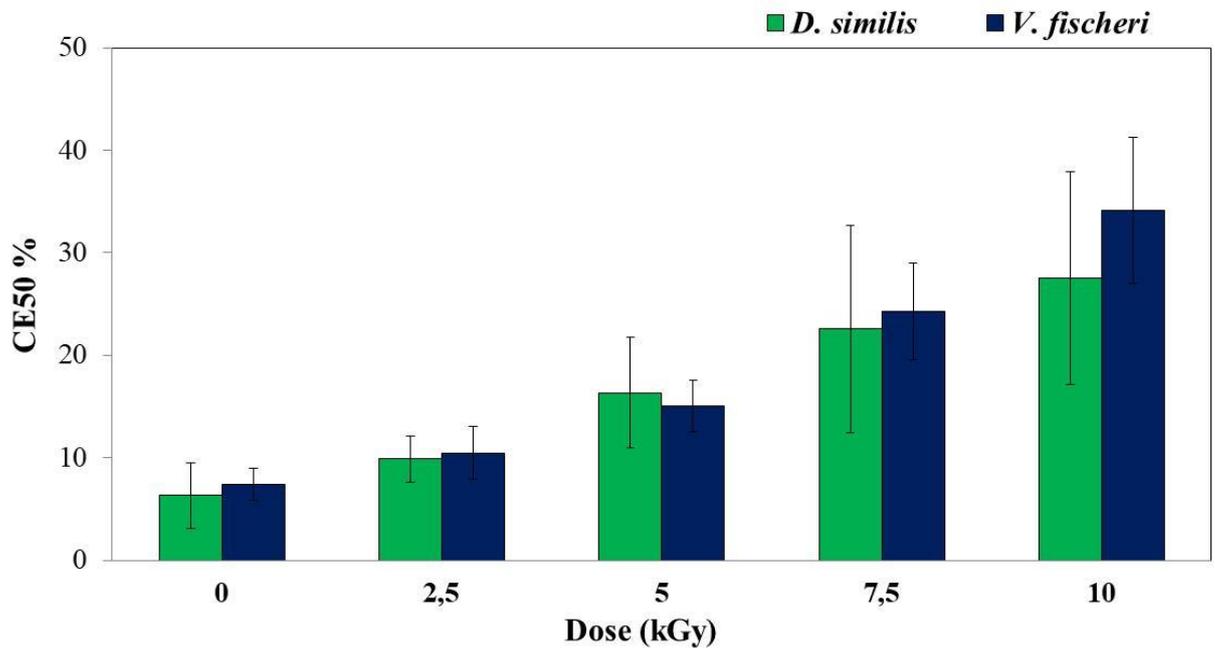
Tabela 16 - Efluente Têxtil: valores de CE50 % para *D. similis* e *V. fischeri* e eficiência do tratamento das amostras com feixe de elétrons

Efluente	<i>D. similis</i> : CE50 % _(48h)				<i>V. fischeri</i> : CE50 % _(15min)			
	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	Eficiência (%)	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	Eficiência (%)
Bruto	5,96 (5,65-6,29)	3,09 (2,65-3,61)	8,97 (8,16-9,85)		8,18 (7,01-9,55)	5,79 (2,83-11,83)	6,79 (5,73-8,05)	
	7,39 (6,67-8,18)	2,87 (2,25-3,65)	9,28 (8,38-10,28)		7,07 (5,94-8,42)	5,47 (2,66-11,28)	8,89 (7,10-11,14)	
	6,86 (6,15-7,66)	2,84 (2,26-3,56)	9,61 (8,86-10,42)		9,96 (8,02-12,36)	5,71 (2,67-12,23)	8,87 (7,58-10,37)	
	6,73 ± 0,72	2,93 ± 0,13	9,28 ± 0,32		8,40 ± 1,45	5,65 ± 0,16	8,18 ± 1,20	
$\bar{X} \pm S$	6,31 ± 2,79				7,41 ± 1,62			
2,5 kGy	8,37 (7,99-8,76)	9,69 (8,53-10,99)	11,83 (10,73-13,04)		9,47 (9,08-9,88)	8,86 (6,0-12,93)	13,52 (8,90-20,54)	
	8,40 (7,85-8,98)	8,87 (8,33-9,45)	12,78 (11,47-14,24)		10,48 (9,97-11,01)	7,19 (4,63-11,17)	12,57 (8,58-18,42)	
	7,36 (6,74-8,03)	9,25 (8,51-10,05)	12,62 (11,57-13,77)		9,26 (7,86-10,91)	9,24 (6,15-13,87)	13,86 (10,15-18,92)	
	8,04 ± 0,59	9,27 ± 0,41	12,41 ± 0,50		9,73 ± 0,65	8,43 ± 1,09	13,31 ± 0,66	
$\bar{X} \pm S$	9,90 ± 1,99			36,26	10,49 ± 2,30			29,36
5,0 kGy	9,49 (8,64-10,43)	22,46 (20,26-24,9)	18,13 (16,67-19,72)		20,62 (16,7-25,46)	11,21 (7,63-16,46)	16,50 (8,82-30,86)	
	10,56 (9,96-11,2)	20,75 (18,34-23,47)	17,9 (16,46-19,46)		16,15 (13,73-19,0)	14,39 (9,3-22,26)	16,37 (13,90-19,27)	
	11,26 (10,84-11,7)	19,5 (17,0-22,36)	17,24 (15,73-18,90)		13,79 (10,27-18,51)	11,04 (7,07-17,25)	15,45 (12,57-18,99)	
	10,43 ± 0,89	20,90 ± 1,48	17,75 ± 0,46		16,85 ± 3,46	12,21 ± 1,88	16,07 ± 0,54	
$\bar{X} \pm S$	16,36 ± 4,73			61,43	15,05 ± 2,93			50,76
7,5kGy	14,03 (13,17-14,94)	33,41 (29,79-37,46)	19,36 (18,23-20,57)		26,04 (22,33-30,36)	21,32 (11,00-41,33)	28,42 (23,83-33,90)	
	13,71 (12,87-14,61)	34,46 (31,77-37,39)	20,7 (18,64-23,00)		25,19 (22,7-27,95)	15,99 (10,11-25,28)	25,27 (19,91-32,08)	
	14,19 (13,38-15,06)	33,34 (31,2-35,63)	20,28 (18,06-22,78)		31,11 (29,27-33,07)	19,32 (8,81-42,37)	26,17 (21,12-32,43)	
	13,97 ± 0,24	33,73 ± 0,62	20,11 ± 0,68		27,44 ± 3,20	18,87 ± 2,69	26,62 ± 1,62	
$\bar{X} \pm S$	22,60 ± 8,77			72,07	24,31 ± 4,73			69,51
10 kGy	15,3 (14,42-16,24)	33,26 (30,25-36,56)	20,28 (18,06-22,78)		39,98 (31,98-49,99)	24,02 (13,70-42,11)	39,30 (16,37-64,32)	
	14,72 (12,72-16,79)	35,07 (32,56-37,76)	20,64 (19,29-22,08)		41,49 (34,72-49,57)	25,99 (21,71-31,12)	35,67 (30,87-41,22)	
	15,10 (13,14-17,13)	34,12 (32,42-35,91)	21,99 (20,16-23,98)		38,15 (29,46-49,4)	28,60 (15,45-52,94)	34,45 (15,22-77,97)	
	15,04 ± 0,29	34,15 ± 0,90	20,97 ± 0,90		39,87 ± 1,67	26,20 ± 2,29	36,47 ± 2,52	
$\bar{X} \pm S$	23,38 ± 8,49			73,01	34,18 ± 7,11			78,32

$\bar{X} \pm S$ = média e desvio padrão.

Fonte: autor da tese.

Figura 17 - Efluente Têxtil: Média dos valores de CE50 % para *D. similis* e *V. fischeri* expostas às amostras brutas e irradiadas com feixe de elétrons



Fonte: autor da tese.

Com base nos resultados obtidos das três campanhas realizadas, observa-se elevada toxicidade do efluente bruto aos organismos expostos, com valores médios de CE50 % entre $2,93 \pm 0,13$ e $9,28 \pm 0,32$ para *D. similis* e $5,65 \pm 0,16$ e $8,40 \pm 1,45$ para *V. fischeri*.

Em relação aos efeitos agudos, obtidos em efluentes têxteis, os dados deste trabalho para o efluente bruto, com média de CE50 de $6,31\% \pm 2,79$ para *D. similis* e $7,41\% \pm 1,62$ para *V. fischeri*, corroboram com diversos estudos que demonstraram efeitos nocivos dos efluentes têxteis para diferentes espécies. Na Tabela 17 constam alguns estudos de toxicidade em efluentes têxteis para diferentes espécies e comparação com os valores aqui obtidos.

Os piores efeitos foram demonstrados por ROSA et al., 2019, CE50 = 0,61% para *D. similis* (efluente com mistura dos corantes ácidos), BORRELY et al. (2019), CE50= 0,60%, para *V. fischeri* (efluente com corante reativo RY160) e por SHARMA et al. (2007b), com 0,7% para *L. aequinoctialis* (águas residuais têxteis, Índia). Além destes trabalhos: LIANG et al. (2018), 1,7% para *V. fischeri* (efluente têxtil de complexo industrial, China); TIGINI et al. (2011), 2,2% para *P. subcapitata* (efluente com mistura de corantes reativos) e ROSA et al. (2019); 4,58% para *D. similis* (efluente com mistura dos

corantes reativos RB 222, RR 239, RY145), também demonstram a alta toxicidade de efluentes têxteis. No presente estudo, foram detectados na 2ª campanha, os piores valores para toxicidade do efluente bruto: *D. similis* - CE50 2,87% (2,25-3,65) e *V. fischeri* 5,47% (2,66-11,28).

Tabela 17 - Estudos de toxicidade em efluentes têxteis para diferentes espécies

Espécie	Concentração de Efeito (%)	Efluente: descrição	Referência
<i>G. affinis</i>	0,75	Complexo industrial têxtil (Índia)	SHARMA et al., 2007b
<i>L. aequinoctialis</i>	5,50	Complexo industrial têxtil (Índia)	SHARMA et al., 2007b
<i>P. subcapitata</i>	2,20	Mistura dos corantes reativos	TIGINI et al., 2011
<i>L. Sativum</i>	2,80	Mistura dos corantes reativos	TIGINI et al., 2011
<i>D. subspicatus</i>	4,70	Complexo industrial têxtil (China)	LIANG et al., 2018
<i>B. plicatilis</i>	8,73	Efluente com corante reativo RB222	BORRELY et al., 2016
<i>D. magna</i>	7,20	Mistura dos corantes reativos Rbu222; RR195; RY145; Rbk5	TIGINI et al., 2011
	12,60	Mistura dos corantes ácidos Abu62; AY49; AR266	TIGINI et al., 2011
<i>D. similis</i>	9,81	Efluente com corante reativo RB222	BORRELY et al., 2016
	4,58	Mistura dos corantes reativos RB 222, RR 239, RY145	ROSA et al., 2019
	1,74	Efluente com corante reativo RY160	BORRELY et al., 2019
	6,31	Efluente com corante reativo RR239	Presente estudo
<i>V. fischeri</i>	14,61	Efluente com corante reativo RB222	BORRELY et al., 2016
	4,90	Complexo industrial têxtil (China)	LIANG et al., 2018
	0,60	Efluente com corante reativo RY160	BORRELY et al., 2019
	7,41	Efluente com corante reativo RR239	Presente estudo

Fonte: autor da tese.

Com relação ao tratamento do efluente têxtil com radiação ionizante, houve diminuição da toxicidade. Os valores de CE50 bem como eficiência do tratamento foram organizados também na Tabela 16. Dose 5 kGy: CE50 = 16,36% ± 5,37, representando 61,43% de remoção de toxicidade para *D. similis*, e 15,05% ± 2,93, remoção de toxicidade de 50,73% para *V. fischeri*. Enquanto 10 kGy resultou em mais de 73% de remoção de efeitos agudos para ambos os organismos expostos.

A respeito da redução de toxicidade de efluentes e corantes têxteis após tratamento com feixe de elétrons, eficiência de 34,55% para *D. similis* e 47,83% *B. plicatilis* (2,5 kGy) e *V. fischeri* 57,29% (5 kGy) foram observados por BORRELY et al. (2016) e MORAIS (2015), para efluente com corante Reativo Blue 222. Já o efluente contendo corante reativo Yellow 160, resultou em 18% (2,5 kGy) na redução de efeitos agudos para *D. similis* (BORRELY et al., 2019).

4.7 *Daphnia similis*: ensaio de toxicidade para efeito crônico: reprodução, análise de efeitos subletais e comprimento corpóreo

Para as amostras de efluentes brutas e tratadas com feixe de elétrons (2,5 e 5 kGy), também foram realizados ensaios de toxicidade para avaliação de efeito crônico e subletais em *Daphnia similis*, após exposição de 21 dias. Com base nos ensaios de toxicidade aguda, foram determinadas as concentrações de cada amostra, sendo expostos 10 organismos por concentração. Na Tabela 18 foram dispostos os resultados obtidos para mortalidade, reprodução e comprimento corpóreo dos organismos expostos às amostras, os valores para o controle negativo (água de cultivo) também foram apresentados (Apêndices E e F).

De acordo com os resultados, observa-se aumento da mortalidade e diminuição do número de neonatas devido à exposição a concentrações crescentes de efluente, padrão este observado tanto para amostras brutas quanto para tratadas com feixe de elétrons. Cabe destacar que em concentrações mais altas (Bruto > 3%; 5 kGy > 10%), organismos adultos que sobreviveram a exposição não reproduziram e no caso dos organismos expostos ao efluente bruto na concentrações 2,5% e 3% houve má formação de ovos em alguns casos (2^a camp.: 3 organismos e 3^a camp.: 4 organismos).

O número médio de neonatas obtidos nas concentrações iniciais nas amostras de efluente brutas e irradiadas foi maior do que o controle, fato este que pode estar relacionado à maior concentração de matéria orgânica no efluente, devido a sua composição.

Em relação às diferentes condições estudadas para o efluente, a concentração de 5% foi utilizada para fins de comparação da taxa de reprodução. Para o efluente bruto nesta concentração não houve sobrevivência, bem como reprodução dos organismos

expostos. No efluente tratado com 5 kGy, na 2ª campanha, após 21 dias, um total de 104 neonatas foi obtido, e na 3ª campanha este valor foi de 338.

Tabela 18 - Efeitos das diversas concentrações de efluente sobre a sobrevivência, natalidade e comprimento corpóreo de *D. similis* (exposição de 21 dias)

	Amostras	Concentração Efluente (%)	Adultos sobreviventes (21 dias de exposição)	Média: tamanho (mm) adultos sobreviventes	Neonatas
2ª Campanha	Controle		10	2,13±0,38	235
	Bruto	0,5	8	1,96±0,12	345
		1,5	10	2,09±0,11	121
		2,5	5**	1,92±0,23	12
		3,0	8**	2,27±0,24	0
		5,0	0	-	0
	5 kGy	5,0	8	2,31±0,14	104
		10	3	2,52±0,25	0
		15	1	2,10	0
		20	0	-	0
		25	0	-	0
3ª Campanha	Controle		10	1,64±0,21	246
	Bruto	0,5	10	1,89±0,09	314
		1,5	10	2,03±0,04	645
		3,0	8**	2,09±0,06	193
		5,0	0	-	0
		9,0	0	-	0
	2,5 kGy	1,0	10	1,82±0,04	313
		2,5	10	1,83±0,04	373
		5,0	10	1,99±0,07	433
		10	10	1,85±0,04	4
		20	0	-	0
	5,0 kGy	5,0	10	1,87±0,07	338
		10	10	1,86±0,06	71
		15	10	1,41±0,11	0
		25	0	-	0
30		0	-	0	

Legenda: ** Má formação de ovos foi observada nesta concentração.

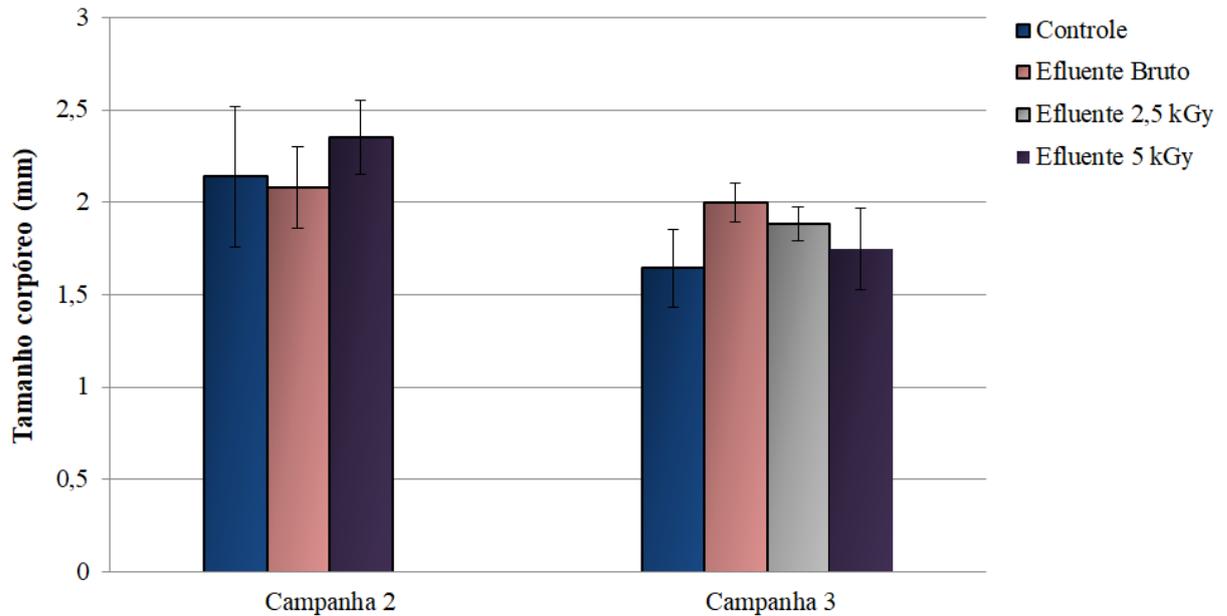
Fonte: autor da tese.

