

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE AMOSTRAS DE ÁGUA E  
EFLUENTE UTILIZANDO A ESPÉCIE *LACTUCA SATIVA* (PLANTAE,  
MAGNOLIOPHYTA)**

*ECOTOXICOLOGICAL EVALUATION OF WATER AND EFFLUENT SAMPLES USING  
THE SPECIES LACTUCA SATIVA (PLANTAE, MAGNOLIOPHYTA)*

DOI: 10.24933/e-usf.v8i1.438

v. 8 n. 1 (2024)

TONINI, Gabriela Silva<sup>1</sup>; FARIA, Juliana de Oliveira<sup>1</sup>, OLIVEIRA, Laira Lúcia Damasceno<sup>2</sup>,  
BIANCHI, Roberta Martins da Costa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduandas do Curso de Biomedicina – Universidade São Francisco, Campus- Swift,  
Campinas;

<sup>2</sup> Docente do Curso de Biomedicina – (Universidade São Francisco);

<sup>3</sup> Docente do Curso de Engenharia Química – (Universidade São Francisco)

**[gabriela.silva.tonini@mail.usf.edu.br](mailto:gabriela.silva.tonini@mail.usf.edu.br)**

**RESUMO.** A degradação dos corpos hídricos é um grave problema que está se agravando devido ao aumento da população mundial e à prática de atividades potencialmente poluidoras. A qualidade da água está diretamente relacionada com a qualidade de vida das pessoas. A água e o esgoto contaminados são responsáveis pela transmissão de uma série de doenças, principalmente gastrointestinais. Estes locais, por não possuírem sistemas de esgoto e drenagem adequados, despejam uma elevada carga de poluição em corpos d'água, responsáveis pela água de abastecimento para consumo humano, consumo este realizado na maioria das vezes sem passar por nenhuma etapa de tratamento ou purificação prévia. Uma alternativa para tal problema seria a disseminação de ecotecnologias para tratamento de efluentes, principalmente para pequenas comunidades mais isoladas com populações de baixa renda per capita e/ou em zonas rurais, já que o tratamento convencional de esgoto demanda alto investimento e mão de obra qualificada. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre bioensaios envolvendo a análise da qualidade da água por meio de testes de fitotoxicidade utilizando a espécie *Lactuca sativa* (Plantae, Magnoliophyta), visando verificar os efeitos causados no organismo-teste em condições laboratoriais quando exposto às amostras de água e efluentes. A partir dos resultados analisados, verificou-se que a utilização de ensaios de fitotoxicidade para determinar os riscos e efeitos ocasionados pelos efluentes domésticos no ambiente são escassos, sendo de interesse o uso e aplicação de bioindicadores para a avaliação dos seus riscos potenciais. Portanto, os ensaios ecotoxicológicos também podem contribuir com a avaliação da qualidade e a garantia da segurança do abastecimento de água.

**Palavras-chave:** Fitotoxicidade; *Lactuca sativa*; água; efluente.

**ABSTRACT.** The degradation of water bodies is a serious problem that is worsening due to the increase in the world's population and the practice of potentially polluting activities. The quality of water is directly related to the quality of life of people. Contaminated water and sewage are responsible for the transmission of a series of diseases, mainly gastrointestinal. These areas, lacking proper sewage and drainage systems, discharge a high load of pollution into water bodies, which are responsible for the water supply for human consumption. This

consumption often occurs without undergoing any prior treatment or purification. An alternative to such a problem would be the dissemination of ecotechnologies for effluent treatment, especially for small, more isolated communities with low per capita income populations and/or in rural areas, since conventional sewage treatment demands high investment and qualified labor. Therefore, the present study aimed to conduct a bibliographic survey on bioassays involving the analysis of water quality through phytotoxicity tests using the species *Lactuca sativa* (Plantae, Magnoliophyta), aiming to verify the effects caused in the test organism under laboratory conditions when exposed to water and domestic effluent samples. Based on the analyzed results, it was found that the use of phytotoxicity assays to determine the risks and effects caused by domestic effluents in the environment is scarce, making it interesting to use and apply bioindicators for the assessment of their potential risks. Therefore, ecotoxicological assays can also contribute to the assessment of water quality and ensuring its safety for supply.

**Keywords:** Phytotoxicity; *Lactuca sativa*; water; effluent.

## INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a existência da vida no planeta, porém sua preservação não tem correspondido à sua importância. Diversos problemas ambientais persistem sem solução, como a precariedade dos sistemas de água e esgoto, o uso excessivo de pesticidas na agricultura, e as soluções inadequadas para o gerenciamento de resíduos. Há também preocupações significativas com os níveis de poluição e contaminação, afetando os recursos hídricos, atmosféricos, do solo, do subsolo e alimentares (MORAES, 2002).

Infelizmente, muitos países enfrentam altos custos no tratamento de doenças relacionadas à água, que poderiam ser evitadas com investimentos adequados em saneamento básico. A água, sendo essencial para o desenvolvimento humano, tem enfrentado crescente pressão desde o início do século XX, resultando na deterioração de sua qualidade para consumo humano e na degradação dos ecossistemas aquáticos, afetando diretamente a qualidade de vida das espécies que dependem desses ambientes.

A qualidade da água está diretamente ligada à qualidade de vida das pessoas. Águas contaminadas e esgoto são responsáveis pela propagação de diversas doenças, especialmente gastrointestinais (BRASIL, 2006). Estima-se que em 2012, 842 mil mortes tenham ocorrido em países de renda média e média-baixa devido à contaminação da água potável, à falta de instalações adequadas para a lavagem das mãos e aos serviços de saneamento inadequados. Em países de alta renda, cerca de 70% dos resíduos industriais e domésticos são tratados, enquanto em países de baixa renda, apenas 8% desses resíduos recebem algum tipo de tratamento. Globalmente, mais de 80% das águas residuais são lançadas no ambiente sem qualquer tipo de tratamento (WWAP, 2017).

No Brasil, conforme dados de 2017, 83,3% da população possui acesso à rede de água, enquanto 50,3% do esgoto gerado é coletado. No entanto, apenas 42,7% desse esgoto coletado passa por algum tipo de tratamento antes de ser descartado. Essa situação é alarmante, pois revela a realidade nacional em relação ao tratamento de esgoto, com 57,3% do esgoto total gerado no país sendo lançado diretamente no solo ou em corpos d'água sem qualquer tratamento prévio.

Uma possível solução para esse problema seria a ampliação do uso de ecotecnologias para o tratamento de efluentes, especialmente em pequenas cidades e comunidades isoladas com baixa renda per capita. Isso porque o tratamento convencional de esgoto demanda altos investimentos e mão de obra qualificada. Ecotecnologias referem-se a técnicas que visam minimizar impactos nos ecossistemas, promovendo ao mesmo tempo o desenvolvimento sustentável. Um exemplo seria um sistema fotovoltaico para bombeamento e desinfecção de águas e efluentes em comunidades pequenas, além da possibilidade de monitoramento da qualidade da água e efluentes através de análises físico-químicas e bioensaios de fitotoxicidade.