Com relação à análise de comprimento corpóreo de *D. similis* exposta durante 21 dias ao efluente têxtil, na Tabela 18 e Figura 18 foram dispostos os valores referentes ao tamanho dos organismos (milímetros) por campanha realizada. Já na Figura 19 consta a média de tamanho dos organismos, nas duas campanhas realizadas.

Analisando o crescimento corpóreo de *D. similis*, observa-se aumento do tamanho corporal dos daфинídeos expostos às amostras de efluente tratadas, se comparado ao controle: \bar{X} controle = 1,89 mm; \bar{X} 5 kGy = 2,04 mm (média das duas campanhas). Além disso, de forma geral, o tamanho corpóreo dos organismos foi maior na 2ª campanha (superior a 2,0 mm) quando comparado a 3ª campanha. Relacionando a reprodução com o

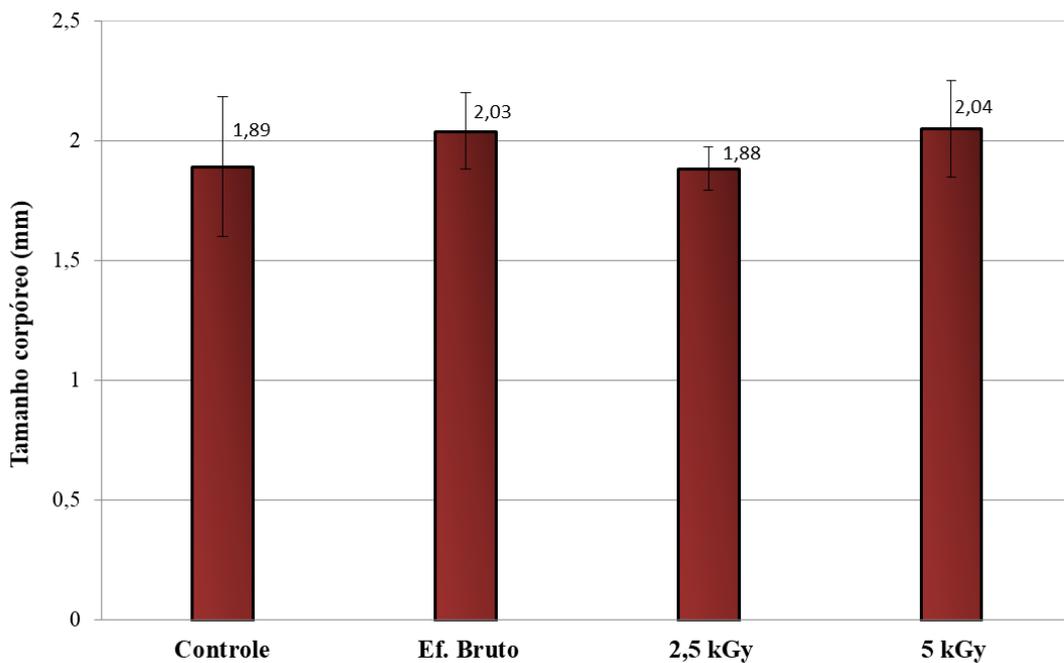
comprimento corpóreo, nota-se que, na 2ª campanha, os organismos que não reproduziram apresentaram maior tamanho corporal, já na 3ª campanha, de forma geral, a reprodução foi maior e o comprimento corpóreo dos dafinídeos menor.

Figura 18 - Média do tamanho dos organismos (milímetros) expostos às amostras de efluentes brutos e tratados



Fonte: autor da tese.

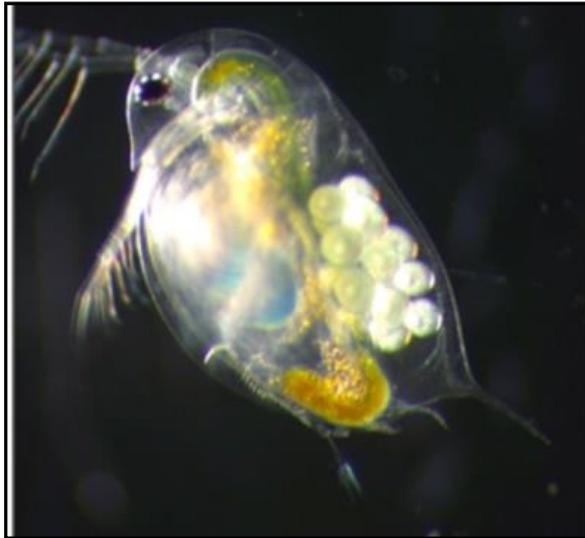
Figura 19 - Média do tamanho dos organismos (milímetros) expostos às amostras de efluentes brutos e tratados, das duas campanhas realizadas



Fonte: autor da tese.

Quanto a efeitos crônicos do efluente em *D. similis* após 21 dias de exposição, nas Figuras 20, 21 e 22 constam imagens dos organismos controle, expostos ao efluente bruto e ao efluente tratado (2,5 e 5 kGy). O controle negativo (Figura 20) corresponde a um número ideal de ovos incubados para uma daphnia fêmea com 21 dias de idade, exposta apenas à água natural e às mesmas condições daqueles expostos às amostras de efluente.

Figura 20 - *D. similis* – Controle Negativo
(Aumento 3.2x)

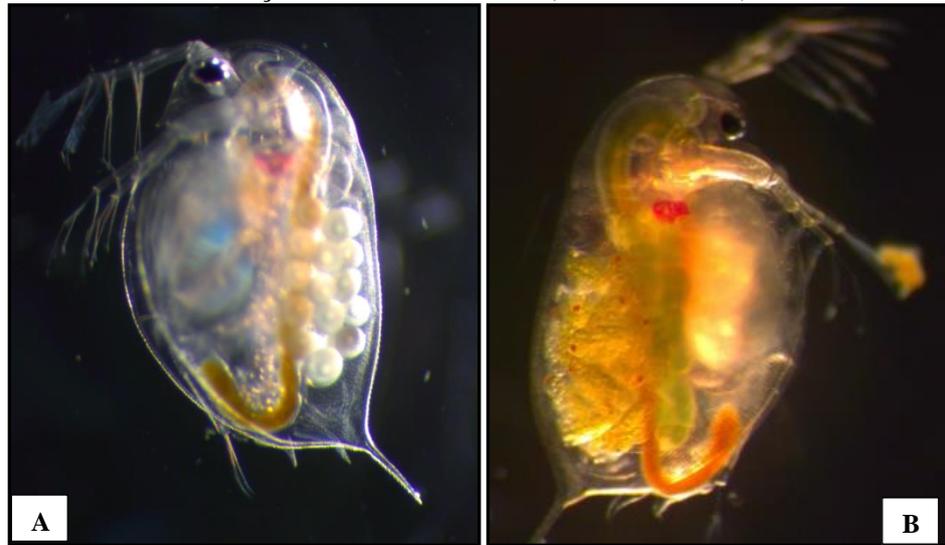


Fonte: autor da tese.

Sobre os efeitos da exposição ao efluente têxtil bruto, nas concentrações iniciais (0,5 e 1,5%) foi observada maior taxa de reprodução quando comparada ao controle, o que foi evidenciado pelo número maior de ovos encubados nas fêmeas expostas e número de neonatas (Figura 21 A). Nos organismos expostos à concentrações $\geq 2,5\%$ foram evidenciadas alterações subletais, com deposição de corante no sistema de filtrador e malformação dos ovos (Figura 21 B).

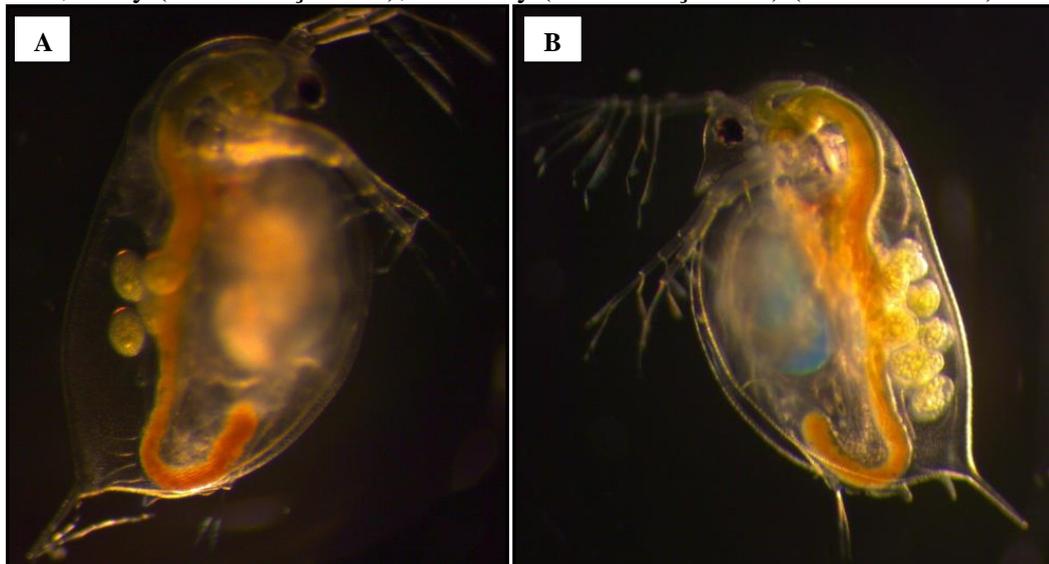
Por outro lado, menor deposição de corante no sistema filtrador foi observada para os organismos expostos ao efluente tratado nas doses 2,5 e 5 kGy, e nenhuma malformação em ovos foi observada (Figura 22 A e B).

Figura 21 - *D. similis* exposta ao efluente textil bruto em diferentes concentrações: A. 0,5%; B. 3% (Aumento 3.2x)



Fonte: autor da tese.

Figura 22 - *D. similis* exposta ao efluente textil tratado com feixe de elétrons: A. 2,5 kGy (concentração 5%); B. 5 kGy (concentração 5%) (Aumento 3.2x)



Fonte: autor da tese.

Assim como as alterações evidenciadas neste estudo, SHARMA et al. (2007b), também relataram deposição de corantes em brânquias e órgãos internos, escurecimento do corpo, clareamento ocular e secreção de muco em peixes *Gambusia affinis* da exposição a efluente têxtil. E MATHIEU-DENONCOURT et al. (2014) e SORIANO et al. (2014) identificaram má formação larval em *Silurana tropicalis* (sapo) devido a exposição ao corante Azo Disperso Yellow 7 e ao corante azo Bismarck Brown Y.

Em *Girardia tigrina* (planária) exposta ao corante têxtil Disperso Red 1 (exposição: 10 mg L⁻¹, 96h) foi observada coloração avermelhada da pele, com deposição maior de corante especialmente na região encefálica, o que pode estar relacionado à respiração cutânea e locomoção característica desse ser vivo (RIBEIRO e UMBUZEIRO, 2014).

Em larvas e embriões de peixes *Danio rerio*, foram reportadas alterações bioquímicas nas células, na atividade de natação, enzimática e estresse oxidativo devido à exposição a diferentes corantes têxteis (Azo Basic Red 51, Disperso Red 60, Red 73 e Red 78) em concentrações de até 15 mg L⁻¹ (ABE et al., 2018; MEIRELES et al., 2018).

Existem muitas evidências para organismos aquáticos de efeitos de efluentes e corantes têxteis para diferentes classes de seres vivos: bactérias, peixes, anfíbios, mamíferos, incluindo vegetais. Entre os efeitos citados estão as alterações fisiológicas, histopatológicas, hematopoéticas, sintomas comportamentais, diminuição de fertilidade e esterilização, efeitos tóxicos celulares e enzimáticos (SHARMA et al., 2007a; DARSANA et al., 2015; FERNANDES et al., 2015; AKHTAR et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018).

4.8 Análises Físico-Químicas: Efluente Têxtil

Os valores dos parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade e salinidade mensurados nas amostras de efluentes têxteis foram dispostos na Tabela 19. A média dos valores de OD, nas diferentes amostras, variou entre 5,00 e 8,70 mg L⁻¹, os menores valores foram relativos às doses 7,5 e 10 kGy. Com relação ao pH a variação foi entre 7,84 e 8,53, não havendo diferença significativa entre as amostras. Os valores de condutividade foram altos nas amostras analisadas, variando entre 9,32 e 21,64 mS/cm e salinidade (‰) entre 4 e 6. Estes valores podem estar relacionados à grande quantidade de sais adicionados no tingimento têxtil, e que compõem o efluente final, no tingimento de fibras celulósicas com corantes reativos.

De acordo com a Resolução Conama 357/05, valores de OD em águas naturais não devem ser inferiores a 5,0 mg L⁻¹ e valores de pH permissíveis estão entre 6,0 à 9,0. Com relação aos padrões de lançamento para efluentes, os valores de pH devem estar entre 5,0 e 9,0 (CONAMA 430/2011). Desta forma, os valores aqui obtidos para as amostras de efluente têxtil estão de acordo com a legislação vigente.

Tabela 19 - Parâmetros físico-químicos mensurados nas amostras de efluentes têxteis

Efluente	Campanha	Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	pH	Condutividade (mS/cm)	Salinidade (‰)
Bruto	1 ^a	5,83 ± 1,17	8,13 ± 0,22	17,86 ± 2,42	6
	2 ^a	7,65 ± 0,08	7,43 ± 0,29	10,53 ± 1,00	5
	3 ^a	6,32 ± 0,71	7,28 ± 0,39	18,18 ± 0,94	6
	$\bar{X} \pm S$	6,41 ± 1,01	7,84 ± 0,45	15,52 ± 4,32	5,60 ± 0,57
2,5 kGy	1 ^a	10,07 ± 0,15	7,91 ± 0,22	19,60 ± 0,43	5
	2 ^a	7,54 ± 0,17	7,66 ± 0,10	11,25 ± 0,86	5
	3 ^a	5,52 ± 1,90	8,90 ± 0,52	19,38 ± 0,79	6
	$\bar{X} \pm S$	8,70 ± 1,77	8,08 ± 0,52	16,74 ± 4,75	5,33 ± 0,57
5,0 kGy	1 ^a	6,86 ± 2,49	8,06 ± 0,21	19,96 ± 0,90	5
	2 ^a	6,50 ± 0,86	9,25 ± 0,68	10,49 ± 0,19	4
	3 ^a	4,77 ± 0,92	9,2 ± 0,32	19,11 ± 1,27	5
	$\bar{X} \pm S$	6,35 ± 2,08	8,53 ± 0,69	16,52 ± 5,23	5,00 ± 0
7,5 kGy	1 ^a	4,80 ± 1,38	7,94 ± 0,18	21,64 ± 1,01	5
	2 ^a	6,30 ± 0,69	9,39 ± 0,64	9,32 ± 0,56	4
	3 ^a	4,17 ± 0,84	8,38 ± 0,95	18,27 ± 1,21	5
	$\bar{X} \pm S$	5,00 ± 1,36	8,35 ± 0,76	16,41 ± 6,36	4,66 ± 0,57
10,0 kGy	1 ^a	4,71 ± 1,58	8,06 ± 0,08	20,06 ± 0,89	5
	2 ^a	5,89 ± 0,72	9,53 ± 0,38	10,82 ± 0,76	4
	3 ^a	4,83 ± 0,83	8,53 ± 0,35	17,58 ± 1,02	5
	$\bar{X} \pm S$	5,00 ± 1,38	8,36 ± 0,58	16,15 ± 4,78	4,66 ± 0,57

$\bar{X} \pm S$ = média e desvio padrão.

Fonte: autor da tese.

Os parâmetros cor, demanda química de oxigênio (DQO) e carbono orgânico total (COT) das amostras de efluente brutas e irradiadas, também foram analisados neste estudo. Na Tabela 20 constam os valores médios destes parâmetros bem como a eficiência do tratamento por feixe de elétrons. A porcentagem de redução de cor foi calculada pela absorbância em 545 nm (pico máximo de absorbância).

Tabela 20 - Valores médios para cor, DQO e COT nas amostras de efluente têxtil, e eficiência (%) da tecnologia por feixe de elétrons

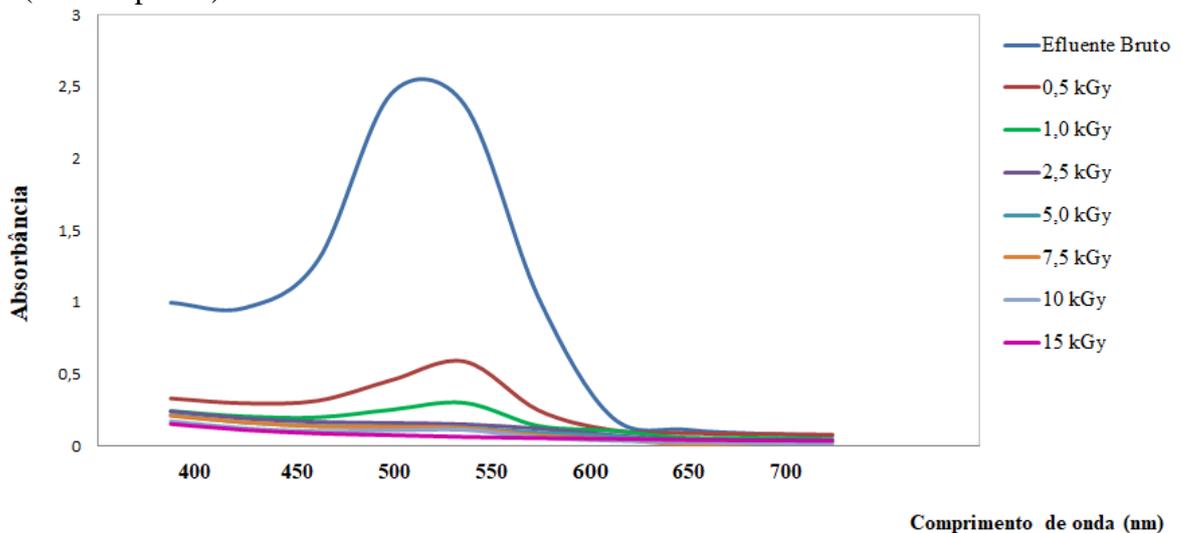
Efluente*	ABS-545 nm	\bar{X}	Redução cor (%)	DQO (mg L ⁻¹)	\bar{X}	Redução DQO (%)	COT (mg L ⁻¹)	Redução COT (%)
Bruto	1,951-2,302	2,126	-	341 - 430	385,5	-	322,3	-
0,5	0,604-0,987	0,795	62,60	-	-	-	-	-
1,0	0,307-0,747	0,527	75,21	-	-	-	-	-
2,5	0,129-0,255	0,192	90,96	284 - 400	342	11,28	263,2	18,33
5,0	0,099-0,114	0,106	95,01	244 - 410	327	15,17	241,0	25,22
7,5	0,099-0,109	0,104	95,10	327 - 396	361,5	6,22	272,2	15,54
10,0	0,086-0,099	0,092	96,67	281 - 388	334,5	13,22	251,0	22,12
15,0	0,062-0,079	0,070	96,70	-	-	-	168,2	47,81

Efluente*= amostras irradiadas: valores em kGy; \bar{X} = média.

Fonte: autor da tese.

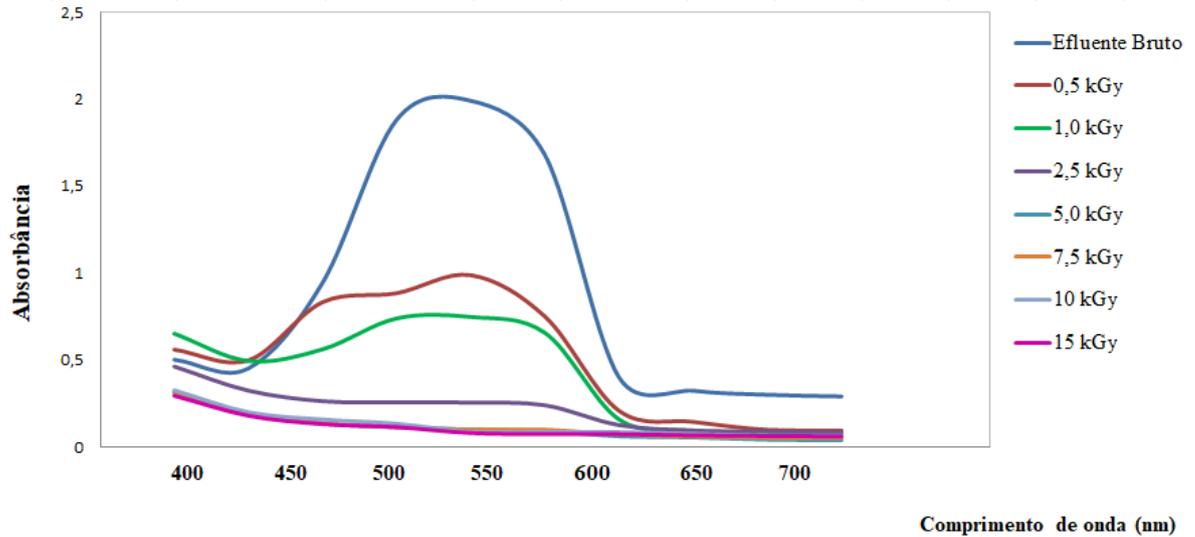
As Figuras 23 e 24 representam o espectro de absorvância (UV/Vis) em função das doses de radiação nas 2^a e 3^a campanhas. Esses valores de absorvância constam no Apêndice G. A Figura 25 representa os valores médios de DQO E COT no efluente têxtil em função da dose de radiação.

Figura 23 - Espectro de absorvância (UV visível) em função das doses de radiação (2^a Campanha)



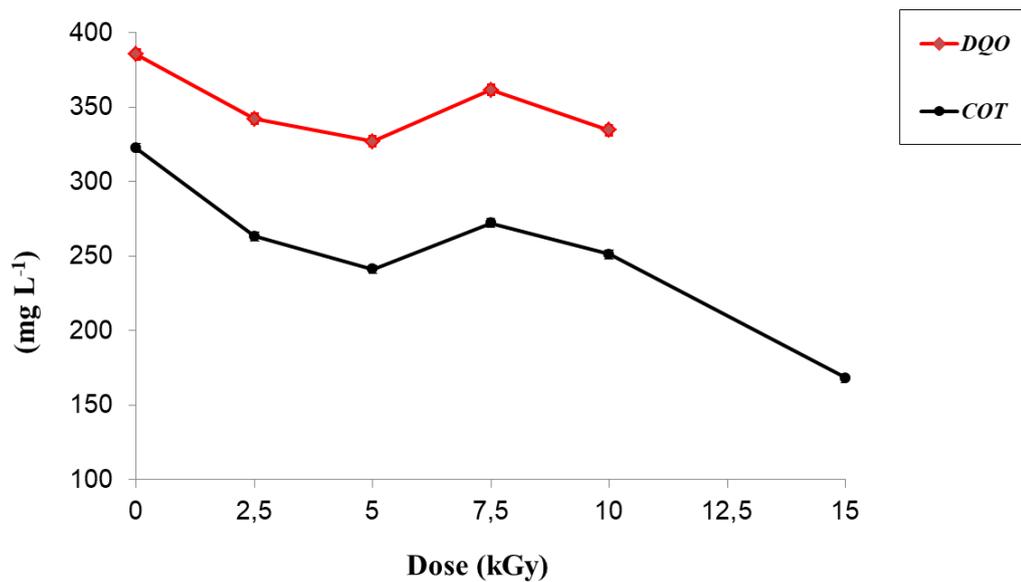
Fonte: autor da tese.

Figura 24 - Espectro de absorvância (UV visível) em função das doses de radiação (3ª Campanha)



Fonte: autor da tese.

Figura 25 - Valores médios de DQO E COT no efluente têxtil versus dose



Fonte: autor da tese.

Com relação à remoção de cor no efluente têxtil após tratamento com feixe de elétrons: 0,5 kGy representou 62% de redução da cor; 5 kGy - 95%, enquanto 15 kGy, aproximadamente 97% (Figuras 6B; 23 e 24 e Tabela 20). Cabe destacar, que na 2ª campanha a porcentagem de descoloração em 0,5 e 1,0 kGy, foi maior se comparada a 3ª campanha. Com 0,5 kGy na 2ª campanha, 74,64% de remoção de cor; 3ª campanha,

49,38%. A partir de 2,5 kGy, os valores das duas campanhas praticamente não diferiram (Tabela 20).

Considerando a descoloração de efluentes e soluções com corantes têxteis, resultados semelhantes ao deste estudo foram demonstrados quando aplicada a radiação ionizante. Para soluções aquosas com corantes têxteis, foram obtidos resultados como: 100% de remoção de cor para direto Black 22 (6 kGy), 95,3% para reativo amarelo 3RF (7 kGy); 95,5% para azo direto Blue 4GL (7 kGy); 97,64% para reativo Remazol Black 5 e 96,8% para reativo Orange 3R utilizando dose de 10 kGy (VAHDAT et al., 2010; ABDU et al., 2011; PINHEIRO, 2011).

Em amostras reais de efluente têxtil, TING e JAMALUDIN (2008), em estudo com efluente proveniente de parque industrial têxtil (Rawang, Malásia), demonstraram 61% de remoção de cor com 0,5 kGy e aproximadamente 80% com 18 kGy. HIGA (2008) obteve descoloração para efluente têxtil real de 54,75% com 2,5 kGy. Valores de eficiência de remoção de cor de aproximadamente 90% para efluente com corante reativo blue 222 (2,5 kGy) e para efluente com corante reativo Yellow 190 (10 kGy) (BORRELY et al., 2016; BORRELY et al., 2019). Em consonância com os valores da literatura aqui apresentados, neste estudo, com 0,5 kGy foi obtida remoção média de 62% de cor do efluente e à partir da dose 5 kGy mais de 95% .

Os resultados de DQO e COT nas amostras de efluente demonstraram que após tratamento com feixe de elétrons houve diminuição dos valores destes parâmetros. A concentração de DQO no efluente bruto foi de 385,5 mg L⁻¹, o melhor resultado após tratamento com feixe de elétrons foi obtido com 5 kGy: 327,0 mg L⁻¹, eficiência de 15,17% na redução de DQO.

Valores semelhantes de DQO em efluentes têxteis foram relatados por HE et al. (2016): 316 mg L⁻¹ (efluente bruto) e 309 mg L⁻¹ após 6 kGy, redução de 2%. O mesmo trabalho analisou também a DBO e a biodegradabilidade do efluente de acordo com a razão DBO/DQO, demonstrando que com 6 kGy, a eficiência de remoção de DBO foi de 36% e a biodegradabilidade próxima de 35%. Quando o tratamento com feixe de elétrons foi associado ao tratamento biológico a biodegradabilidade do efluente foi de 224%.

Com relação ao Carbono Orgânico Total analisado nas amostras de efluente têxtil bruta e irradiadas, o valor para o bruto foi de 322,3 mg L⁻¹; com 5 kGy, 241 mg L⁻¹ (eficiência = 25%) e com 15 kGy, 168,2 mg L⁻¹ (eficiência = 48%) (Tabela 20, Figura 25).

Semelhante ao resultado do efluente bruto deste estudo ($COT = 322,3 \text{ mg L}^{-1}$), LIANG et al. (2018), relataram em águas residuais têxteis não tratadas, de complexo industrial na China, valor de COT de 320 mg L^{-1} .

Aplicando a radiação ionizante, ABDON et al. (2011) obtiveram em solução aquosa com corante têxtil Remazol Black 5, 45% de redução de COT com 5 kGy e para azo direto Blue 4GL, 42%, na mesma dose. Para solução com corante reativo Red 120, foram obtidos dados de remoção de COT, de aproximadamente 10% com 5 kGy e 14% aplicando 10 kGy (PAUL et al., 2011).

KIM et al. (2011), em estudo com efluentes de complexo industrial têxtil, sugerem que a remoção de COT em plantas industriais que possuem acelerador de elétrons pode ser superior 70% utilizando doses próximas de 1 kGy.

De diferentes autores que aplicaram a irradiação por feixe de elétrons para remover cor e compostos orgânicos de efluentes têxteis, as doses relativamente baixas foram relatadas como um alvo possível e viável, podendo, portanto, esse processo contribuir com outras tecnologias para a melhoria e reutilização de efluentes industriais. Neste estudo, a dose de 5 kGy mostrou-se eficaz na redução de todos os parâmetros avaliados, tais como toxicidade, cor, DQO e COT. Com relação à redução da toxicidade, eficiência maior que 50% e cor maior que 95% foram observadas nestas condições.

Todos os efeitos biológicos negativos mencionados neste estudo são motivação para a busca de tecnologias inovadoras para a melhoria de determinadas classes de poluentes. Com a análise isolada de contaminantes presentes em efluentes têxteis, é possível caracterizar os compostos de maior toxicidade para organismos que são representativos na biota aquática e assim determinar possíveis alternativas visando a descontaminação desses efluentes, bem como a substituição por produtos de menor efeito.

Os resultados aqui obtidos confirmam que efluentes têxteis são críticos do ponto de vista de contaminação ambiental, sob diferentes aspectos, seja pela grande quantidade de surfactantes, corantes, e outros contaminantes ou pela baixa biodegradabilidade. Com relação à tecnologia por feixe de elétrons, foram obtidos dados promissores em termos de tratamento dos contaminantes e efluentes têxteis, com diminuição da toxicidade, cor e carga orgânica. Além disso, os resultados, como os de redução de cor, são indicativos que este efluente poderia ser reutilizado em alguma etapa do próprio beneficiamento têxtil, o que diminuiria o consumo de água e custos do processo, por exemplo.

4.9 Análise estatística

A análise estatística de variância significativa entre os valores obtidos para toxicidade e cor do efluente têxtil empregou o método ANOVA e teste de Tukey. Nas Tabelas 21 e 22 foram apresentados os valores de p-valor calculados à partir dos resultados de toxicidade e cor; $p < 0,05$ indica que há variação significativa entre as médias.

Tabela 21 - Toxicidade: Variação entre as médias de CE50 obtidas da exposição às amostras de efluente têxtil bruto e irradiado, por campanha realizada

Organismo	Campanhas	Níveis: valores em kGy	P valor	Varição significativa
<i>Daphnia similis</i>	1 ^a	0-2,5	0,1427	Não
		0-5,0	0,0002	Sim
		0-7,5	<0,0001	Sim
		0-10,0	<0,0001	Sim
	2 ^a	0-2,5	<0,0001	Sim
		0-5,0	<0,0001	
		0-7,5	<0,0001	
		0-10,0	<0,0001	
	3 ^a	0-2,5	0,0007	Sim
		0-5,0	<0,0001	
		0-7,5	<0,0001	
		0-10,0	<0,0001	
<i>Vibrio fischeri</i>	1 ^a	0-2,5	0,9531	Não
		0-5,0	0,0091	Sim
		0-7,5	<0,0001	Sim
		0-10,0	<0,0001	Sim
	2 ^a	0-2,5	0,4112	Não
		0-5,0	0,0103	Sim
		0-7,5	<0,0001	Sim
		0-10,0	<0,0001	Sim
	3 ^a	0-2,5	0,0124	Sim
		0-5,0	0,0005	
		0-7,5	<0,0001	
		0-10,0	<0,0001	

Fonte: autor da tese.

Tabela 22 – Cor: Variação entre as médias de absorvância obtidas da exposição às amostras de efluente têxtil bruto e irradiado, por campanha realizada

	Campanhas	Níveis: valores em kGy	P valor	Variação significativa
COR	2 ^a	0-0,5	<0,0001	Sim
		0-1,0	<0,0001	
		0-2,5	<0,0001	
		0-5,0	<0,0001	
		0-7,5	<0,0001	
		0-10,0	<0,0001	
		0-15,0	<0,0001	
	3 ^a	0-0,5	<0,0001	Sim
		0-1,0	<0,0001	
		0-2,5	<0,0001	
		0-5,0	<0,0001	
		0-7,5	<0,0001	
		0-10,0	<0,0001	
		0-15,0	<0,0001	

Fonte: autor da tese.

Em relação às análises estatísticas de toxicidade do efluente têxtil, os dados obtidos para *D. similis* resultaram em variação significativa entre as médias das amostras a partir de 5 kGy, 1^a campanha, e 2,5 kGy, 2^a e 3^a campanhas. Já para *V. fischeri*, houve variação significativa à partir de 5 kGy, 1^a e 2^a campanhas, e 2,5 kGy, 3^a campanha. Assim, estes resultados demonstram que a partir da dose de 5 kGy, para ambos os organismos, ocorre redução significativa de toxicidade após a irradiação. Para cor, na dose de 0,5 kGy os dados obtidos resultaram em variação significativa entre as médias das amostras, demonstrando remoção significativa de cor do efluente à partir desta dose.