Para avaliar a ecotoxicidade e os efeitos dos poluentes no ambiente, a toxicologia utiliza diversos bioensaios que são essenciais para a avaliação da qualidade das águas e da carga poluidora dos efluentes. Esses ensaios são fundamentais, uma vez que as análises físico-químicas, embora comuns e estabelecidas pelas regulamentações ambientais, nem sempre conseguem distinguir substâncias que podem afetar sistemas biológicos das que são inertes no ambiente (COSTA et al., 2008).

A aplicação de ensaios de fitotoxicidade para avaliar os riscos e impactos causados por efluentes domésticos no ambiente é limitada, destacando a necessidade de bioindicadores para melhor avaliação de seus potenciais riscos. Nesse sentido, a Ecotoxicologia emerge como uma ferramenta crucial para prever ou detectar os efeitos de substâncias tóxicas em organismos e na saúde humana, visando proteger os ecossistemas aquáticos e garantir o bem-estar social derivado desse recurso vital para a vida.

Os ensaios ecotoxicológicos são fundamentais para caracterizar essas complexas matrizes, permitindo classificar amostras conforme seu nível de toxicidade para organismos-teste. Contudo, essas avaliações frequentemente requerem o uso de organismos que são difíceis de cultivar em laboratório e/ou têm um custo elevado.

Entre os bioensaios disponíveis, os testes de fitotoxicidade com sementes de alface (*Lactuca sativa*) se destacam devido à sua implementação fácil, rapidez, confiabilidade, custo-benefício e à dispensa de equipamentos volumosos (PARK et al., 2016; LYU et al., 2018). As sementes de alface são amplamente utilizadas como bioindicadores em estudos que avaliam os efeitos ecológicos de substâncias tóxicas, sendo uma das espécies vegetais mais recomendadas e utilizadas para esse fim (ISO, 1995; USEPA, 1996; OCDE, 2006).

As plantas são organismos eucariontes, fotossintetizantes e de metabolismo complexo. Durante a germinação, as sementes passam por intensas mudanças fisiológicas, tornando-se particularmente sensíveis a estresses ambientais, especialmente nos estágios iniciais de desenvolvimento, o que justifica seu uso em testes de fitotoxicidade (GUERRA, 2009).

Os parâmetros comuns de fitotoxicidade incluem germinação e emergência lenta das plântulas, baixo percentual de emergência, hipocótilos com engrossamento, encurtamento e rigidez, além de fissuras longitudinais, principalmente em sementes profundas (> 4 cm), e atrofia do sistema radicular com escasso desenvolvimento de raízes secundárias. Outros fatores como compactação do solo, acidez (alumínio) e presença de adubos podem causar sintomas similares, além do retardo no desenvolvimento vegetativo da parte aérea, associado ao encurtamento dos entrenós (NETO; BARROS, 2001).

Efluentes domésticos e industriais, independentemente de serem tratados ou não, são frequentemente descartados em corpos d'água próximos a áreas urbanizadas, onde os poluentes presentes podem provocar alterações físicas, químicas ou biológicas na qualidade da água. Efluentes industriais podem conter altas concentrações de matéria orgânica, nutrientes, metais, agrotóxicos e uma diversidade de poluentes orgânicos.

Nesse sentido, a avaliação da fitotoxicidade utilizando sementes se destaca como uma ferramenta promissora para complementar a caracterização de águas residuais, tanto tratadas quanto não tratadas, antes de seu descarte em corpos d'água. Além disso, é útil no monitoramento da qualidade da água em mananciais destinados ao abastecimento público, alinhando-se ao princípio das múltiplas barreiras sanitárias.

O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão bibliográfica focada em bioensaios que utilizam testes de fitotoxicidade com a espécie *Lactuca sativa*. O estudo visou avaliar como diferentes concentrações de água e efluentes podem afetar o crescimento e o metabolismo dos organismos expostos, em condições controladas de laboratório.

## MÉTODO

Realizou-se uma revisão bibliográfica utilizando o método de pesquisa qualitativa de natureza básica e objetivos exploratórios. O objetivo foi conhecer, identificar e analisar de maneira sistemática a literatura disponível. Foram consultadas diversas bases de dados eletrônicas, selecionando livros, monografias, dissertações, teses e artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, utilizando as palavras-chave: Fitotoxicidade; *Lactuca sativa*; água; efluente. A busca abrangeu o período de 1995 a 2022.

Após a seleção dos estudos, realizou-se uma leitura detalhada de cada um deles, seguida de uma categorização que será apresentada em forma de tabela posteriormente. Os resultados foram avaliados criticamente e interpretados à luz do tema em questão, sendo discutidos em comparação com outros estudos relevantes sobre o assunto, culminando na síntese desta revisão bibliográfica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Lactuca sativa* e sua utilização em bioensaios

Diversas espécies de plantas são utilizadas em estudos de fitotoxicidade, sendo a alface uma das mais frequentemente testadas em bioensaios devido à sua alta sensibilidade (HOAGLAND; WILLIAMS, 2004; SILVA et al., 2016; VIANA et al., 2017). Muitas moléculas químicas produzidas pela alface podem influenciar o metabolismo de outras plantas de maneira semelhante aos herbicidas (BITENCOURT et al., 2007). Pesquisas fitológicas têm identificado substâncias que funcionam como bons agentes inibitórios (BITENCOURT et al., 2007; DIN et al., 2017).

A espécie *Lactuca sativa* (Figura 1), conhecida popularmente como alface, é um vegetal comum encontrado em mercados, hortas e restaurantes ao redor do mundo. A alface é uma das plantas que mais demanda água. Comparada a outros vegetais como cenoura, espinafre, rabanete e pepino, a alface requer um cultivo especialmente hidratado. Cada pé de alface precisa de uma quantidade significativa de água para seu crescimento, devido à sua origem cosmopolita nos trópicos. Com o consumo elevado de alface em diversos países, independentemente do nível de renda, a demanda por essa cultura intensiva em água é substancial. Portanto, mudar os hábitos de consumo de alface poderia contribuir para a economia de água nos ecossistemas.

A saúde das plantas está diretamente ligada à qualidade da água que recebem. Água contaminada por resíduos humanos ou industriais pode causar danos significativos às plantas, afetando tanto a fauna quanto a flora local. No entanto, existem métodos para avaliar a qualidade da água e determinar seu impacto sobre as plantas. Se a qualidade da água for

inadequada, algumas plantas podem apresentar dificuldades no crescimento, enquanto outras podem proliferar de maneira excessiva, competindo com outras espécies na área circundante.

**Figura 1** – *Lactuca sativa*. A) Sementes de alface. B) Planta com folhas e raízes bem desenvolvidas, sem alterações morfológicas.