4.10 Ensaio de sensibilidade e carta-contrôle

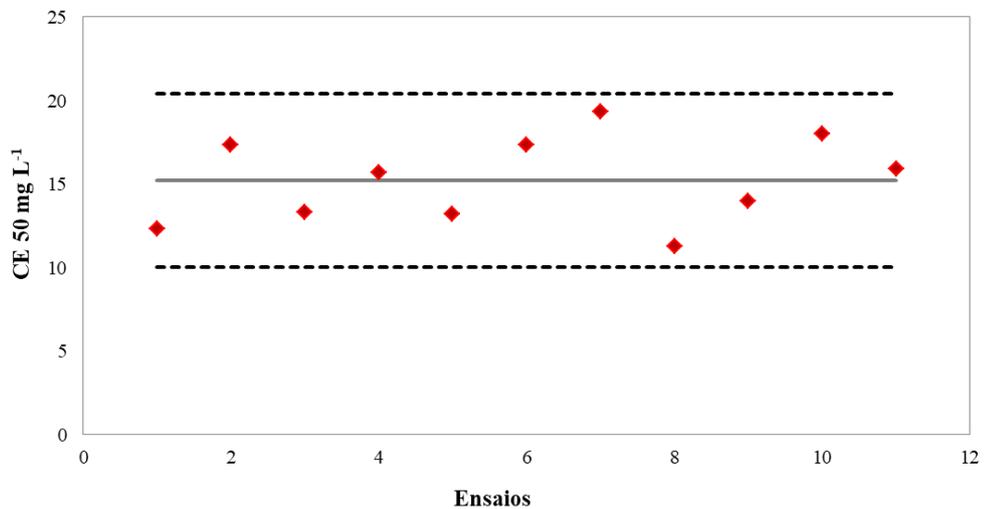
No presente trabalho foram realizados ensaios mensais de sensibilidade com a substância de referência KCl (Cloreto de Potássio) para *Daphnia similis* e fenol (C₆H₆O) para *Vibrio fischeri*. A realização de ensaios com substância de referência garante a qualidade analítica de estudos que utilizam testes de toxicidade aguda e crônica, atestando confiabilidade nos resultados obtidos em laboratório (ARAGÃO e ARAÚJO, 2008).

Nas Figuras 26 e 27 foram apresentadas as cartas controle referente à sensibilidade dos organismos *Vibrio fischeri* e *Daphnia similis*. Estas cartas foram elaboradas com base nos valores de concentração de efeito (CE 50) dos ensaios mensais, sendo obtida a média, desvio e o coeficiente de variação (CV). Segundo recomendações de

ZAGATTO e BERTOLETTI (2008), esses dados são considerados válidos quando os valores de CV encontram-se dentro da faixa adequada, inferiores a 30%.

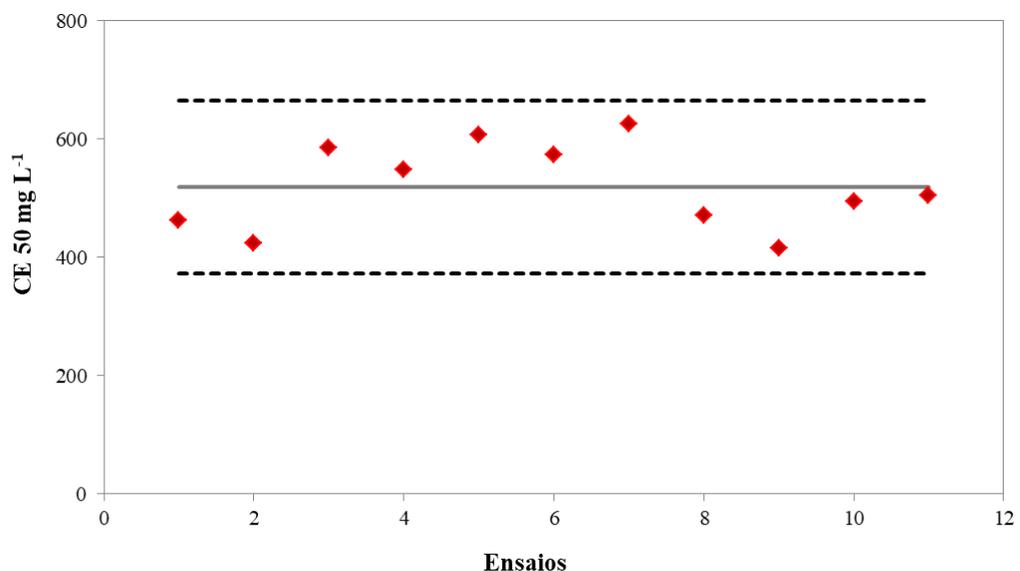
Com relação aos ensaios de sensibilidade para *V. fischeri* com substância referência fenol, o valor médio da CE 50 mg L⁻¹ foi de 15,23 ± 2,59 e coeficiente de variação (CV) de 17,05%. Para *D. similis*, com substância referência cloreto de potássio, o valor médio da CE 50 mg L⁻¹ foi de 519,27 ± 73,19 e coeficiente de variação (CV) de 14,09%. Desta forma, todos os resultados dos ensaios realizados estiveram dentro da faixa de sensibilidade, garantido, portanto, a confiabilidade dos ensaios e resultados de toxicidade com as amostras de efluentes e compostos analisados.

Figura 26 - Carta controle de sensibilidade de *V. fischeri* para fenol



Fonte: autor da tese.

Figura 27 - Carta controle de sensibilidade de *D. similis* para cloreto de potássio



Fonte: autor da tese.

5 CONCLUSÕES

- Os surfactantes foram muito tóxicos quando comparados aos demais grupos de produtos avaliados, sendo o não iônico/aniônico - óxido de alquilenos, o pior (CE50: *D. similis* = 1,8 mg L⁻¹; *V. fischeri* = 1,5 mg L⁻¹).
- Os produtos de menor toxicidade foram o dispersante/sequestrante não iônico (CE 50 = 320,23 mg L⁻¹, *V. fischeri*) e o dispersante/sequestrante aniônico (CE 50 = 812,40 mg L⁻¹, *D. similis*). A enzima catalase e o cloreto de sódio resultaram em baixa toxicidade.
- A toxicidade do corante têxtil reativo Red 239, foi elevada para *V. fischeri*, com CE50 = 10,14 mg L⁻¹, quando comparada a *D. similis*, CE50 = 389,42 mg L⁻¹; sendo, portanto, *V. fischeri* mais sensível ao corante têxtil. Desta forma, fica notória a importância da avaliação da toxicidade de contaminantes para diferentes organismos da cadeia trófica, uma vez que pode-se obter resultados distintos em relação aos efeitos nocivos destas substâncias.
- A irradiação com feixe de elétrons reduziu em até 80% a toxicidade dos surfactantes analisados (aniônico dodecilbenzeno sulfonado, por exemplo), para ambos os organismos expostos.
- O efluente têxtil foi muito tóxico, média de CE 50 = 6,31 (*D. similis*) e 7,41 (*V. fischeri*). E eficiência de redução entre 50 e 80% do efeito tóxico foi obtida com 5-10 kGy, respectivamente, para ambos os organismos.
- Quanto a efeitos crônicos do efluente em *D. similis*, as amostras não irradiadas apresentaram efeitos subletais, como deposição de corante no sistema filtrador de dafnídeos e má formação de ovos.
- O tratamento com feixe de elétrons foi efetivo na remoção de cor, DQO e COT das amostras de efluente têxtil. A dose de 5 kGy representou redução de 95% da cor, 15% da DQO e 25% do COT.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, F. R.; SOARES, A. M. V. M.; OLIVEIRA, D. P.; GRAVATO, C. Toxicity of dyes to zebrafish at the biochemical level: Cellular energy allocation and neurotoxicity. *Environmental Pollution*, v. 235, p. 255-262, 2018.

ABDOU, 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*, v.168, p.752–758, 2011.

AKHTAR, M. F.; ASHRAF, M.; JAVEED, A.; ANJUM, A. A.; SHARIF, A.; SALEEM, M.; MUSTAFA, G.; ASHRAF, M.; SALEEM, A.; AKHTAR, B. Association of textile industry effluent with mutagenicity and its toxic health implications upon acute and sub-chronic exposure. *Environmental Monitoring Assessment*, p. 190-179, 2018.

AHMIA, A. C.; IDOUHAR, M.; AROUS, O.; SINI, K.; FERRADJ, A.; TAZEROUTI, A. Monitoring of Anionic Surfactants in a Wastewater Treatment Plant of Algiers Western Region by a Simplified Spectrophotometric Method. *Journal of Surfactants and Detergents*, v. 19, p. 1305-1314, 2016.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019.

APHA/AWWA/WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23^a Edição, Washington DC. 2017.

ARAGÃO, M. A.; ARAÚJO, R. P. A. Métodos de Ensaio de Toxicidade com Organismos Aquáticos. In: ZAGATTO P.A.; BERTOLETTI E. (org.). **Ecotoxicologia Aquática – princípios e aplicações**. São Carlos: Rima, p. 117 – 152, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. ABIT. 2018. Disponível em: < <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>> Acesso em: 08 novembro 2019.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ecotoxicologia aquática – **Toxicidade Aguda- Método de ensaio com *Daphnia spp* (Crustacea, Cladocera)**. ABNT NBR 12713, Rio de Janeiro, 2016.

BARBOSA, A. C.; VALÉRIO, C. Formação de espumas e gás sulfídrico (H₂S) no rio Tietê, município de Pirapora do Bom Jesus, e sua relação com o Sistema de Tratamento das Águas do Rio Pinheiros. Anais: **Seminário de Recursos Hídricos da Bacia do Paraíba do Sul**: recuperação de áreas degradadas. Taubaté, 2009.

BARDI, M. A. G. *Avaliação do impacto ambiental gerado por tintas gráficas curadas por radiação ultravioleta ou feixe de elétrons em materiais para embalagens plásticas convencionais ou biodegradáveis pós-consumo*. 2014. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

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.

BEZERRA, R. N.; ARAÚJO, M. C.; ROSA, J. M. Comportamento Tintorial Do C.I. Reactive Blue 222 No Tingimento De Algodão Por Processo De Batelada. 5º ENP- Encontro Nacional de Pesquisa em Moda, 2015.

BLOK, J.; BALK, F. *Environmental Regulation in the European Community*. In: RAND, G. M.; WELLS, P. G.; MACCARTY, L.S. (Ed.) Introduction to aquatic toxicology: fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment. Washington, DC: Taylor e Francis, 1995.

BLY, J.H. *Electron beam processing*. Yardley, Pennsylvania, 1988.

BOIANI, N.F.; SILVA, V.H.O.; GARCIA, V.S.G.; DEL SOLE, S.V.; BORRELY, S.I. Electron beam irradiation of pharmaceuticals aiming at toxicity reduction: a binary mixture of fluoxetine and propranolol. *Ecotoxicology Environmental Contamination*, v. 14, n. 1, p. 53-58, 2019.

BORRELY, S. I.; SAMPA, M. H. O.; UEMI, M. DEL MASTRO, N. L.; SILVEIRA, C. G. Domestic Effluent: disinfection and organic matter removal by ionizing radiation. In: COOPER, W. J.; CURRY, R. D.; O'SHEA, K. E. (Ed.) *Environmental Applications of Ionizing Radiation*, p. 369-380, 1998.

BORRELY, S. I.; SAMPA, M. H. O.; Pedroso, C.B; Oikawa, H.; SILVEIRA, C. G. Cherbakian, E.H.; Santos, M.C.F. Radiation processing of wastewater evaluated by toxicity assays. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 57, p. 507-511, 2000.

BORRELY, S. I. *Redução da toxicidade aguda de efluentes industriais e domésticos tratados por irradiação com feixes de elétrons, avaliada com as espécies Vibrio fischeri, Daphnia similis e Poecilia reticulata*. 2001. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

BORRELY, S. I.; ROMANELLI, M. F.; PEREIRA, M. C. C.; SILVA, G. P.; MESQUITA, L. C. A.; MORAES, M. C. F. *Radiation processing of detergents and possible environmental benefits*. In: International Conference on Recent Developments and Applications of Nuclear Technologies, 15-17 September, Białowieża, Poland, 2009.

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.

BORRELY, S. I.; ROSA, J. M.; BOIANI, N. F.; GARCIA, V. S. G.; SOUSA, A. L. Emerging pollutants, related toxicity, and water quality decreasing: Tannery, textile, and pharmaceuticals load pollutants. *Biology, Engineering and Medicine*, v. 3, p. 1-6, 2018.

BORRELY, S. I.; SILVA, L. G. A.; DEL SOLE, S. V.; GARCIA, V.S. G.; BOIANI, N. F.; ROSA, J. M. Electron Beam Irradiation of textile effluents and non-ionic ethoxylated

surfactant for toxicity and color removal. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, v. 07-2A, p. 01-10, 2019.

BRÜSCHWEILER, B. J.; MERLOT, C. Azo dyes in clothing textiles can be cleaved into a series of mutagenic aromatic amines which are not regulated yet. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 88, p. 214–226, 2017.

CARNEIRO, P.A.; UMBUZEIRO, G.A.; OLIVEIRA, D.P.; ZANONI, M.V.B. Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes. *Journal of Hazard Materials*, v. 174, p. 694–699, 2010.

CHEN, C.; ZHANG, Y.; ZHANG, L.; LUO, W.; YU, J.; HE, S.; WANG, J. Advanced treatment of industrial textile wastewater by electron beam based technologies: lab- and pilot-scale experiments. *Radiation Treatment of Wastewater for Reuse with Particular Focus on Wastewaters Containing Organic Pollutants*, IAEA-TECDOC-1855, VIENNA, 2018.

CHEQUER, F. M. D.; ANGELI, J. P. F.; FERRAZ, E. R. A.; TSUBOY, M. S.; MARCARINI, J. C.; MANTOVANI, M. S.; OLIVEIRA, D. P. The azo dyes Disperse Red 1 and Disperse Orange 1 increase the micronucleifrequencies in human lymphocytes and in HepG2 cells. *Mutation Research*, v. 676, p. 83–86, 2009.

CHEQUER, F. M. D.; LIZIER, T. M.; FELÍCIO, R.; ZANONI, M. V. B.; DEBONSI, H. M.; LOPES, N. P.; OLIVEIRA, D. P. The azo dye Disperse Red 13 and its oxidation and reduction products showed mutagenic potential. *Toxicology in Vitro*, v. 29, p.1906–1915, 2015.

CHINA ENVIRONMENT STATISTICAL YEARBOOK (2015). Disponível em: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2015/indexeh.htm> Acesso em: 02 novembro 2019.

CHOI, J. S.; AHN, S. J.; RYU, S. H.; JANG-PYO JUN, J. P.; CHAE-GUN CHOI, C. G.; HAN, B. S.; KIM, J. K.; KIM, Y. R. A study on the removal of color in dyeing wastewater using electron beam irradiation. *Status of industrial scale radiation treatment of wastewater and its future*, IAEA-TECDOC-1407, VIENNA, 2004.

COELHO, K. S.; ROCHA, O. Assessment of the potential toxicity of a linear alkylbenzene sulfonate (LAS) to freshwater animal life by means of cladoceran bioassays. *Ecotoxicology*, v. 19, p. 812–818, 2010

CONAMA- CONSELHO NACIONAL DO MAIO AMBIENTE - Resolução n° 357, de 17 de março de 2005.

CONAMA- CONSELHO NACIONAL DO MAIO AMBIENTE - Resolução n° 430, de 16 de maio de 2011.

COONEY, J. D. *Freshwater tests*. In: RAND, G. M.; WELLS, P. G.; MACCARTY, L.S. (Ed.) Introduction to aquatic toxicology: fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment. Washington, DC: Taylor e Francis, 1995.

COOPER, W. J.; CURRY, R. D.; O'SHEA, K. E. (Ed.) *Environmental Applications of Ionizing Radiation*, p. 369-380, 1998.

COWAN-ELLSBERRY, C.; BELANGER, S.; DORN, P.; DYER, S.; MCAVOY, D.; SANDERSON, H.; VERSTEEG, D.; FERRER, D.; STANTON, K. Environmental Safety of the Use of Major Surfactant Classes in North America. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 44, p. 1893–1993, 2014.

CROCE, R.; CINÀ, F.; CRISPEYN, A. L. G.; CAPPELLI, C. I.; VIAN, M.; MAIORANA, S.; BENFENATI, E.; BADERNA, D. Aquatic toxicity of several textile dye formulations: Acute and chronic assays with *Daphnia magna* and *Raphidocelis subcapitata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 144, p. 79-87, 2017.

DALTIN, D. *Tensoativos: química, propriedades e aplicações*. São Paulo: Blucher, 2011.

DARSANA, R.; CHANDRASEHAR, G.; DEEPA, V.; GOWTHAMI, Y.; CHITRIKHA, T.; AYYAPPAN, S.; GOPARAJU, A. Acute Toxicity Assessment of Reactive Red 120 to Certain Aquatic Organisms. *Bulletin Environmental Contamination Toxicology*, v. 95, p. 582–587, 2015.

DELEO, P. C.; CIARLO, M.; PACELLI, C.; GREGGS, W.; WILLIAMS, E. S.; SCOTT, W. C.; WANG, Z.; BROOKS, B. W. Cleaning Product Ingredient Safety: What Is the Current State of Availability of Information Regarding Ingredients in Products and Their Function? *ACS Sustainable Chemistry e Engineering*, v. 6, p. 2094-2102, 2018.

DI CORCIA, A. Characterisation of surfactants and their biointermediates by liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, v. 794, p. 165-85, 1998.

DUARTE, C. L.; SAMPA, M. H. O.; RELA, P. R.; OIKAWA, H.; CHERBAKIAN, E. H.; SENA, H. C.; ABE, H.; SCIANI, V. Application of electron beam irradiation combined to conventional treatment to treat industrial. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 57, p. 513-518, 2000.

EDSER, C. Latest market analysis. *Focus on Surfactants*, v. 5, p. 1-2. 2006.

EICHHORN, P.; RODRIGUES, S. V.; BAUMANN, W.; KNEPPER, T. P. Incomplete degradation of linear alkylbenzene sulfonate surfactants in Brazilian surface waters and pursuit of their polar metabolites in drinking waters. *The Science of the Total Environment*, v. 284, p. 123-134, 2002.

ETAD. The Restrictions on the Marketing and Use of Azo Colourants According to the European Legislation Following the Directive 2002/61/EC (19th Amendment of Council Directive 76/769/EEC), 2008.

EWA. European Water Association. *Efficient use of water in the textile finishing industry*, Official Publication of the EWA, Brussels, Belgium, 2005.

FERNANDES, F. H.; BUSTOS-OBREGON, E.; SALVADORI, D. M. F. Disperse Red 1 (textile dye) induces cytotoxic and genotoxic effects in mouse germ cells. *Reproductive Toxicology*, v. 53, p. 75-81, 2015.

FERNÁNDEZ SERRANO, M.; JURADO, E.; FERNÁNDEZ ARTEAGA, A.; RÍOS, F.; LECHUGA, M. Ecotoxicological Assessment of Mixtures of Ether Carboxylic Derivative

and Amine Oxide Based Nonionic Surfactants on the Aquatic Environment. *Journal of Surfactants and Detergents*, v. 17, p. 1161-1168, 2014.

GHALY, A. E.; ANANTHASHANKAR, R.; ALHATTAB, M.; RAMAKRISHNAN, V. V. Production, Characterization and Treatment of Textile Effluents: A Critical Review. *Journal of Chemical Engineering e Process Technology*, v. 5, p. 1-18, 2014.

GLOBAL SURFACTANTS MARKET. Surfactants market by type (anionic, non-ionic, cationic, and amphoteric), substrate (synthetic, and bio-based), application (detergents, personal care, textile, elastomers e plastics, crop protection, food e beverage) - global forecast to 2021, 2017.

Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/3927849/surfactants-market-by-type-anionic-non-ionic> Acesso em: 02 de outubro de 2019.

GLOBAL SURFACTANT MARKET GROWTH. Current Trends, Product Types, Various Applications, Production, Demand, Top Manufacturers, Growth e Forecast 2024, 2019. Disponível em: <https://www.reuters.com/brandfeatures/venture-capital/article?id=136408> Acesso em: 02 de outubro de 2019.

GUARATINI, C. C. I; ZANONI, M. V. Corantes têxteis. *Revista Química Nova*, v. 23, n. 1, p. 72-78, 2000.

HAN, B., KIM, S.M., SALIMOV, R.A., KUKSANOV, N.K. *High power accelerator for environmental application*. In: Proceedings of Eighth International Topical meetings on Nuclear Applications and Utilization of Accelerators, American Nuclear Society, p. 1038-1041, 2007.

HAN, B.; KIM, J. K.; KIM, Y.; CHOI, J. S.; JEONG, K. Y. Operation of industrial-scale electron beam wastewater treatment plant. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 81, p. 1475-1478, 2012.

HAMADA, N.; MESQUITA, L. C. A.; PEREIRA, I. W.; NAKANO, E.; BORRELY, S. I.; TALLARICO, L. F. Avaliação Ecotoxicológica da Estação de Tratamento de Esgotos

Suzano (São Paulo) Utilizando *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri*. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, v. 6, n. 1, p.31-35, 2011.

HAMILTON, M.A.; RUSSO, R.C.; THURSTON, R.V. Trimmed Spearman Karber Method for estimating median lethal concentrations on toxicity bioassays. *Environmental Science Technology*, v. 11, n. 7, p. 714-719, 1977.

HASSAAN, M. A.; NEMR, A. E. Advanced Oxidation Processes for Textile Wastewater Treatment. *International Journal of Photochemistry and Photobiology*, v. 2, n. 3, p. 85-93, 2017.

HE, S.; SUN, W.; WANG, J.; CHEN, L.; ZHANG, Y.; YU, J. Enhancement of biodegradability of real textile and dyeing wastewater by electron beam irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 124, p. 203-207, 2016.

HIGA, M.C. *Aplicação de ensaios de toxicidade na avaliação da eficiência da radiação ionizante e da adsorção em zeólitas para o tratamento de efluentes coloridos*. 2008. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares– IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

HODGES, G.; ROBERTS, D. W.; MARSHALL, S. J.; DEARDEN, J. C. The aquatic toxicity of anionic surfactants to *Daphnia magna*-a comparative QSAR study of linear alkylbenzene sulphonates and ester sulphonates. *Chemosphere*, v. 63, n.9, p.1443-50, 2006.

HOSSAIN, L.; SARKER, S K.; KHAN, M. K. Evaluation of present and future wastewater impacts of textile dyeing industries in Bangladesh. *Environmental Development*, v. 26, p. 23-33, 2018.

IBA. “Dynamitron® e-beam accelerator: reliable equipment, Global Partner. Disponível em: www.iba-industrial.com Acesso em: 07 de agosto de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. - PNAD - **Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios**. IBGE, 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 10 outubro 2018.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *QA/QC in management systems for irradiation facilities*. Technical Meeting, Malaysia, 05-09 August, 2019.

IVANKOVIĆ, T.; HRENOVIĆ, J. Surfactants in the environment. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, v.61, p. 95-110, 2010.

JANSHEKAR, H.; GREINER, E.; ZANG, E.; KUMAMOTO, T. *Chemical Economics Handbook: Surfactants, Household Detergents and their Raw Materials*; IHS Chemical, 2016.

JOVANIC, B. R.; BOJOVIC, S.; PANIC, B.; RADENKOVIC, B.; DESPOTOVIC, M. The effect of detergent as polluting agent on the photosynthetic activity and chlorophyll content in bean leaves. *Health*, v. 2, p. 395–399, 2010.

JURADO, E.; FERNÁNDEZ-SERRANO, M.; NÚÑEZ-OLEA, J.; LUZÓN, G.; LECHUGA, M. Acute toxicity and relationship between metabolites and ecotoxicity during the biodegradation process of non-ionic surfactants: fatty-alcohol ethoxylates, nonylphenol polyethoxylate and alkylpolyglucosides. *Water Science and Technology*, v.59, p. 2351–2358, 2009.

JURADO, E.; FERNÁNDEZ-SERRANO, M.; LECHUGA., M.; RÍOS, F. Environmental impact of ether carboxylic derivative surfactants. *Journal of Surfactants and Detergents*, v. 15, p. 1–7, 2011.

KANCHI, S.; NIRANJAN, T.; NAIDU, K. B.; VENKATASUBBA, N. N. Monitoring the status of anionic surfactants in various water systems in urban and rural areas of Tirupati, Andhra Pradesh, South India. *International Journal of Research in Chemistry and Environment (IJRCE)*, v. 2, n. 3, p. 144–156, 2012.

KANT, R. Textile dyeing industry and environmental hazard. *Natural Science*, v. 4, p. 22-26, 2012.

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*, v.59, n.6, p. 3489-3493, 2011.

LARSON, R. J.; WOLTERING, D. M. Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS). In: RAND, G. M.; WELLS, P. G.; MACCARTY, L.S (Ed.). *Introduction to aquatic toxicology: fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment*. Washington, DC: Taylor e Francis, 1995.

LECHUGA, M.; FERNÁNDEZ-SERRANO, M.; JURADO, E.; NÚÑEZ-OLEA, J.; RÍOS, F. Acute toxicity of anionic and non-ionic surfactants to aquatic organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 125, p.1-8, 2016.

LEITE, L. S.; MASELLI, B. S.; UMBUZEIRO, G. A.; NOGUEIRA, R. F. P. Monitoring ecotoxicity of disperse red 1 dye during photo-Fenton degradation. *Chemosphere*, v. 148 p. 511-517, 2016.

LIANG, J.; NING, X.; SUN, J.; SONG, J.; LU, J.; CAI, H.; HONG, Y. Toxicity evaluation of textile dyeing effluent and its possible relationship with chemical oxygen demand. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 166, p. 56–62, 2018.

MATHIEU-DENONCOURT, J.; MARTYNIUK, C. J.; SOLLA, S. R.; BALAKRISHNAN, V; K.; LANGLOIS, V. S. Sediment Contaminated with the Azo Dye Disperse Yellow 7 Alters Cellular Stress- and Androgen-Related Transcription in *Silurana tropicalis* Larvae. *Environmental Science Technology*, v. 48, p. 2952–2961, 2014.

MCAVOY, D. C.; DYER, D. C.; FENDINGER, N. J.; ECKHOFF, W. S.; LAWRENCE, D. L.; BEGLEY, W. M. Removal of alcohol ethoxylates, alkyl ethoxylate sulfates, and linear alkylbenzene sulfonates in wastewater treatment. *Environmental Toxicology Chemical*, v. 17, p. 1705–1711, 1998.

MCDONOUGH, K.; CASTEEL, K.; ITRICH, N.; MENZIES, J.; BELANGER, S.; WEHMEYER, K.; FEDERLE, T. Evaluation of anionic surfactant concentrations in US effluents and probabilistic determination of their combined ecological risk in mixing zones. *Science of the Total Environment*, v. 572, p. 434–441, 2016.

MATHUR, N.; BHATNAGAR, P.; NAGAR, P.; BIJARNIA, M. K. Mutagenicity assessment of effluents from textile/dye industries of Sanganer, Jaipur (India): a case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 61, p. 105–113, 2005.

MEIRELES, G.; DAAM, M. A.; SANCHES, A. L. M.; ZANONI, M. V. B.; SOARES, A. M.V.M.; GRAVATO, C.; OLIVEIRA, D. P. Red disperse dyes (DR 60, DR 73 and DR 78) at environmentally realistic concentrations impact biochemical profile of early life stages of zebrafish (*Danio rerio*). *Chemico-Biological Interactions*, v. 292, p. 94–100, 2018.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**. Disponível em: < <http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/plansab/processo-de-elaboracao-de-plano/panorama-do-saneamento-basico-no-brasil> > Acesso: 10 outubro 2018.

MORAES, S. G.; FREIRE, R. S.; DURÁN, N. Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation processes. *Chemosphere*, v. 40, p. 369-373, 2000.

MORAIS, A. V. *Avaliação da toxicidade e remoção da cor de um efluente têxtil submetido ao tratamento com feixe de elétrons*. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION [US]. *Bioluminescent Marine Bacterium*. Disponível em: https://www.nsf.gov/news/mmg/mmg_disp.jsp?med_id=51885efrom=search_list Acesso: 12/08/2019.

NITZAN, B.Y. *A technique for producing class a sewage sludge using an electron beam*. In: international topical meeting in nuclear applications and utilization of accelerators

(ACCAPP`07). 8., 2007, Pocatello, Idaho, Jul. 29 – Aug. 2. Anais, LaGrange Park, Illinois: American Nuclear Society, p. 708-710, 2007.

NOUREN, S.; BHATTI, H. N.; IQBAL, M.; BIBI, I.; KAMAL, S.; SADAF, S.; SULTAN, M.; KAUSAR, A.; SAFA, Y. By-product identification and phytotoxicity of biodegraded Direct Yellow 4 dye. *Chemosphere*, v. 169, p. 474-484, 2017.

NTULI, F.; OMOREGBE, D. I.; KUIPA, P. K.; MUZENDA, E.; BELAID, M. *Characterization of Effluent From Textile Wet Finishing Operations*. In: Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, Vol I WCECS 2009, October 20-22, San Francisco, USA, 2009.

OLCAY TOPAC, F.; DINDAR, E.; UC, AROGLU, S.; BASKAYA, H. S. Effect of a sulfonated azo dye and sulfanilic acid on nitrogen transformation processes in soil. *Journal of Hazardous Materials*, v. 170, p. 1006–1013, 2009.

OLIVEIRA, G. A. R.; LEME, D. M.; JOAQUÍN DE LAPUENTE, J.; BRITO, L. B.; PORREDÓN, C.; RODRIGUES, L. B.; BRULL, N.; SERRET, J. T.; BORRÀS, M.; DISNER, G. R.; CESTARI, M. M.; OLIVEIRA, D. P. A test battery for assessing the ecotoxic effects of textile dyes. *Chemico-Biological Interactions*, v. 291, p. 171–179, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. **A ONU e a água**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/agua>> Acesso em: 14 outubro 2018.

PARVEZ, S.; VENKATARAMAN, C.; MUKHERJI, S. A review on advantages of implementing luminescence inhibition test (*Vibrio fischeri*) for acute toxicity prediction of chemicals. *Environment International*, v. 32, p. 265 – 268, 2006.

PAUL, J.; RAWAT, K.P.; SARMA, K.S.S.; SABHARWAL, S. Decoloration and degradation of Reactive Red-120 dye by electron beam irradiation in aqueous solution. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 69, p. 982–987, 2011.

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 efeitos tóxicos*. 2011. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

RAMÍREZ, T.; ARMAS, M.; UZCÁTEGUI, M. Effect of accelerated electron beam on pesticides removal of effluents from flower plantations. *Radiation Treatment of Polluted Water and Wastewater- IAEA-TECDOC-1598*, p. 43-58, 2008.

RAND, G. M.; WELLS, P. G.; MACCARTY, L.S. *Introduction to aquatic toxicology: fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment*. Washington, DC: Taylor e Francis, 1995.

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*, v. 50, p. 306–318, 2007.

RAUF, M.A.; ASHRAF, S. S. Radiation induced degradation of dyes—An overview. *Journal of Hazardous Materials*, v. 166, p. 6–16, 2009.

RAWAT, D.; MISHRA, V.; SHARMA, R. S. Detoxification of azo dyes in the context of environmental processes. *Chemosphere*, v.155, p. 591-605, 2016.

REBELLO, S.; ASOK, A. K.; MUNDAYOOR, S.; JISHA, M. S. Surfactants: toxicity, remediation and green surfactants. *Environmental Chemical Letter*, v, 12, p. 275–287, 2014.

REHMAN, K.; SHAHZAD, T.; AMNA SAHAR, A.; HUSSAIN, S.; MAHMOOD, F.; SIDDIQUE, M. H.; SIDDIQUE, M. A.; RASHID, M I. Effect of Reactive Black 5 azo dye on soil processes related to C and N cycling. *PeerJ*, v. 6, P. 1-14, 2018.

RIBEIRO, A. R.; UMBUZEIRO, G. A. Effects of a textile azo dye on mortality, regeneration, and reproductive performance of the planarian, *Girardia tigrina*. *Environmental Sciences Europe*, v. 26:22, p. 1-8, 2014.

ROCHA, O. P.; CESILA, C. A.; CHRISTOVAM, E. M.; BARROS, S. B. M.; ZANONI, M. V. B.; OLIVEIRA, D. P. O. Ecotoxicological risk assessment of the “Acid Black 210” dye. *Toxicology*, v. 376, p. 113–119, 2017.

ROMANELLI, M. F.; MORAES, M. C. F.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; BORRELY, S. I. Evaluation of toxicity reduction of sodium dodecyl sulfate submitted to electron beam radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 71, p. 411–413, 2004.

ROSA, J. M. *Efluentes no beneficiamento têxtil: reutilização do efluente têxtil tratado via fotocatalise homogênea UV/H₂O₂ no tingimento de tecidos 100% algodão*. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas.

ROSA, J. M.; GARCIA, V. S. G.; BOIANI, N. F.; MELO, C. G.; PEREIRA, M. C. C.; BORRELY, S. I. Toxicity and environmental impacts approached in the dyeing of polyamide, polyester and cotton knits. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, p.102973, 2019.

ROSAL, R.; RODEA-PALOMARES, I.; BOLTES, K.; FERNÁNDEZ- PINÃS, F.; LEGANÉS, F.; PETRE, A. Ecotoxicological assessment of surfactants in the aquatic environment: Combined toxicity of docusate sodium with chlorinated pollutants. *Chemosphere*, v. 81, p. 288–293, 2010.

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*, v. 13, p. 81-85, 2007. (a)

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*, v. 69, p. 48–54, 2007. (b)

SCHEIBEL, J. J. The evolution of anionic surfactant technology to meet the requirements of the laundry detergent industry. *Journal of Surfactants and Detergents*, v. 7, n.4, p. 319-328, 2004.

SORIANO, J. J.; MATHIEU-DENONCOURT, J.; NORMAN, G; SOLLA, S. R.; LANGLOIS, V. S. Toxicity of the azo dyes Acid Red 97 and Bismarck Brown Y to Western clawed frog (*Silurana tropicalis*). *Environmental Science Pollution Research*, v. 21, p. 3582–3591, 2014.

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 Sanganer on male reproductive systems of albino rats and mice. *Reproductive Toxicology*, v. 19, p.547–556, 2005.

TEGZE, A.; SÁGIA, G.; KOVÁCS, K.; HOMLOK, R.; TÓTH, T.; MOHÁCSI-FARKASD, C.; WOJNÁROVITS, L.; TAKÁCS, E. Degradation of fluoroquinolone antibiotics during ionizing radiation treatment and assessment of antibacterial activity, toxicity and biodegradability of the products. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 147, p. 101–105, 2018.

THE WORLD BANK. **World Development Indicators 2015- Freshwater**. Disponível em: <<http://wdi.worldbank.org/table/3.5#>> . Acesso em: 14 outubro 2018.