Fonte: Wiki Farmer (2019)

A contaminação da água por substâncias nocivas é uma preocupação significativa, especialmente no que se refere à água consumida diariamente, a fim de prevenir a exposição a toxinas perigosas. Quando água contaminada entra no ecossistema, pode causar danos à saúde humana, animal e vegetal. Existem várias medidas que podem ser adotadas para proteger esse recurso essencial, especialmente no reúso da água (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Um método eficaz de proteção da água é realizar testes para detectar contaminantes precocemente. A detecção de substâncias na água permite que os serviços públicos identifiquem vazamentos e fontes de poluição, além de avaliar a eficácia dos processos de tratamento. A contaminação química da água, proveniente de fontes como resíduos industriais, esgoto, fertilizantes e pesticidas agrícolas, pode ter impactos adversos na saúde humana, na vida animal e na vegetação em geral (SANTOS, 2010).

Os testes de toxicidade são desenvolvidos para avaliar e prever os efeitos de substâncias tóxicas nos sistemas biológicos, sendo fundamentais para determinar a toxicidade relativa dessas substâncias no ambiente (BAROSA, 2003). Eles são amplamente utilizados devido à sua praticidade e confiabilidade. O estudo da toxicidade desempenha um papel fundamental ao fornecer informações sobre a qualidade ambiental e permitir a avaliação das concentrações letais de produtos químicos (BOTELHO, 2010).

Os testes de toxicidade são desenvolvidos para avaliar e prever os efeitos de substâncias tóxicas nos sistemas biológicos, sendo fundamentais para determinar a toxicidade relativa dessas substâncias no ambiente (BAROSA, 2003). Esses testes são amplamente utilizados devido à sua praticidade e confiabilidade. O estudo da toxicidade desempenha um papel crucial ao fornecer informações sobre a qualidade ambiental e permitir a avaliação das concentrações letais de produtos químicos (BOTELHO, 2010).

Segundo Sanches (2010), os organismos-teste devem atender a critérios específicos para sua seleção:

- Representação significativa dentro dos ecossistemas, com importância ecológica ou econômica devido à sua abundância, valor econômico ou papel na cadeia alimentar;
- Distribuição global da espécie;
- Ciclo de vida curto, facilitando a realização dos testes dentro de um período razoável;
- Conhecimento detalhado da biologia, fisiologia e hábitos alimentares do organismo;
- Estabilidade genética e uniformidade das populações utilizadas nos testes;
- Baixa sazonalidade nos padrões de resposta;
- Reprodutibilidade dos resultados, garantindo consistência nos experimentos com margens de erro aceitáveis;
- Sensibilidade constante e precisa do organismo aos contaminantes, refletindo as concentrações encontradas no ambiente natural;
- Capacidade comprovada de cultivo e manutenção em ambiente laboratorial.

Dessa forma, os bioensaios utilizando sementes de alface têm sido amplamente empregados na avaliação da toxicidade em diversos sistemas, conforme a Tabela 1.

O estudo conduzido por Rodrigues et al. (2012) teve como objetivo investigar a variação espacial e temporal da fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento do córrego Pântano, localizado na região noroeste de Alfenas, MG. Durante os anos de 2010 a 2011, foram analisadas características de germinação e crescimento inicial da espécie *Lactuca sativa*. Foram coletadas amostras de água e sedimento em cinco pontos distintos ao longo do córrego, e os ensaios foram realizados tanto com as amostras de água quanto com extratos aquosos dos sedimentos.

Os parâmetros avaliados incluíram taxa de germinação, comprimento das raízes, biomassa fresca e seca, índice mitótico e frequência de anormalidades cromossômicas. Os resultados indicaram maiores concentrações de Cd e Pb nas amostras de água durante os meses com precipitação pluviométrica elevada.

Além disso, tanto as amostras de água quanto de sedimento mostraram efeitos fitotóxicos na germinação e biomassa fresca e seca de *Lactuca sativa*. O comprimento das raízes foi estimulado, enquanto apenas as amostras de água reduziram o índice mitótico. Houve também uma variação temporal significativa nos testes de fitotoxicidade, correlacionada com o regime pluviométrico.

Os resultados do estudo realizado por Sanches (2010) demonstraram que os efluentes apresentam efeitos tóxicos tanto agudos quanto crônicos, afetando a sobrevivência e reprodução dos organismos. Em relação aos ensaios genotóxicos, os efluentes não inibiram a germinação das sementes nem o crescimento das radículas, sendo que muitos ensaios mostraram germinação e crescimento mesmo em amostras sem diluição.

Mesmo com indústrias que possuem políticas ambientais adequadas em suas instalações, o descarte de efluentes não tratados ainda persiste como uma prática comum. Esse é um problema relevante devido à presença de contaminantes tóxicos como metais pesados, surfactantes, solventes e outros compostos que possuem características físicas, químicas e toxicológicas complexas, dificultando sua degradação pelos métodos convencionais de tratamento.

**Tabela 1** – Aplicações do bioensaio com sementes de alface, *Lactuca sativa*, a partir dos estudos selecionados.

Aplicação/Bioensaio com <i>Lactuca sativa</i>	Referências
Análise da toxicidade de resíduos de efluentes químicos	SANCHES (2010)
Análise da toxicidade de distintos tipos de efluentes	CUNHA (2011)
Análise da toxicidade de amostras de água e sedimento de córrego urbano	RODRIGUES et al. (2012)
Análise da toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial	PALÁCIO et al. (2012)
Análise da toxicidade de cobre, peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) e óxido nítrico (NO)	MORAES et al. (2015)
Análise da toxicidade do processo oxidativo avançado (POA) de águas residuárias da indústria de papel e celulose	GIROLETTI (2017)
Análise da fitotoxicidade em sementes de alface na codigestão anaeróbia de lixiviado de aterro industrial e glicerina	RECIO et al. (2019)
Análise da toxicidade de efluente têxtil submetido ao processo Foto-Fenton heterogêneo	DALARI et al. (2020)
Análise da toxicidade, tratamento e a refuncionalização do solo contaminado por lixiviado do aterro sanitário urbano	MATIAS e MOTTA (2020)
Análise da toxicidade de efluentes de esgoto doméstico	MELO et al. (2021)
Análise da toxicidade de efluente sanitário urbano	ALMEIDA et al. (2022)

Fonte: Próprio autor

Além dos impactos ambientais, a liberação de efluentes sem tratamento adequado pode acarretar sérios problemas à saúde humana. Muitas substâncias presentes nesses efluentes têm potencial mutagênico e carcinogênico, podendo bioacumular nos organismos e afetar a cadeia alimentar, contaminando tanto a vida aquática quanto os seres humanos através da ingestão de alimentos contaminados (SANCHES, 2010).

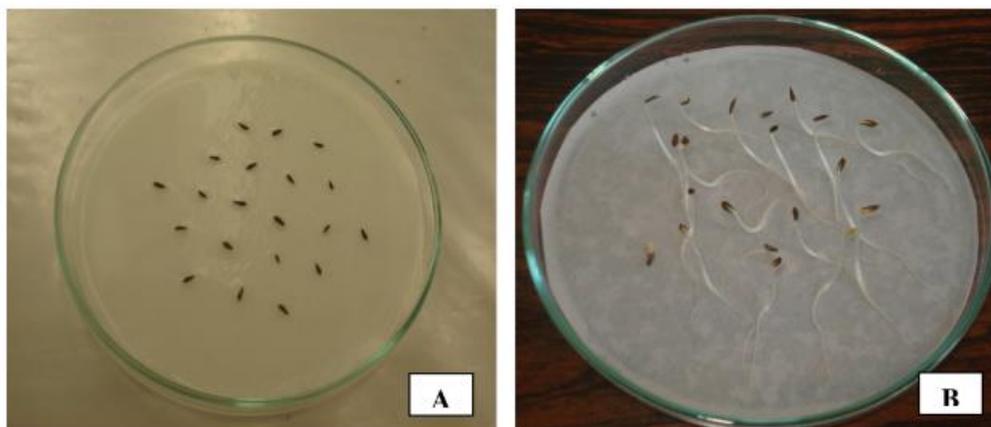
Um dos grandes desafios no saneamento está relacionado ao tratamento inadequado do esgoto sanitário, especialmente em muitos municípios brasileiros onde a coleta e o tratamento eficiente desses efluentes são inexistentes. Esta realidade é ainda mais preocupante em áreas rurais e municípios menores, onde recursos financeiros e infraestrutura operacional são limitados para uma gestão integrada e sustentável dos efluentes. A existência de sistemas de

esgotamento sanitário eficientes e sustentáveis é essencial para o desenvolvimento comunitário em diversos aspectos (TRONCA, 2018).

A contaminação agrícola ocorre quando substâncias nocivas se infiltram na água provenientes do solo, das plantas e dos animais que a habitam. Por sua vez, a contaminação industrial resulta da liberação de substâncias tóxicas durante processos industriais, afetando tanto águas superficiais quanto subterrâneas. A drenagem inadequada também contribui significativamente para a contaminação das fontes de água subterrânea, sendo um problema frequente especialmente em países em desenvolvimento (SANTOS, 2010).

No estudo conduzido por Sanches (2010), diversas espécies foram utilizadas para avaliar a qualidade da água de reuso, com foco na germinação e no crescimento da *Lactuca sativa*. Cada placa de Petri contendo papel filtro recebeu 20 sementes, sendo as placas envolvidas em papel alumínio e armazenadas em caixas térmicas a 25°C por 72 horas, mantidas no escuro (Figura 2). Para análise, as raízes de alface foram medidas utilizando papel milimetrado e pinças, garantindo cuidado para não danificar as raízes durante o processo.

**Figura 2** – Vista das sementes no início do ensaio utilizando *Lactuca sativa* (A); Término do ensaio (B).



Fonte: Sanches (2010)

Após um período de 72 horas de exposição das sementes de *Lactuca sativa* a concentrações de 25%, 50%, 75% e 100% das amostras de efluente coletadas no Laboratório de Química de Produtos Naturais da Universidade Federal de São Carlos-SP, foram conduzidos os ensaios de genotoxicidade. Durante o experimento, foi mensurado o comprimento das radículas de cada semente em todos os tratamentos. Os dados referentes à germinação e ao crescimento das radículas de *L. sativa* expostas às amostras de efluente coletadas nos dias 07.08.2007, 14.08.2007 e 05.09.2007, realizados no Laboratório de Química de Produtos Naturais, bem como no grupo controle, são apresentados na Tabela 2, demonstrando os valores médios e a porcentagem de inibição do crescimento das radículas em relação ao controle.

**Tabela 2** – Valores médios de comprimento das radículas de alface resultantes de 5 repetições em ensaios de genotoxicidade com exposição das sementes a diferentes diluições dos efluentes coletados.

		Controle		25%		50%		75%		100%	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
07.08.2007	Réplica										
	Média (cm)	2,05	1,86	1,91	1,86	2,69	1,81	1,79	2,48	1,85	2,19
	D.P.	0,50	0,79	0,69	0,63	1,00	0,69	0,64	0,58	0,88	0,50
	C.V.	24,44	42,57	36,43	34,07	37,35	38,32	35,86	23,45	47,43	22,95
	Porcentagem de inibição do crescimento em relação ao controle	---	---	2,42	4,73	0	7,29	8,57	0	5,5	0
14.08.2007	Média (cm)	1,84	1,83	1,70	1,81	1,88	1,56	1,57	1,65	1,42	1,52
	D.P.	0,51	0,43	0,45	0,28	0,49	0,80	0,68	0,45	0,87	0,65
	C.V.	27,86	23,46	15,62	25,81	51,34	51,34	43,65	27,29	61,42	42,79
	Porcentagem de inibição do crescimento em relação ao controle	---	---	7,5	1,5	0	15,14	14,59	10,23	22,51	17,32
05.09.2007	Média (cm)	1,58	1,84	1,95	1,96	1,99	1,81	1,59	1,89	1,92	1,72
	D.P.	0,80	0,70	0,34	0,57	0,57	0,68	0,79	0,57	0,58	0,79
	C.V.	50,78	38,04	17,49	29,07	28,74	37,51	49,89	30,43	30,41	45,85
	Porcentagem de inibição do crescimento em relação ao controle	---	---	0	0	0	0	7	0	0	0

Fonte: Sanches (2010)

No contexto dos testes com *Lactuca sativa*, o efluente coletado em 07.08.2007 resultou em um maior crescimento das radículas nas diluições mais elevadas, de 50%, 75% e 100%, onde o comprimento médio das radículas foi superior ao controle. Especificamente, a diluição de 50% apresentou o maior comprimento médio das radículas, medindo 2,96 cm em comparação aos 2,05 cm do controle, enquanto a diluição de 25% mostrou o menor valor, 1,86 cm. Na coleta de 14.08.2007, observou-se que o efluente afetou o crescimento das radículas de *L. sativa* de maneira inversamente proporcional à diluição: a exposição ao efluente integral resultou no menor comprimento médio das radículas, 1,52 cm, enquanto nas diluições de 25% e 50%, as médias aumentaram, atingindo o maior valor na diluição de 50%, 1,88 cm, comparado a 1,84 cm no controle. Esses resultados indicam que a germinação das sementes de *L. sativa* é estimulada quando expostas a uma diluição de 50% do efluente.

Na coleta de 05.09.2007, o comprimento médio das radículas na diluição de 50% também foi o maior, alcançando 1,99 cm, comparado aos demais tratamentos, sendo o controle o menor, com 1,84 cm. Nesta coleta, verificou-se que a germinação e o comprimento das radículas não foram afetados negativamente em amostras menos diluídas do efluente; pelo contrário, observou-se um aumento em comparação às diluições de 75% e 100% (Tabela 3).