TIGINI, V.; GIANSAANTI, 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*, v. 74, p. 866–873, 2011.

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*, v. 73, p. 76–80, 2008.

TOMINAGA, F.K.; BATISTA, A.P.; TEIXEIRA, A.C.S.C.; BORRELY, S.I. Degradation of diclofenac by electron beam irradiation: Toxicity removal, by-products identification

and effect of another pharmaceutical compound. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 6, n. 4, p. 4605-4611, 2018.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TRIPATHI, A.; SRIVASTAVA, S. K. Biodegradation of Orange G by a novel isolated bacterial strain *Bacillus megaterium* ITBHU01 using response surface methodology. *African Journal of Biotechnology*, v. 11, n. 7, p. 1768-1781, 2012.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization, 2019. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019: não deixar ninguém para trás. Fatos e dados.** Disponível em: <https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2019> . Acesso em: 18 fevereiro 2020.

UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION (UNSD), 2013. Disponível em: <https://unstats.un.org/home/>. Acesso em: 05 julho 2018.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - **Methods for Measuring the Toxicity and Bioaccumulation of Sediment-associated Contaminants with Freshwater Invertebrates**. 2. Ed. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA- 600/R-99/064. MARCH, 2000.

VACCHI, F. I.; OHE, P. C. V.; ALBUQUERQUE, A. F.; VENDEMIATTI, J. A. S.; AZEVEDO, C. C. J.; HONÓRIO, J. G.; SILVA, B. F.; ZANONI, M. V. B.; HENRY, T. B.; NOGUEIRA, A. J.; UMBUZEIRO, G. A. Occurrence and risk assessment of an azo dye - The case of Disperse Red 1. *Chemosphere*, v.156, p. 95-100, 2016.

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*, v. 601-602, p. 230–236, 2017.

VAHDAT, A.; BAHRAMI, S. H.; ARAMI, M.; MOTAHARI, A. Decomposition and decoloration of a direct dye by electron beam radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 79, p. 33–35, 2010.

WANG, M.; YANG, R.; WANG, W.; SHEN, Z.; BIAN, S.; ZHU, Z. Radiation-induced decomposition and decoloration of reactive dyes in the presence of H₂O₂. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 75, p. 286–291, 2006.

WOJNÁROVITS, L.; TAKÁCS, E. Irradiation treatment of azo dye containing wastewater: An overview. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 77, p. 225-244, 2008.

WOJNÁROVITS, L.; TAKÁCS, E. Radiation Induced Degradation of Organic Pollutants in Waters and Wastewaters. *Topics in Current Chemistry (Z)*, v. 374, n. 50, p. 1-35, 2016.

WORLDDYE VARIETY. *Dye/ World dye variety*. Reactive Red 239. Disponível em: <http://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-red-239.html> Acesso em: 05 julho 2018.

YING, G. G. Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. *Environment International*, v. 32, p. 417 – 431, 2006.

YUAN, C. L.; XU, Z. Z.; FAN, M. X.; LIU, H. Y.; XIE, Y. H.; ZHU, T. Study on characteristics and harm of surfactants. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, v. 6, n. 7, p. 2233-2237, 2014.

ZAHARIA, C.; SUTEU, D. Textile Organic Dyes – Characteristics, Polluting Effects and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents – A Critical Overview. In: PUZYN, T. (Ed.) *Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention - Environmental and Analytical Update*, 2012, p. 55-86.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. *Ecotoxicologia Aquática – princípios e aplicações*. 2 ed. São Carlos: Rima, 2008.

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. *Journal of Environmental Sciences*, v. 24, n. 11, p. 2019-2027, 2012.

ZHOU, Q. Chemical pollution and transport of organic dyes in water–soil–crop systems of the Chinese Coast. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 66, p. 784–793, 2001.

ZOCOLO, G. J.; PILON DOS SANTOS, G.; VENDEMIATTI, J.; VACCHI, F.I.; UMBUZEIRO, G. A.; ZANONI, M.V.B. Using SPE-LC-ESI-MS/MS analysis to assess disperse dyes in environmental water samples. *Journal of Chromatographic Science*, v. 53, p. 1257-1264, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A- Ensaios de toxicidade para efeito Agudo- *Daphnia similis*: compostos químicos

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Carbonato de Cálcio													
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Conductiv. (µS.cm ⁻¹)							
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,22	7,65	194,5			
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,3	7,5	476			
50	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	8,56	7,49	481		
65	3	2	2	5	12	4	1	4	4	13	2	0	3	2	7	8,73	7,43	590
80	4	5	5	5	19	5	4	5	3	17	3	4	2	4	13	8,85	7,47	685
100	5	5	5	5	20	4	3	5	5	17	4	5	5	5	19	8,45	7,52	819
CE 50% _{48h}	62,46 (58,83-66,33)				62,30 (57,66-67,32)				71,26 (65,27-77,79)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Cloreto de Sódio													
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Conductiv. (mS.cm ⁻¹)							
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,09	7,73	207,9 µS.cm ⁻¹			
3	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	6,72	7,74	2,68
6	0	0	1	2	3	1	3	3	1	8	0	0	2	0	2	6,73	7,70	5,35
12	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	6,68	7,66	10,07
25	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	6,57	7,53	19,80
50	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	6,38	7,51	37,90
CE 50% _{48h}	7,72 (6,79-8,77)				6,37 (5,36-7,56)				8,02 (7,18-8,95)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Estabilizador Metassulfato de Sódio													
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Conductiv. (µS.cm ⁻¹)							
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,3	6,98	178,6			
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,43	7,01	310			
40	0	4	2	0	6	1	1	2	3	7	3	2	2	1	8	8,61	6,92	337
55	5	4	4	4	19	5	4	5	5	19	5	4	5	5	19	8,74	6,90	394
70	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,82	6,90	499
85	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,95	6,91	503
CE 50% _{48h}	42,26 (38,81-46,02)				41,43 (37,93-45,26)				40,63 (37,11-44,48)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Estabilizador sem metassulfato de sódio													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade			Total		Mortalidade			Total		Mortalidade			Total		pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	7,52	179
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,2	5,72	183,1
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5,02	183,4
80	1	0	0	0	1	0	2	0	2	4	1	4	2	2	9	7,5	5,04	184,6
90	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7	5,27	185,8
100	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,3	4,90	189,3
CE 50% _{48h}	84,40 (83,29-85,53)					82,75 (80,91-84,63)					80,01 (77,5-82,59)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Hidróxido de Sódio													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade			Total		Mortalidade			Total		Mortalidade			Total		pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,36	7,49	209
1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	6,94	7,52	227
2,5	0	0	1	1	2	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	7,10	7,56	251
5	1	3	0	2	6	0	3	1	2	6	1	2	3	1	7	7,35	7,55	315
7,5	5	5	5	4	19	5	5	5	5	20	5	5	4	5	19	7,49	7,58	350
10	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,63	7,53	393
CE 50% _{48h}	5,28 (4,53-6,15)					4,79 (4,10-5,60)					5,11 (4,49-5,89)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Peróxido de Hidrogênio													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade			Total		Mortalidade			Total		Mortalidade			Total		pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,69	7,48	214,9
0,005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	7,66	7,43	218,0
0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,68	7,42	209,6
0,025	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6,70	7,41	207,2
0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	7,70	7,40	202,3
0,075	0	3	1	1	5	1	4	0	4	9	0	2	0	1	3	7,71	7,38	200,2
1,0	5	4	4	4	17	4	5	4	4	17	5	5	4	2	16	7,72	7,37	196,6
CE 50% _{48h}	0,083 (0,074-0,094)					0,076 (0,067-0,086)					0,087 (0,083-0,092)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Umectante Bruto													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,47	8,95	189,0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,34	8,93	186,3
2,5	1	3	2	2	8	2	1	1	2	6	1	4	1	3	9	8,35	8,99	175,5
5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,18	8,97	176,5
7,5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,09	9,01	176,2
10	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,19	9,0	176,8
CE 50% _{48h}	2,56 (2,15-3,06)					2,78 (2,35-3,28)					2,46 (2,06-2,94)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Umectante Irradiado										Dose: 2,5 kGy			
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,30	7,55	174,7
0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	7,66	7,43	178,0
0,5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7,68	7,42	179,6
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0	0	0	0	7,27	7,32	176
2,5	3	1	3	2	9	2	3	1	2	8	3	4	2	2	11	7,25	7,37	174,2
5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,22	7,37	169,7
CE 50% _{48h}	2,46 (2,06-2,94)					2,19 (1,75-2,76)					2,27 (1,90-2,72)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Dispersante/Sequestrante Não Iônico													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,07	8,19	195,7
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,1	8,2	185,2
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	7,90	8,1	180,6
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,76	8,12	181,9
50	0	0	2	0	2	0	0	1	0	1	0	4	1	4	9	7,67	8,13	183,9
75	5	3	2	4	14	5	4	5	0	14	5	5	5	5	20	7,48	8,27	196,1
CE 50% _{48h}	65,52 (59,45-72,20)					66,20 (60,48-72,47)					49,64 (44,52-55,34)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Dispersante/Sequestrante Não Iônico					Dose: 2,5 kGy								
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,87	6,91	169,6
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,5	7,2	165,3
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6,43	7,04	167,1
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,61	6,98	164,1
50	4	2	1	0	7	2	1	0	0	3	0	0	1	1	2	7,02	6,96	177,8
75	5	5	5	4	19	5	5	5	5	20	4	5	5	5	19	6,99	6,92	202,2
CE 50% _{48h}	53,21 (47,57-59,51)					57,17 (53,14-61,51)					60,12 (55,45-65,19)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Dispersante/Sequestrante Aniônico													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,07	8,84	183,6
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,5	8,70	185
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	8,83	183
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	8,85	8,90	167,2
75	1	3	4	3	11	3	0	0	2	5	3	0	1	3	7	8,57	9,06	167,6
100	3	5	5	1	14	5	4	4	5	18	3	3	3	4	13	8,34	9,18	132,9
CE 50% _{48h}	74,73 (58,90-94,81)					82,40 (74,94-90,60)					86,60 (74,94-100,08)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Dispersante/Sequestrante Aniônico					Dose: 2,5 kGy								
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,87	6,91	169,6
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,5	6,90	150,1
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	8,31	6,93	145,0
50	0	0	0	2	2	0	0	1	0	1	0	0	3	3	6	7,39	6,92	153,2
75	5	5	5	5	20	5	5	4	5	19	5	5	5	5	20	7,07	6,91	146,6
100	5	5	5	5	20	5	5	4	5	19	5	5	5	5	20	7,17	6,88	147,4
CE 50% _{48h}	58,49 (55,01-62,20)					61,24 (59,37-63,17)					53,36 (47,91-59,43)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Corante Reativo Red 239													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
50	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	5,63	7,86	411
65	2	0	0	1	3	1	1	0	1	3	0	0	0	1	2	5,62	7,86	422
75	4	5	5	4	18	5	4	4	5	18	5	5	5	4	19	4,67	7,80	448
85	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	3,92	7,75	502
100	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	3,57	7,71	631
CE 50% _{48h}	68,66 (65,80-71,64)					68,66 (65,80-71,64)					69,82 (69,06-70,59)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Corante Reativo Red 239 Dose: 2,5 kGy													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,50	7,17	190,2
20	0	2	3	2	7	3	4	1	1	9	2	0	0	2	4	5,98	7,01	375
30	5	5	5	5	20	5	2	5	5	17	5	5	5	5	20	4,79	7,0	418
40	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	3,86	6,89	474
50	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	3,65	7,02	549
CE 50% _{48h}	20,21 (17,98-22,72)					20,15 (17,62-23,04)					21,95 (19,89-24,21)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Surfactante Aniônico- Dodecilbenzeno Sulfonado													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,15	8,2	193,8
1	1	0	1	0	2	0	0	1	1	2	1	1	0	0	2	8,20	7,57	217,1
2,5	4	3	4	2	13	3	4	3	4	14	4	3	2	4	13	8,05	7,55	186,3
5,0	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,70	7,57	180,2
7,5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,08	7,55	178,9
10	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5,87	7,56	179,5
CE 50% _{48h}	1,97 (1,58-2,46)					1,88 (1,52-2,32)					1,97 (1,58-2,46)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Surfactante Aniônico- Dodecilbenzeno Sulfonado					Dose: 2,5 kGy								
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,23	7,39	177
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,37	7,40	180,1
1,5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	7,40	7,44	179
3	0	1	0	1	2	1	0	2	0	3	0	2	0	0	2	7,52	7,36	177,1
6	0	1	2	2	5	1	1	4	0	6	3	2	1	1	7	7,51	7,36	174,4
10	5	5	4	4	18	5	5	4	4	18	5	5	5	4	19	7,48	7,37	142,7
CE 50% _{48h}	6,92 (5,88-8,14)					6,47 (5,34-7,85)					5,76 (4,40-7,55)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Surfactante Não Iônico- Álcool Graxo Etoxilado													
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	7,83	189,9
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,58	7,65	181,8
0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,65	7,68	182,2
0,5	2	1	5	5	13	2	3	5	3	13	5	4	4	4	17	7,38	7,5	179,5
0,75	5	4	5	5	19	5	5	4	4	18	5	5	5	5	20	7,27	7,51	179,5
1	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,05	7,46	180,4
CE 50% _{48h}	0,44 (0,39-0,49)					0,44 (0,39-0,5)					0,38 (0,35-0,42)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Surfactante Surfactante Não Iônico- Álcool Graxo Etoxilado					Dose: 2,5 kGy								
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,19	7,55	253
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,08	7,35	207,9
0,25	2	3	0	2	7	0	3	1	2	6	4	2	2	1	9	8,10	7,43	209,2
0,5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,06	7,37	203,1
0,75	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,04	7,44	201,3
1	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,05	7,45	200,4
CE 50% _{48h}	0,26 (0,22-0,31)					0,27 (0,23-0,32)					0,24 (0,20-0,29)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Surfactante Não Iônico/ Aniônico- Óxido de Alquileno													
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade				Mortalidade				Mortalidade				pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)			
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,56	7,70	190,4
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,41	7,5	185
0,25	2	3	5	6	15	3	4	5	5	17	3	4	5	5	16	8,28	7,60	185,9
0,5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,21	7,39	183,8
1	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,10	7,27	179,5
2,5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,06	7,24	181,5
CE 50% _{48h}	0,19 (0,17-0,23)				0,18 (0,16-0,20)				0,19 (0,16-0,21)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Surfactante Não Iônico/ Aniônico- Óxido de Alquileno								Dose: 2,5 kGy					
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade				Mortalidade				Mortalidade				pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)			
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,23	7,39	177
0,1	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	6,09	7,38	180,2
0,25	5	5	5	4	19	4	5	5	5	19	5	4	5	5	19	5,83	7,66	139
0,5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	6,73	7,04	179,6
1,5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	6,97	6,81	177,8
3	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	6,99	5,96	175
CE 50% _{48h}	0,15 (0,14-0,17)				0,16 (0,15-0,18)				0,14 (0,13-0,17)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Surfactante Não Iônico- Alquil aril etoxilado e sulfonado aromático													
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade				Mortalidade				Mortalidade				pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)			
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,7	7,90	193,2
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,54	7,90	183,9
0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,40	7,94	183,5
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,34	7,86	183,2
1	2	2	3	2	9	0	0	1	2	3	0	1	3	2	6	8,25	7,88	185,2
2,5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,25	7,80	185,4
CE 50% _{48h}	1,10 (0,92-1,32)				1,40 (1,23-1,59)				1,24 (1,05-1,46)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Amostra: Surfactante Não Iônico- Alquil aril etoxilado e sulfonado aromático					Dose: 2,5 kGy								
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade					Mortalidade					Mortalidade					pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Conductiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,23	7,39	177
0,1	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	7,06	7,43	179,8
0,5	0	1	0	2	3	0	0	1	1	2	0	0	1	1	2	7,13	7,39	180,6
1,5	2	1	0	0	3	0	1	0	2	3	1	1	1	2	5	7,39	7,34	179,7
3	5	4	4	5	18	5	5	4	5	19	4	5	5	5	19	7,42	7,29	178
6	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,42	7,13	174,3
10	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,41	7,14	169,4
CE 50% _{48h}	1,84 (1,29-2,63)					1,68 (1,32-2,13)					1,61 (1,20-2,17)							

APÊNDICE B- Ensaios de toxicidade para efeito Agudo- *Daphnia similis*: Efluente Têxtil