Das coletas realizadas no Laboratório de Química de Produtos Naturais, o efluente coletado em 14.08.2007 mostrou efeito tóxico significativo sobre *Lactuca sativa*, resultando em um decréscimo no comprimento das radículas nas diluições de 75% e 100% ao longo do ensaio. As outras coletas não apresentaram toxicidade para a alface, visto que ambas mostraram germinação e crescimento das radículas nas amostras de efluente integral (100%) superiores ao controle, sugerindo que os efluentes possam conter elementos que atuam como nutrientes para os organismos-teste. Os valores médios dos comprimentos das radículas de *L. sativa* expostas ao efluente coletado em 19.09.2007 indicaram um decréscimo à medida que a diluição diminui (SANCHES, 2010).

**Tabela 3** – Comprimento (cm), média das 5 réplicas em cada coleta do Laboratório de Síntese de Produtos Naturais da UFSC e porcentagem de crescimento em relação ao controle das radículas de *Lactuca sativa*.

		Controle		25%		50%		75%		100%	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
19.09.2007	Réplica										
	Média (cm)	1,21	1,86	1,27	1,31	1,17	1,18	1,23	1,13	1,16	1,00
	D.P.	0,26	0,44	0,50	0,40	0,37	0,43	0,54	0,43	0,36	0,63
	C.V.	21,77	23,75	39,42	30,52	31,87	36,30	44,47	38,03	30,69	63,69
	Porcentagem de inibição do crescimento em relação ao controle	---	---	17,26	14,66	23,78	23,45	20,2	26,71	24,42	34,18
02.10.2007	Média (cm)	1,42	1,54	1,43	1,16	1,31	1,16	1,14	1,26	1,33	1,34
	D.P.	0,51	0,41	0,53	0,61	0,48	0,55	0,59	0,37	0,28	0,37
	C.V.	36,17	26,68	37,54	52,88	36,83	47,50	52,18	29,52	21,47	27,96
	Porcentagem de inibição do crescimento em relação ao controle	---	---	3,71	21,62	11,82	21,62	23,31	14,86	10,47	9,46
04.10.2007	Média (cm)	1,82	1,81	0,30	0,08	0,19	0,21	0,00	0,17	0,08	0,10
	D.P.	0,19	0,22	0,67	0,36	0,61	0,50	0,00	0,52	0,34	0,45
	C.V.	10,49	12,25	226,32	447,21	328,22	244,91	0,00	315,39	447,21	447,21
	Porcentagem de inibição do crescimento em relação ao controle	---	---	83,7	95,6	90	88,6	100	90,9	95,9	94,5

Fonte: Sanches (2010)

No primeiro experimento, o maior crescimento das radículas foi observado no grupo controle, com uma média de 1,86 cm, enquanto o menor crescimento foi registrado na amostra não diluída (100%), com 1,16 cm. Este padrão pode ser claramente observado na porcentagem de inibição do crescimento das radículas em relação ao controle, que foi de 34,18%, a maior entre todas as diluições. Na segunda coleta, houve um aumento no comprimento das radículas expostas às diluições de 75% e ao efluente bruto (sem diluição), embora os valores não tenham superado os do controle.

Entretanto, no caso do efluente coletado em 04.09.2007, as sementes foram afetadas, mostrando uma inibição do crescimento de aproximadamente 32% na diluição de 75% em comparação ao controle, enquanto essa inibição foi menor no efluente integral (não diluído), cerca de 14%. Na terceira coleta (Tabela 4), observou-se um efeito dose-resposta, onde o comprimento médio das radículas diminuiu à medida que as concentrações do efluente aumentaram (SANCHES, 2010).

**Tabela 4** – Comprimento (cm), média das 5 réplicas em cada coleta do Laboratório de Síntese Orgânica e CLAE da UFSC, e porcentagem de crescimento em relação ao controle das radículas de *Lactuca sativa*.

		Controle		25%		50%		75%		100%	
21.08.2007	Réplica	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	Média (cm)	1,63	1,83	1,82	1,91	1,53	1,67	1,73	1,56	1,62	1,68
	D.P.	0,43	0,48	0,27	0,17	0,46	0,38	0,71	0,67	0,56	0,31
	C.V.	26,26	26,18	15,08	8,64	29,93	22,75	41,29	42,95	34,64	18,48
	Porcentagem de inibição do crescimento em relação ao controle	---	---	0	0	11,72	3,61	0,14	9,7	6,51	2,74
04.09.2007	Média (cm)	2,14	1,99	1,52	1,82	1,83	1,85	1,91	1,41	1,78	1,96
	D.P.	0,34	0,60	0,87	0,26	0,77	0,47	0,24	0,83	0,68	0,62
	C.V.	15,86	30,01	57,10	14,10	42,26	25,63	12,47	58,93	38,16	31,47
	Porcentagem de inibição do crescimento em relação ao controle	---	---	26,39	11,86	11,38	10,65	7,5	31,71	14,04	5,08
	23.09.2007	Média (cm)	2,18	2,15	1,88	1,75	1,69	1,72	1,38	1,40	1,39
D.P.		0,71	0,91	0,60	0,54	0,49	0,35	0,50	0,46	0,39	0,30
C.V.		32,68	42,43	31,71	31,08	28,85	20,13	36,24	32,93	28,00	19,53
Porcentagem de inibição do crescimento em relação ao controle		---	---	13,06	19,3	21,84	20,69	36,41	35,49	35,72	28,55

Fonte: Sanches (2010)

### Ensaios de fitotoxicidade com amostras de efluentes

A coleta de amostras é crucial para a análise química e ecotoxicológica de efluentes, permitindo a avaliação precisa de suas características. Para garantir representatividade, especialmente diante das variações nas operações internas e nas matérias-primas dos processos, recomenda-se a utilização de amostragem composta. Este método proporciona uma média dos efeitos tóxicos observados, sendo particularmente adequado para efluentes brutos ou tratados com processos físico-químicos de curto tempo de retenção (BERTOLETTI, 2013).

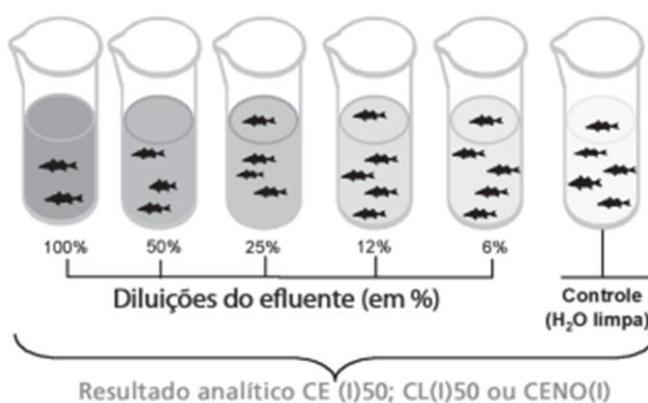
É essencial seguir as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 15469, 2007a) para a preservação das amostras de efluente. Segundo estas normas, as amostras devem ser refrigeradas até 12 horas após a coleta ou mantidas a temperaturas abaixo de 10°C por até 48 horas. Alternativamente, podem ser congeladas a temperaturas abaixo de -10°C por até 60 dias. Para preservar as características originais da amostra, a refrigeração é geralmente preferível ao congelamento, especialmente quando os efeitos do congelamento não são bem compreendidos (USEPA, 2002a, 2002b).