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 1 ^a					Amostra: Efluente Têxtil Bruto								
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade	Total			Mortalidade	Total			Mortalidade	Total			pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)			
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,90	7,82	189,2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,65	7,32	389
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,37	6,6	664
5	0	0	0	1	1	0	0	1	1	2	0	1	0	1	2	8,23	6,2	1098
7,5	5	5	5	5	20	1	0	3	2	6	3	3	2	4	12	8,14	6	1543
10	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	4	5	19	8,02	5,5	1966
CE 50% _{48h}	5,96 (5,65-6,29)				7,39 (6,67-8,18)				6,86 (6,15-7,66)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 1 ^a					Amostra: Efluente Têxtil			Dose: 2,5 kGy					
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade	Total			Mortalidade	Total			Mortalidade	Total			pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)			
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,03	9,69	184,90
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,37	10,27	386,0
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,57	9,77	658,0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,68	10,0	1121
7,5	2	0	1	0	3	0	0	0	3	3	4	5	1	0	10	7,86	10,18	1566
10	5	5	5	5	20	4	5	5	5	19	5	4	5	5	19	7,85	10,0	1990
CE 50% _{48h}	8,37 (7,99-8,76)				8,40 (7,85-8,98)				7,36 (6,74-8,03)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 1 ^a					Amostra: Efluente Têxtil			Dose: 5 kGy					
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade	Total			Mortalidade	Total			Mortalidade	Total			pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)			
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,05	10,07	187,3
7,5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,45	9,73	388,0
9,0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	8,30	9,98	682,0
10	0	0	0	1	1	4	2	3	2	11	1	0	1	0	2	8,20	10,04	977,0
12	1	0	0	0	1	3	4	4	2	13	3	5	2	5	15	8,14	10,09	1475
14	2	3	3	4	12	5	4	5	5	19	5	5	5	5	20	8,14	10,23	1966
CE 50% _{48h}	9,49 (8,64-10,43)				10,56 (9,96-11,20)				11,26 (10,84-11,70)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 1ª					A mostra: Efluente Têxtil					Dose: 7,5 kGy				
Concentração (%)		Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3			Análises Físico-Químicas								
		Mortalidade			Mortalidade			Mortalidade			pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)						
Controle		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,05	10,07	187,3			
7,5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,97	6,07	1637			
10		1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	8,15	6,03	2149			
12		0	1	0	1	2	0	1	0	3	0	0	1	1	2	2,48 mS.cm ⁻¹			
15		3	3	3	5	14	2	5	4	4	15	4	3	2	5	14	7,85	6,0	3,31 mS.cm ⁻¹
20		5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,06	5,5	4,31 mS.cm ⁻¹
25		5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,11	5,3	5,32 mS.cm ⁻¹
CE 50% _{48h}		14,03 (13,17-14,94)			13,71 (12,87-14,61)			14,19 (13,38-15,06)											
Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 1ª					Amostra: Efluente Têxtil					Dose: 10 kGy				
Concentração (%)		Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3			Análises Físico-Químicas								
		Mortalidade			Mortalidade			Mortalidade			pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)						
Controle		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,08	7,68	201,3			
7,5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,12	7,54	394			
10		1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	8,02	7,01	650
12		2	3	1	2	8	0	0	3	1	4	1	1	2	2	6	8,08	6,5	1089
15		4	2	2	3	11	3	2	4	3	12	2	5	5	3	15	8,11	5,0	3,12 mS.cm ⁻¹
20		5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	8,03	4,5	4,13 mS.cm ⁻¹
25		5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,91	3,48	4,87 mS.cm ⁻¹
CE 50% _{48h}		13,72 (12,72-14,79)			14,10 (13,14-15,13)			13,30 (12,42-14,24)											
Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 2ª					Amostra: Efluente Têxtil Bruto									
Concentração (%)		Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3			Análises Físico-Químicas								
		Mortalidade			Mortalidade			Mortalidade			pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)						
Controle		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,60	7,85	221			
2,5		0	1	1	4	6	1	0	3	4	8	3	1	1	3	8	7,04	7,76	424
5		5	5	5	4	19	1	5	4	4	18	5	5	5	4	19	7,41	7,68	585
7,5		5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,55	7,58	789
10		5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,73	7,59	968
15		5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,70	7,5	995
CE 50% _{48h}		3,09 (2,65-3,61)			2,87 (2,25-3,65)			2,84 (2,26-3,56)											

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 2 ^a					Amostra: Efluente Têxtil					Dose: 2,5 kGy			
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)							
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,60	7,85	221		
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,66	7,51	420		
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,56	7,50	613		
7,5	1	1	0	0	2	0	0	2	1	3	0	0	1	1	2	7,61	7,49	833
10	4	3	2	2	11	5	5	3	2	15	4	5	1	3	13	7,81	7,38	1054
15	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,70	7,51	1089
CE 50% _{48h}	9,69 (8,53-10,99)				8,87 (8,33-9,45)				9,25 (8,51-10,05)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 2 ^a					Amostra: Efluente Têxtil					Dose: 5 kGy			
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)							
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,96	7,46	217		
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,14	7,32	693		
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	2	8,76	7,12	1167
15	1	2	0	0	3	1	2	0	1	4	1	2	2	0	5	9,34	6,95	1597
20	2	3	0	0	5	2	2	2	1	7	2	2	2	2	8	9,54	6,81	1860
30	5	4	5	3	17	3	4	5	5	17	5	5	4	3	17	9,86	5,52	3,19 mS.cm ⁻¹
40	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	9,89	5,32	4,14 mS.cm ⁻¹
CE 50% _{48h}	22,46 (20,26-24,90)				20,75 (18,34-23,47)				19,50 (17,00-22,36)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 2 ^a					Amostra: Efluente Têxtil					Dose: 7,5 kGy			
Concentração (%)	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				Análises Físico-Químicas					
	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	Mortalidade	Total	pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (µS.cm ⁻¹)							
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,96	7,46	217		
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,39	6,85	1177		
15	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	9,18	7,01	1562
20	2	0	0	0	2	0	0	0	1	1	1	0	1	0	2	9,62	6,31	1988
25	0	2	1	0	3	0	0	0	1	1	1	0	0	1	2	9,77	6,09	2,43 mS.cm ⁻¹
50	4	5	4	5	18	5	4	5	5	19	5	5	5	5	20	10,03	5,5	4,46 mS.cm ⁻¹
75	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	10,2	5,26	4,64 mS.cm ⁻¹
CE 50% _{48h}	33,41 (29,79-37,46)				34,46 (31,77-37,39)				33,34 (31,20-35,63)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 2 ^a					Amostra: Efluente Têxtil					Dose: 10 kGy			
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade	Total				Mortalidade	Total				Mortalidade	Total				pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,96	7,46	217
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,12	6,71	1178
15	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,23	5,6	1707
20	0	1	0	1	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	9,54	6,43	2,28 mS.cm ⁻¹
25	2	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	9,72	5,9	2,78 mS.cm ⁻¹
50	5	5	5	4	19	5	5	5	4	19	5	5	5	5	20	10,08	5,0	4,98 mS.cm ⁻¹
75	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	10,2	5,2	5,12 mS.cm ⁻¹
CE 50% _{48h}	33,26(30,25-36,53)					35,07(32,56-37,76)					34,12(32,42-35,91)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 3 ^a					Amostra: Efluente Têxtil Bruto								
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade	Total				Mortalidade	Total				Mortalidade	Total				pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,15	7,40	275
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,70	7,17	615
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,48	6,88	1048
7,5	0	1	0	3	4	3	2	0	0	5	1	0	0	0	1	7,37	6,34	1421
10	3	4	5	2	14	2	3	3	3	11	5	3	2	3	13	7,59	5,72	1852
15	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	7,72	5,52	2,57 mS.cm ⁻¹
CE 50% _{48h}	8,97(8,16-9,85)					9,28(8,38-10,28)					9,61(8,86-10,42)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 3 ^a					Amostra: Efluente Têxtil					Dose: 2,5 kGy			
Concentração (%)	Ensaio 1					Ensaio 2					Ensaio 3					Análises Físico-Químicas		
	Mortalidade	Total				Mortalidade	Total				Mortalidade	Total				pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (μS.cm ⁻¹)
Controle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,15	7,40	275
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,41	7,27	652
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,65	7,01	1060
7,5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,26	6,80	1480
10	3	0	0	2	5	1	0	4	1	6	1	1	0	1	3	8,53	6,5	1972
15	5	4	4	3	16	2	3	3	5	13	4	3	4	5	16	8,90	6	2,87 mS.cm ⁻¹
20	5	5	5	5	20	5	4	5	4	18	5	5	5	4	19	9,35	5,8	3,75 mS.cm ⁻¹
CE 50% _{48h}	11,83(10,73-13,04)					12,78(11,47-14,24)					12,62(11,57-13,77)							

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 3ª					Amostra: Efluente Têxtil					Dose: 5 kGy		
Concentração (%)		Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3			Análises Físico-Químicas						
		Mortalidade			Mortalidade			Mortalidade			pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (mS.cm ⁻¹)				
Controle		0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,15	7,40	275 µS.cm ⁻¹				
10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,5	7,3	2,90				
15		3	0	0	1	2	1	1	3	2	8,89	6,5	2,92				
20		2	3	4	3	2	3	3	4	2	8,97	6	3,45				
25		5	5	5	5	5	5	5	5	4	9,39	5,5	4,91				
30		5	5	5	5	5	5	5	5	5	9,5	5	6,0				
CE 50% _{48h}		18,13 (16,67-19,72)			17,90 (16,46-19,46)			17,24 (15,73-18,90)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 3ª					Amostra: Efluente Têxtil					Dose: 7,5 kGy		
Concentração (%)		Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3			Análises Físico-Químicas						
		Mortalidade			Mortalidade			Mortalidade			pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (mS.cm ⁻¹)				
Controle		0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,15	7,40	275 µS.cm ⁻¹				
10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,34	7,38	2,90				
15		0	0	1	0	0	1	0	2	1	7,21	6,3	2,97				
25		5	5	4	5	4	2	2	4	4	8,02	6	4,65				
35		5	5	5	5	5	5	5	5	5	9,07	5,1	6,19				
45		5	5	5	5	5	5	5	5	5	9,25	5	7,64				
CE 50% _{48h}		19,36 (18,23-20,57)			20,70 (18,64-23,00)			20,28 (18,06-22,78)									

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Daphnia similis</i>					Campanha: 3ª					Amostra: Efluente Têxtil					Dose: 10 kGy		
Concentração (%)		Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3			Análises Físico-Químicas						
		Mortalidade			Mortalidade			Mortalidade			pH	O.D.(mg.L ⁻¹)	Condutiv. (mS.cm ⁻¹)				
Controle		0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,41	7,65	263 µS.cm ⁻¹				
10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,34	7,38	2,90				
15		0	1	0	0	0	0	0	1	0	8,13	5,3	2,85				
25		4	5	5	4	4	3	5	4	4	8,40	5,5	4,42				
35		5	5	5	5	5	5	5	5	5	8,61	5	5,93				
45		5	5	5	5	5	5	5	5	5	8,98	4,5	7,53				
CE 50% _{48h}		20,64 (19,29-22,08)			21,99 (20,16-23,98)			20,28 3(18,06-22,78)									

APÊNDICE C- Ensaios de toxicidade para efeito Agudo- *Vibrio fischeri*: Compostos Químicos

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>			Amostra: Carbonato de Cálcio			
Concentração (%)	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	97	125	85	114	102	124
10,23	97	113	105	139	102	120
20,47	93	69	91	92	108	105
40,95	95	4	78	8	89	2
81,90	101	1	75	1	104	1
CE 50% _{15min}	19,44 (9,91-38,11)		26,28 (15,58-44,32)		22,88 (6,02-36,88)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>			Amostra: Estabilizador Líquido (sem silicato de sódio)			
Concentração (%)	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	82	108	82	104	86	112
5,11	83	88	81	100	99	108
10,23	93	100	77	88	89	95
20,47	96	84	69	65	99	93
40,95	102	71	79	47	94	62
CE 50% _{15min}	55,95 (41,85-74,8)		37,08 (34,22-40,27)		53,96 (40,54-71,81)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>			Amostra: Estabilizador Metassilicato de sódio			
Concentração (%)	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	94	118	94	177	85	129
5,11	95	111	97	148	94	120
10,23	97	106	97	144	96	93
20,47	85	82	101	122	100	6
40,95	100	1	100	2	87	2
CE 50% _{15min}	15,46 (1,96-12,17)		12,96 (2,01-83,26)		19,00 (7,89-45,75)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>		Amostra: Hidróxido de sódio					
Concentração (%)	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	
Controle	102	125	93	99	92	129	
5,11	102	120	98	105	95	125	
10,23	93	110	95	100	92	118	
20,47	107	108	97	99	90	56	
40,95	93	20	105	1	89	1	
CE 50% _{15min}	2,91 (0,91-9,26)		2,28 (0,17-2,94)		1,44 (0,31-6,59)		

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>		Amostra: Peróxido de Hidrogênio					
Concentração (%)	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	
Controle	83	120	91	123	99	122	
7,67	84	119	93	125	97	118	
15,35	84	117	94	121	93	110	
30,71	94	111	89	103	95	101	
61,42	81	52	91	51	96	45	
CE 50% _{15min}	0,061 (0,039-0,094)		0,055 (0,041-0,074)		0,057 (0,037-0,088)		

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>		Amostra: Umectante											
Concentração (%)	Amostra: Bruta						Conc. (%)	Amostra: 2,5 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3			Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅		I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	107	119	96	117	107	119	Controle	91	68	113	77	98	72
10,23	93	96	76	92	105	109	2,55	87	47	94	59	87	52
20,47	103	94	97	95	108	102	10,23	91	40	111	49	95	49
40,95	95	68	80	68	106	72	20,47	88	30	117	40	92	37
81,90	101	1	98	1	97	5	40,45	79	14	105	15	92	17
CE 50% _{15min}	2,87 (0,55-14,91)		3,32 (0,79-13,89)		2,91 (0,61-3,97)			7,17(5,10-8,43)		9,31 (6,49-13,36)		9,72 (7,56-12,51)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>						Amostra: Corante Reativo Red 239						
Concentração (%)	Amostra: Bruta						Amostra: 2,5 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	94	115	79	121	91	108	91	113	96	104	89	74
5,11	86	100	90	111	102	93	84	97	84	90	85	65
10,23	90	80	90	94	102	80	87	92	89	82	86	68
20,47	94	57	92	68	103	54	87	86	71	72	92	58
40,95	96	32	88	32	106	26	93	60	70	47	101	34
CE 50% _{15min}	2,14 (1,46-3,13)		1,74 (1,48-2,05)		1,52 (1,23-1,88)		5,08 (3,88-6,66)		6,24 (2,07-18,8)		4,05 (1,74-9,42)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>						Amostra: Dispersante e Sequestrante Não Iônico							
Concentração (%)	Amostra: Bruta						Conc. (%)	Amostra: 2,5 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3			Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅		I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	92	99	73	87	84	108	Controle	80	94	75	96	89	109
10,23	84	86	80	91	91	111	5,11	90	103	83	97	100	107
20,47	95	85	87	82	92	98	10,23	88	90	89	93	834	92
40,95	88	59	92	63	95	63	20,47	90	80	83	77	92	82
81,90	88	1	86	1	88	12	40,45	88	50	97	63	88	50
CE 50% _{15min}	30,0 (7,13-126,15)		28,96 (7,72-108,66)		37,11 (27,53-50,02)			37,70 (28,43-49,99)		44,01 (38,83-49,88)		45,87 (25,56-82,30)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>						Amostra: Dispersante e Sequestrante Aniônico						
Concentração (%)	Amostra: Bruta						Amostra: 2,5 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	95	97	94	117	89	115	92	105	92	116	94	108
10,23	103	93	93	97	78	99	89	100	96	102	93	106
20,47	97	82	92	82	75	88	89	86	99	93	98	104
40,95	92	59	96	64	84	67	93	65	93	73	96	82
81,90	88	1	97	1	90	2	77	19	95	29	98	30
CE 50% _{15min}	28,0 (5,23-149,8)		24,14 (4,85-120,09)		34,61 (12,11-98,91)		35,65 (24,82-51,22)		32,54 (21,69-48,84)		42,61 (32,82-55,31)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>						Amostra: Surfactante Não Iônico/ Aniônico- Óxido de Alquileno						
Concentração (%)	Amostra: Bruta						Amostra: 2,5 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	81	112	81	112	93	110	91	41	91	41	91	51
5,11	85	97	93	98	89	87	85	36	96	35	86	47
10,23	98	80	89	82	91	79	88	30	89	24	94	43
20,47	92	58	91	54	86	48	79	19	91	10	100	30
40,95	95	23	90	24	92	23	79	9	90	1	99	13
CE 50% _{15min}	0,14 (0,11-0,19)		0,14 (0,11-0,19)		0,17 (0,13-0,22)		0,21 (0,17-0,26)		0,21 (0,12-0,36)		0,22 (0,16-0,31)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>						Amostra: Surfactante Não Iônico- Alquil aril etoxilado e sulfonado aromático							
Concentração (%)	Amostra: Bruta						Conc. (%)	Amostra: 2,5 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3			Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅		I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	85	77	85	71	79	95	Controle	101	67	101	67	93	81
10,23	101	73	92	75	75	83	5,11	97	58	96	58	98	75
20,47	98	61	97	68	80	68	10,23	98	61	97	54	88	66
40,95	117	47	87	38	80	48	20,47	95	49	95	49	101	59
81,90	74	1	80	1	92	1	40,45	99	28	99	27	101	35
CE 50% _{15min}	0,23 (0,06-0,80)		0,23 (0,06-0,80)		0,25 (0,07-0,94)			0,44 (0,20-0,98)		0,39 (0,25-0,58)		0,33 (0,23-0,49)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>						Amostra: Aniônico- Dodecilbenzeno Sulfonado							
Concentração (%)	Amostra: Bruta						Conc. (%)	Amostra: 2,5 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3			Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅		I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	99	120	110	98	110	98	Controle	100	75	95	70	100	79
2,55	92	102	113	86	113	87	5,11	95	66	115	78	96	65
5,11	106	96	108	83	101	75	10,23	95	61	115	68	105	66
10,23	87	34	103	24	110	28	20,47	92	54	111	59	100	54
20,47	95	3	119	4	107	2	40,45	97	33	113	37	110	36
CE 50% _{15min}	6,67 (3,77-11,79)		6,77 (2,52-18,16)		6,44 (2,37-17,46)			42,44 (30,69-58,70)		36,67 (29,51-45,56)		34,82 (27,01-44,90)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>						Amostra: Surfactante Não Iônico- Álcool Graxo Etoxilado						
Concentração (%)	Amostra: Bruta						Amostra: 2,5 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	86	66	86	76	100	133	93	98	88	128	86	97
5,11	87	37	97	75	101	103	85	57	78	63	88	58
10,23	95	22	91	47	90	79	88	37	90	48	96	41
20,47	90	7	93	30	84	42	81	21	93	27	88	22
40,95	99	1	93	11	94	16	84	9	92	12	80	8
CE 50% _{15min}	0,12 (0,08- 0,18)		0,14 (0,11-0,17)		0,13 (0,09-0,18)		0,078 (0,076-0,087)		0,063 (0,059-0,067)		0,069 (0,061-0,071)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>						Amostra: Surfactante Não Iônico- Etoxilado						
Concentração (%)	Amostra: Bruta						Amostra: 2,5 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	90	121	93	125			108	75	86	59	83	94
2,55	89	18	111	25			91	8	93	6	90	9
5,11	89	12	86	11			104	4	83	3	82	5
10,23	83	10	92	9			100	2	92	2	84	3
20,47	95	4	87	5			114	1	84	1	86	1
CE 50% _{15min}	0,29 (0,21-0,39)		0,23 (0,21-0,25)		0,26 (0,23-0,30)		1,85 (1,74-1,96)		1,26 (1,08-1,46)		1,24 (0,99-1,56)	