Todos os métodos de ensaio seguem um protocolo semelhante, onde os organismos-teste são expostos a diferentes diluições do efluente líquido por um período determinado (Figura 3). Após a exposição, é registrado o efeito tóxico em cada diluição, e então calculados os resultados do ensaio ecotoxicológico utilizando os seguintes parâmetros:

- CE(I)<sub>50</sub>: Concentração efetiva que causa resposta em 50% dos organismos testados.
- CL(I)<sub>50</sub>: Concentração letal que causa a morte de 50% dos organismos em um tempo determinado, seja no ar ou na água.
- CENO(I): Controle que não demonstra efeitos crônicos observáveis na população testada.

Esses parâmetros são essenciais para estimar o potencial de efeito tóxico do efluente avaliado (BERTOLETTI, 2013).

**Figura 3** – Esquema de um ensaio ecotoxicológico com efluente.



Fonte: Bertoletti (2013)

Conforme destacado por Bertoletti (2013), é crucial realizar cálculos para quantificar aspectos fundamentais do ensaio, como a diluição do efluente no corpo receptor, percentual de germinação relativa para cada diluição, e percentuais de inibição do crescimento das raízes e radículas, conforme apresentado a seguir:

- a) Cálculo da diluição do efluente no corpo receptor (D.E.R.), expressa em %, como segue:

$$D.E.R = \frac{\text{vazão média do efluente}}{\text{vazão média do efluente} + \text{vazão mínima do corpo receptor (em Q7,10)}} \times 100$$

- b) Comparação do resultado da D.E.R. com os resultados dos ensaios ecotoxicológicos, segundo a Resolução SMA-03/2000, como segue:

$$D.E.R. (em \%) \leq \frac{CE(I)50; 48h \text{ ou } CL(I)50; 96h}{100}$$

ou

$$D.E.R. (em \%) \leq \frac{CENO(I); 7 \text{ dias}}{10}$$

Onde 10 e 100 = fatores utilizados para garantir a ausência de efeitos tóxicos crônicos, a representatividade de vários níveis tróficos e as variações temporais da ecotoxicidade.

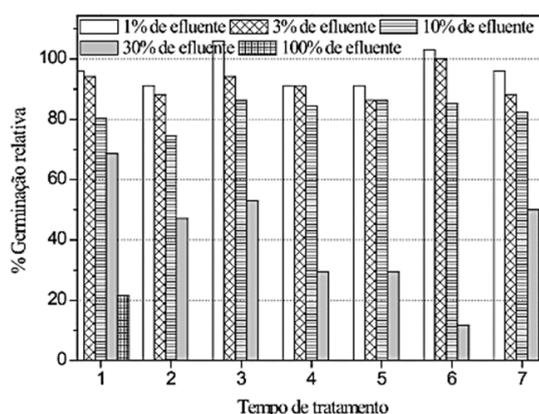
- CE(I)<sub>50</sub>; 48h = concentração do efluente que causa efeito agudo (imobilidade) a 50% de uma população, em 48 horas de exposição, expressa em %. O método analítico para obtenção desse resultado deve ser a norma técnica ABNT-NBR 12713 (ABNT, 2016).
- CL(I)<sub>50</sub>; 96h = concentração do efluente que causa efeito agudo (letalidade) a 50% de uma população, em 96 horas de exposição, expressa em %. O método analítico para obtenção desse resultado deve ser a norma técnica ABNT NBR 15088 (ABNT, 2022).
- CENO(I); 7 dias = concentração do efluente que não causa efeito crônico observável a uma população, em 7 dias de exposição, expressa em %. O método analítico para obtenção desse resultado analítico deve ser a norma técnica ABNT NBR 13373 (ABNT, 2022). Alternativamente, pode ser utilizado o método analítico com peixes ou com algas segundo ABNT NBR 15499 (ABNT, 2022) ou ABNT NBR 12648 (ABNT, 2018), respectivamente.

No estudo conduzido por Palácio et al. (2012) para avaliar a toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial, foi empregada a espécie *Lactuca sativa*. Os testes de fitotoxicidade seguiram a metodologia descrita por Sobrero e Ronco (2004). Utilizaram-se sementes desta espécie, com um percentual de germinação de 98% fornecido pelo fabricante. As amostras (efluente bruto e tratado) foram diluídas utilizando água dura reconstituída, em concentrações de 1%, 3%, 10%, 30% e 100% de efluente. Água dura foi utilizada como controle negativo.

Placas de Petri de 9 cm de diâmetro foram preparadas com papel de filtro qualitativo do tamanho apropriado, nas quais foram distribuídas 20 sementes de alface de forma espaçada, umedecidas com as diluições previamente preparadas, em triplicata. As placas foram colocadas em sacos plásticos para evitar a perda de umidade e incubadas em condições de temperatura de  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , no escuro, por um período de 120 horas. Após a incubação, foram contabilizadas as sementes germinadas e medidos os comprimentos das raízes e radículas.

*Lactuca sativa* demonstrou capacidade de se estabelecer em meio potencialmente tóxico e desenvolver-se parcialmente, exibindo efeitos tanto letais (inibição da germinação) quanto subletais (inibição do desenvolvimento das raízes e radículas), conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5. Os resultados de germinação relativa das sementes de alface são apresentados na Figura 4, evidenciando os efeitos das diferentes diluições da amostra e do tempo de irradiação.

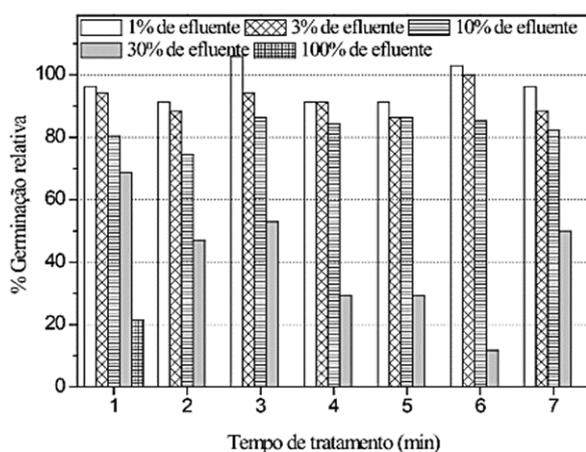
**Figura 4** – Germinação relativa ao controle negativo em função do tempo de irradiação do ET, onde (1) efluente bruto; (2) 5 min.; (3) 10 min.; (4) 15 min.; (5) 45 min.; (6) 60 min. e (7) 90min.



Fonte: Palácio et al. (2012)

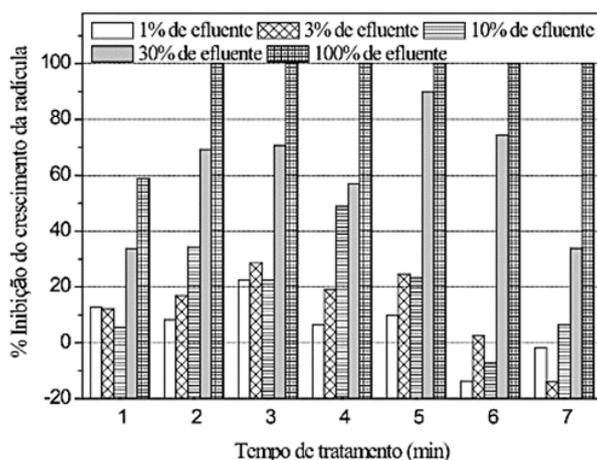
O índice de germinação foi mais alto nas amostras mais diluídas, devido à redução na concentração de substâncias tóxicas à medida que a diluição aumentava. Nas amostras com 100% de efluente, não ocorreu germinação, independentemente do tempo de irradiação, com exceção da amostra de efluente bruto, onde o índice de germinação foi de 20%, indicando que o processo FFA de tratamento do efluente têxtil gerou intermediários responsáveis pelo aumento da toxicidade. Assim, as amostras não diluídas apresentaram efeitos letais acentuados. Nas amostras onde ocorreu a germinação, foram calculados os percentuais de inibição do crescimento das raízes e radículas das plântulas de alface (Figuras 5 e 6).

**Figura 5** – Inibição do crescimento da raiz relativo ao controle negativo, em função do tempo de irradiação do ET, onde (1) efluente bruto; (2) 5 min.; (3) 10 min.; (4) 15 min.; (5) 45 min.; (6) 60 min. e (7) 90min.



Fonte: Palácio et al. (2012)

**Figura 6** – Inibição do crescimento da radícula relativo ao controle negativo, em função do tempo de irradiação do ET, onde (1) efluente bruto; (2) 5 min.; (3) 10 min.; (4) 15 min.; (5) 45 min.; (6) 60 min. e (7) 90min.



Fonte: Palácio et al. (2012)

As plântulas de alface apresentaram menor inibição no crescimento das raízes e radículas nas amostras mais diluídas, devido à menor concentração de substâncias tóxicas. Os valores de  $DL_{50}$  calculados para a espécie *Lactuca sativa* exposta ao efluente têxtil são

apresentados no Quadro 1. Observou-se que não houve redução na letalidade dos organismos expostos ao efluente têxtil ao longo do tratamento pelo processo FFA. Após 90 minutos de irradiação, foi constatada alta toxicidade do efluente têxtil tratado em comparação ao efluente bruto (tempo zero).

**Quadro 1** – Valores de DL<sub>50</sub> para alíquotas de ET submetido ao processo FFA, utilizando a espécie *Lactuca sativa*.

Tempo de irradiação (min.)	DL <sub>50</sub> (%)	Intervalo de Confiança (95%)
0	34	20 – 60
5	16	14 – 32
10	24	17 – 34
15	20	14 – 28
45	21	15 – 29
60	17	14 – 22
90	23	15 – 34

Fonte: Palácio et al. (2012)

Os parâmetros físico-químicos como DQO, cor e turbidez mostraram reduções significativas durante o processo de tratamento do efluente têxtil. Após 45 minutos de irradiação, observou-se reduções de 94%, 99% e 97% para DQO, cor e turbidez, respectivamente, em relação ao efluente têxtil bruto. Ao comparar esses resultados com a DL<sub>50</sub>, verificou-se que mesmo com a considerável redução desses parâmetros, o efluente têxtil ainda apresentou alta toxicidade em todos os tempos de tratamento. A significativa diminuição na DQO indica uma redução substancial da matéria orgânica degradável, porém a persistente toxicidade sugere a presença de compostos refratários ao tratamento, não detectados pela DQO.

Os estudos demonstraram que a *Lactuca sativa* apresentou menor sensibilidade ao efluente tratado, com valores de DL<sub>50</sub> variando entre 16% e 34%, sendo maior no efluente bruto em comparação aos tratados.

Por outro lado, Dalari et al. (2020) investigaram a toxicidade do efluente têxtil tratado pelo processo foto-Fenton com irradiação artificial, utilizando *Lactuca sativa* e o microcrustáceo *Artemia salina* como organismos-teste. Durante os testes, foram coletadas amostras nos tempos de tratamento de 0, 5, 10, 15, 45, 60 e 90 minutos para análise de toxicidade, DQO, cor e turbidez.

Os resultados indicaram que a DQO, cor e turbidez foram reduzidas em mais de 90% nos primeiros 45 minutos de irradiação pelo processo foto-Fenton artificial. Apesar dessa redução, o índice de germinação das sementes de alface ficou abaixo de 80%, indicando que o efluente ainda apresentava toxicidade residual. Esse valor é considerado o mínimo aceitável para evitar impactos negativos sobre a germinação, conforme descrito por Young (2012).

Comparativamente, o comprimento médio do hipocótilo das plantas controle foi de 19,5 mm com desvio padrão de 0,09, enquanto estudos anteriores de Giroletti (2017) relataram uma média de 29,3 mm com desvio padrão de 0,3 para o controle, avaliando a toxicidade em efluentes de indústria de papel e celulose pós-tratamento UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

No efluente bruto (E2), Dalari et al. (2020) observaram média de 10,34 mm e desvio padrão de 0,30 para o comprimento do hipocótilo, indicando uma notável inibição causada pelas maiores concentrações de  $H_2O_2$  aplicadas durante o tratamento, possivelmente relacionada à formação de subprodutos tóxicos não identificados que interferiram no desenvolvimento das plantas.

A média do comprimento da radícula das plantas controle foi de 28,8 mm com um desvio padrão de 0,03. Em estudo anterior, Moraes et al. (2015) relataram um comprimento médio de 21,1 mm nas radículas controle ao investigar os efeitos do  $H_2O_2$  sobre aspectos fisiológicos e inibitórios para a espécie *Lactuca sativa*. Não foram observadas alterações significativas no desenvolvimento das radículas quando expostas às diferentes amostras do efluente tratado. Portanto, a *Lactuca sativa* demonstrou capacidade de se estabelecer em ambientes potencialmente tóxicos e de se desenvolver parcialmente, mostrando efeitos letais (inibição da germinação) e subletais (inibição do crescimento das radículas).