APÊNDICE D- Ensaios de toxicidade para Efeito Agudo- *Vibrio fischeri*: Efluente Têxtil

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>							Amostra: Efluente Têxtil - 1ª Campanha						
	Amostra: Bruta												
	Ensaio 1				Ensaio 2				Ensaio 3				
Concentração (%)	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	
Controle	89	87	93	91	95	119							
2,55	83	62	86	56	96	89							
5,11	91	52	90	44	83	67							
10,23	93	38	90	42	91	53							
20,47	88	28	95	32	91	36							
CE 50% _{15min}	8,18 (7,01 – 9,55)				7,07 (5,94 – 8,42)				9,96 (8,02 - 12,36)				
Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>							Amostra: Efluente Têxtil - 1ª Campanha						
	Amostra: 2,5 kGy						Amostra: 5,0 kGy						
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		
Concentração (%)	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	
Controle	83	104	96	127	111	53	96	58	93	92	88	74	
2,55	97	83	97	96	117	38	89	43	88	75	82	60	
5,11	97	71	87	75	101	31	86	35	93	66	89	50	
10,23	86	54	94	62	112	26	75	30	79	50	87	40	
20,47	75	36	96	47	107	18	83	24	93	40	91	34	
CE 50% _{15min}	9,47 (9,08 -9,88)		10,48 (9,97 -11,01)		9,26 (7,86 -10,91)		20,62 (16,70 -25,46)		16,15 (13,73 -19,00)		13,79 (10,27 -18,51)		
Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>							Amostra: Efluente Têxtil - 2ª Campanha						
	Amostra: 7,5 kGy						Amostra: 10,0 kGy						
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		
Concentração (%)	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	
Controle	96	92	91	80	81	85	91	85	107	104	94	88	
5,11	99	68	101	72	87	74	97	75	109	89	101	77	
10,23	94	61	100	58	81	60	92	62	90	64	103	62	
20,47	92	49	92	45	79	53	89	57	92	61	93	56	
40,95	100	39	105	37	85	41	88	38	103	48	88	40	
CE 50% _{15min}	26,04 (22,33 -30,36)		25,19 (22,70 -27,95)		31,11 (29,27 -33,07)		39,98 (31,98-49,99)		41,49 (34,72-49,57)		38,15 (29,46 -49,40)		

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>		Amostra: Efluente Têxtil - 2ª Campanha					
	Amostra: Bruta						
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		
Concentração (%)	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	
Controle	94	121	80	114	80	114	
2,55	96	102	93	115	90	111	
5,11	89	75	102	82	93	86	
10,23	86	88	98	38	99	40	
20,47	36	03	107	01	97	01	
CE 50% _{15min}	5,79 (2,83 - 11,83)		5,47 (2,66 - 11,28)		5,71 (2,67 - 12,23)		

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>		Amostra: Efluente Têxtil - 2ª Campanha										
	Amostra: 2,5 kGy					Amostra: 5,0 kGy						
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
Concentração (%)	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	93	101	86	87	104	86	91	97	95	91	85	80
5,11	98	76	85	53	96	62	96	87	91	85	88	70
10,23	90	47	84	29	97	42	94	62	101	70	92	54
20,47	93	19	88	08	95	10	96	23	94	29	83	17
40,95	93	01	77	01	81	01	100	03	107	02	88	02
CE 50% _{15min}	8,86 (6,00 -12,93)		7,19 (4,63 -11,17)		9,24 (6,15 -13,87)		11,21 (7,63 -16,46)		14,39 (9,30 -22,26)		11,04 (7,07 -17, 25)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>		Amostra: Efluente Têxtil - 2ª Campanha										
	Amostra: 7,5 kGy					Amostra: 10,0 kGy						
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
Concentração (%)	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	95	117	94	123	92	84	92	104	99	85	92	116
5,11	100	117	105	108	91	71	81	86	91	75	85	85
10,23	93	100	98	100	94	60	78	75	93	53	88	81
20,47	82	79	98	83	100	12	69	61	90	13	93	80
40,95	92	36	95	21	98	1	79	23	90	2	90	31
CE 50% _{15min}	15,99 (10,11-25,28)		19,32 (8,8-42,37)		21,32 (11,00-41,33)		28,60 (15,45-52,94)		25,99 (21,71-31,12)		24,02 (13,70-42,11)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>		Amostra: Efluente Têxtil - 3ª Campanha					
	Amostra: Bruta						
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		
Concentração (%)	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	
Controle	92	127	94	132	94	132	
2,55	88	97	90	101	91	103	
5,11	95	71	88	87	93	90	
10,23	95	50	87	60	93	63	
20,47	97	27	88	29	94	32	
CE 50% _{15min}	6,79 (5,73-8,04)		8,89 (7,10-11,14)		8,87 (7,58-10,37)		

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>		Amostra: Efluente Têxtil - 3ª Campanha										
	Amostra: 2,5 kGy						Amostra: 5,0 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
Concentração (%)	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	92	131	92	131	92	131	91	132	91	132	91	132
5,11	94	98	81	94	92	102	98	101	93	87	93	107
10,23	91	82	91	86	92	85	88	80	92	61	92	87
20,47	91	52	90	53	96	58	96	66	89	29	89	61
40,95	88	16	90	12	94	19	96	36	89	3	89	29
CE 50% _{15min}	12,57 (8,58-18,42)		13,52(8,90-20,54)		13,86 (10,15-18,92)		15,45 (12,57-18,99)		16,50 (8,82-30,86)		16,37 (13,90-19,27)	

Ensaio de toxicidade- efeito agudo: <i>Vibrio fischeri</i>		Amostra: Efluente Têxtil - 3ª Campanha										
	Amostra: 7,5 kGy						Amostra: 10 kGy					
	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
Concentração (%)	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅	I ₀	I ₁₅
Controle	91	118	91	118	91	132	87	71	97	109	86	91
10,23	90	94	92	104	87	102	85	69	89	94	83	87
20,47	95	75	80	71	90	83	73	54	97	88	92	96
40,95	94	44	92	43	88	46	88	65	97	47	95	75
81,90	93	12	96	12	87	14	83	30	94	13	92	36
CE 50% _{15min}	25,27 (19,91-32,08)		28,42 (23,83-33,90)		26,17 (21,12-32,43)		39,30 (16,37-94,32)		35,67 (30,87-41,22)		34,45 (15,22-77,97)	

APÊNDICE E- Análise de crescimento corpóreo: *Daphnia similis*- exposição ao Efluente Têxtil (21 dias)

2ª Campanha		Amostra: Efluente Têxtil Bruto					Amostra: Efluente Têxtil 5 kGy		
Réplicas		Controle	Concentrações				Concentrações		
			0,5	1,5	2,5	3	5	10	15
1	Tamanho (mm)	2,365	2,096	2,246	2,175	2,573	2,195	2,78	2,107
2		2,335	2,109	1,954	1,826	2,225	2,34	2,538	
3		2,24	1,961	2,074	1,718	2,348	2,019	2,27	
4		2,291	2,032	2,255	1,723	2,582	2,384		
5		2,945	1,763	1,947	2,191	2,162	2,466		
6		1,767	1,993	1,984		2,216	2,368		
7		1,62	1,909	2,085		2,309	2,399		
8		2,061	1,823	2,165		1,804	2,338		
9		1,869		2,174					
10		1,906		2,07					
$\bar{X} \pm S$		2,13±0,38	1,96±0,12	2,09±0,11	1,92±0,23	2,27±0,24	2,31±0,14	2,52±0,25	2,10

3ª Campanha		Amostra: Efluente Têxtil Bruto				Amostra: Efluente Têxtil 2,5 kGy			Amostra: Efluente Têxtil 5 kGy			
Réplicas		Concentrações				Concentrações			Concentrações			
		Controle	0,5	1,5	3	1	2,5	5	10	5	10	15
1	Tamanho (mm)	1,44	2,057	2,016	2,133	1,917	1,875	2,069	1,898	2,007	1,955	1,466
2		1,359	1,95	2,008	2,095	1,798	1,9	2,104	1,837	1,815	1,934	1,433
3		1,445	1,873	2,1	2,163	1,79	1,844	2,062	1,801	1,801	1,941	1,493
4		1,464	1,802	2,106	2,084	1,849	1,856	1,962	1,879	1,955	1,88	1,532
5		1,83	1,895	2,031	2,111	1,787	1,832	1,993		1,776	1,866	1,469
6		1,85	1,815	2,027	1,986	1,819	1,848	1,962		1,831	1,839	1,215
7		1,836	2,02	2,043		1,808	1,79	1,854		1,88	1,894	1,328
8		1,879	1,828	2,027		1,81	1,745	1,978		1,886	1,749	
9		1,742	1,85	1,96			1,804	1,99		1,914	1,801	
10		1,824					1,834	2			1,817	
$\bar{X} \pm S$		1,64±0,21	1,89±0,09	2,03±0,04	2,09±0,06	1,82±0,04	1,83±0,04	1,99±0,07	1,85±0,04	1,87±0,07	1,86±0,06	1,41±0,11

APÊNDICE F- Ensaios de toxicidade para Efeito Crônico- Efluente Têxtil: *Daphnia similis*- reprodução (21 dias)

2ª Campanha		Amostra: Efluente Têxtil Bruto					Amostra: Efluente Têxtil 5 kGy				
Réplicas		Controle	Concentrações				Concentrações				
			0,5	1,5	2,5	3	5	5	10	15	20
	Neonatas										
1		32	32	21	0(+)	0(+)	0(+)	15	0(+)	0(+)	0(+)
2		30	31	10	0(+)	0(+)	0(+)	10	0(+)	0(+)	0(+)
3		24	9 (+)	12	1(+)	0	0(+)	12	0(+)	0(+)	0(+)
4		25	20 (+)	6	0(+)	0	0(+)	9	0(+)	0(+)	0(+)
5		21	34	10	1(+)	0	0(+)	0(+)	0(+)	0(+)	0(+)
6		19	35	7	10	0	0(+)	0(+)	0(+)	0(+)	0(+)
7		27	46	14	0	0	0(+)	13	0(+)	0(+)	0(+)
8		18	43	10	0	0	0(+)	15	0	0(+)	0(+)
9		21	47	17	0	0	0(+)	14	0	0(+)	0(+)
10		18	46	14	0	0	0(+)	16	0	0	0(+)
Total jovens (21 dias)		235	345	121	12	0	0	104	0	0	0

3ª Campanha		Amostra: Efluente Têxtil Bruto					
Réplicas		Concentrações					
		Controle	0,5	1,5	3	6	9
	Neonatas						
1 -5		125	210	308	135/(+)/(+)	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)
6-10		121	104	337	58	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)
Total jovens (21 dias)		246	314	645	193	0	0

3ª Campanha		Amostra: Efluente Têxtil 2,5 kGy				
Réplicas		Concentrações				
		1	2,5	5	10	20
	Neonatas					
1 -5		187	261	261	4/(+)/(+)	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)
6-10		126	112	172	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)
Total jovens (21 dias)		313	373	433	4	0

3ª Campanha		Amostra: Efluente Têxtil 5 kGy				
Réplicas		Concentrações				
		5	10	15	25	30
	Neonatas					
1 -5		212	40	0	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)
6-10		126	31	0	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)	0/(+)/(+)/(+)/(+)/(+)
Total jovens (21 dias)		338	71	0	0	0

APÊNDICE G- Análise de cor do Efluente Têxtil: Leitura de Absorbância das amostras

ABS (nm)	Amostra: Efluente Têxtil					2ª Campanha		
	Bruto	0,5 kGy	1,0 kGy	2,5 kGy	5,0 kGy	7,5 kGy	10 kGy	15 kGy
400	0,9963	0,33	0,2421	0,2396	0,2147	0,2084	0,1711	0,1522
410	0,9689	0,3154	0,2267	0,1951	0,1517	0,2203	0,1308	0,1367
420	0,9462	0,3033	0,2136	0,1772	0,1353	0,2035	0,1758	0,1223
430	0,9589	0,296	0,2043	0,191	0,1625	0,1636	0,1222	0,1105
440	0,9954	0,2921	0,1979	0,1501	0,1117	0,1807	0,1526	0,1007
450	1,0796	0,2948	0,1942	0,1506	0,1401	0,1041	0,1718	0,1443
460	1,29	0,3138	0,1982	0,1658	0,1392	0,1343	0,101	0,0864
470	1,6499	0,3512	0,2111	0,1317	0,1011	0,1622	0,1359	0,0814
480	2,0735	0,4014	0,2296	0,1312	0,1038	0,1603	0,134	0,0773
490	2,3508	0,4564	0,2511	0,1588	0,1337	0,132	0,1077	0,074
500	2,2992	0,5193	0,2764	0,1344	0,1132	0,1576	0,1353	0,0714
530	2,3899	0,6145	0,3149	0,1351	0,1187	0,156	0,1327	0,0665
550	2,3699	0,5865	0,2986	0,149	0,1257	0,1234	0,111	0,0615
580	1,0337	0,2474	0,1384	0,1201	0,0928	0,0732	0,0583	0,0538
610	0,2006	0,1095	0,1055	0,0746	0,067	0,0469	0,0358	0,049
640	0,1128	0,0875	0,0559	0,0391	0,0297	0,0101	0,024	0,0414
670	0,0845	0,0826	0,0554	0,0336	0,0258	0,019	0,021	0,0371
700	0,0706	0,0774	0,0442	0,0325	0,0239	0,023	0,019	0,0361

ABS (nm)	Amostra: Efluente Têxtil						3ª Campanha	
	Bruto	0,5 kGy	1,0 kGy	2,5 kGy	5,0 kGy	7,5 kGy	10 kGy	15 kGy
400	0,50163	0,55942	0,65186	0,46228	0,31371	0,31308	0,32597	0,29442
420	0,45514	0,51564	0,59891	0,39221	0,24162	0,23958	0,24731	0,23044
440	0,45181	0,49821	0,49416	0,32367	0,19148	0,18773	0,19952	0,17964
460	0,5569	0,5571	0,45341	0,28093	0,15967	0,15503	0,17471	0,15639
480	0,94360	0,8322	0,56148	0,26289	0,13458	0,13771	0,15797	0,13123
500	1,43822	0,875430	0,62141	0,25885	0,11816	0,12106	0,14197	0,12244
520	1,88107	0,88373	0,73904	0,257	0,11346	0,11334	0,13319	0,11388
540	1,93504	0,95563	0,74689	0,26509	0,10207	0,11339	0,12846	0,10623
545	1,95116	0,98752	0,74702	0,25522	0,09952	0,09926	0,0864	0,0798
560	1,67862	0,74986	0,65614	0,23952	0,09128	0,09886	0,08614	0,07396
580	0,71075	0,56114	0,33208	0,17007	0,07527	0,08365	0,08566	0,07347
600	0,32234	0,20766	0,15793	0,12587	0,0614	0,07208	0,08472	0,07317
620	0,28535	0,1279	0,10875	0,10602	0,05673	0,06352	0,08452	0,07257
640	0,3008	0,1441	0,09279	0,09471	0,05475	0,05994	0,07588	0,06654
660	0,32274	0,10799	0,0838	0,09007	0,0535	0,0567	0,07007	0,06685
680	0,3313	0,099	0,07605	0,08861	0,04202	0,05182	0,06522	0,06288
700	0,33511	0,09479	0,07225	0,08206	0,03868	0,05086	0,06439	0,0605

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://www.ipen.br>

O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.