O estudo conduzido por Almeida et al. (2022) avaliou os níveis de toxicidade de amostras de efluente bruto e tratado de aterro sanitário por meio de análises físico-químicas e ensaios de toxicidade utilizando sementes de alface (*Lactuca sativa*) como organismo-teste, focando nos efeitos sobre a germinação. Os testes seguiram diretrizes estabelecidas pelo EPA (1996) (Ecological Effects Test Guidelines: 850.4200). Foram preparadas misturas de lixiviado/efluente tratado em concentrações de 3,125%, 6,25%, 12,5%, 25%, 50% e 100%. As sementes foram expostas tanto às misturas brutas quanto às tratadas por sete dias, para avaliar a germinação e determinar as características morfológicas dos organismos.

Amostras de efluente da lagoa de maturação foram submetidas a testes de coagulação/floculação utilizando três tipos de coagulantes: policloreto de alumínio (PAC), Tanfloc SG e Moringa + KCl, nas dosagens de  $1250 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  e  $5000 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. Na avaliação da toxicidade, observou-se um alto percentual de inibição na germinação das sementes de alface nas amostras com concentrações de 100% (sem diluição), 50% e 25%, como também observado por Recio et al. (2019). Notavelmente, houve estímulo no crescimento das raízes à medida que a concentração do efluente foi reduzida. Foi observado que o avanço no tratamento por lagoas modificou os níveis de toxicidade, resultando em menor impacto nas sementes expostas às amostras coletadas no final do sistema de tratamento (lagoa de maturação).

Segundo Matias e Motta (2020), um dos principais fatores que contribuem para a inibição da germinação das sementes em contato com amostras de efluentes domésticos e industriais é a elevada concentração de sais, especialmente cloreto, que reduz a absorção de água. Essas substâncias têm potencial para interferir diretamente nas funções metabólicas das sementes, afetando o funcionamento das organelas celulares responsáveis pela osmorregulação.

Por outro lado, Melo et al. (2021) observaram que plântulas de *L. sativa* expostas a diferentes concentrações de efluente doméstico apresentaram índices de germinação inferiores a 80% em 16,6% das amostras, enquanto 64,9% das amostras mostraram índices de germinação superiores a 120%, indicando a presença de substâncias capazes de estimular a germinação das sementes de alface.

O estudo conduzido por Cunha (2011) teve como objetivo implementar e validar dois ensaios de toxicidade aguda para amostras de efluentes reais de diferentes tipos (doméstico, industrial, hospitalar, vinícola e lixiviado), utilizando dois organismos de diferentes níveis tróficos. A toxicidade das amostras foi avaliada pela taxa de mortalidade do microcrustáceo *Artemia salina* e pela taxa de germinação e crescimento das raízes das sementes de alface (*Lactuca sativa*).

Os resultados indicaram que o lixiviado apresentou alta toxicidade para ambos os organismos. As demais amostras da estação de tratamento piloto não mostraram toxicidade significativa em relação à *Artemia salina*, mas exibiram uma inibição modesta no crescimento das raízes em comparação com o controle de água destilada para a *Lactuca sativa*. Amostras de efluente vinícola e hospitalar demonstraram alta toxicidade em relação à *A. salina*, com mortalidade de 60% a 80% dos organismos expostos, e toxicidade menos pronunciada em relação às sementes de alface, indicando potencial toxicidade. Efluentes domésticos brutos e tratados por lagoas aeradas não mostraram toxicidade nos bioensaios realizados.

Portanto, conforme evidenciado na literatura, qualquer efeito tóxico nas plantas como *L. sativa* pode impactar diretamente a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, resultando na depleção de oxigênio e na diminuição da produtividade primária, entre outros efeitos (WANG; FREEMARK, 1995). Além de sua significativa representatividade na cadeia alimentar, os ensaios de fitotoxicidade utilizando *L. sativa* são selecionados devido às suas respostas robustas frente à toxicidade, associadas à simplicidade operacional, baixo custo e eficácia comparativa em relação a outros organismos.

## CONCLUSÃO

Durante todo o processo, verificou-se que em alguns estudos da literatura analisados, seus resultados não foram conclusivos a respeito da contaminação por água de reúso em espécie de *Lactuca sativa*, pois houve alterações, mas não foram acima do limite em relação ao crescimento das radículas. Por isso, é recomendado aprofundar a pesquisa, para obter resultados que determinem mudanças concretas à causa de agentes abióticos químicos ou fisiológicos. Já no segundo estudo abordado por Palácio et al. (2012), pode-se entender que este estudo foi específico para toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial, já que a espécie *Lactuca sativa* mostrou-se capaz de se estabelecer em meio potencialmente tóxico e a se desenvolver parcialmente, apresentando efeitos letais (inibição da germinação) e sub-letais (inibição do desenvolvimento das raízes e das radículas). Utilizando os conceitos dos cálculos dos valores de CL<sub>50</sub>, CE<sub>50</sub> ou CI<sub>50</sub>, a espécie *Lactuca sativa* apresentou menor sensibilidade, sendo possível determinar os valores de DL<sub>50</sub> que variou entre 16 a 34 %, sendo maior no efluente bruto que nos tratados.

O objetivo do estudo foi alcançado ao analisar os bioensaios sobre a qualidade da água por meio de testes com *Lactuca sativa*, porém não foi possível uma conclusão a respeito da observação dos níveis de possíveis contaminações causadas pela fitotoxicidade exposta na água, que alteram o crescimento e metabolismo do cultivo. Apenas foi possível demonstrar que mesmo em meio potencialmente tóxico, esta espécie não apresenta uma alteração notória a ponto de ser perceptível sua contaminação. O que indica que é possível a exposição de compostos tóxicos em cultivos que muitas vezes nem são examinados, ao menos que sejam estudados para serem comprovados, levando a contaminação de quem consome.

Neste contexto, é importante evidenciar que a utilização de ensaios de fitotoxicidade para determinar os riscos e efeitos ocasionados pelos efluentes domésticos no ambiente são escassos, sendo de interesse o uso e aplicação de bioindicadores para a avaliação dos seus riscos potenciais. Sendo assim, a Ecotoxicologia se mostra como uma importante ferramenta para prever ou detectar impactos de substâncias tóxicas aos organismos e à saúde humana, tendo em vista a proteção do ambiente aquático, bem como garantir o bem-estar social humano que provêm deste recurso essencial para manutenção da vida.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 15469. **Ecotoxicologia aquática: preservação e preparo de amostras**. Rio de Janeiro, 2007a. 7 p.
- ABNT. NBR 12713: 2016. **Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda — Método de ensaio com *Daphnia spp* (Crustacea, Cladocera)**. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT. NBR 15088: 2022. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com peixes (Cyprinidae)**. Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT. NBR 13373: 2022. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com *Ceriodaphnia spp* (Crustacea, Cladocera)**. Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT. NBR 15499: 2022. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica de curta duração - Método de ensaio com peixes**. Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT. NBR 12648: 2018. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com algas (Chlophyceae)**. Rio de Janeiro, 2018.
- ALMEIDA, I. G.; DORNELAS, K. C.; SCHNEIDER, R. M.; BONGIOVANI, M. C. Avaliação da toxicidade de efluente de aterro sanitário utilizando semente de alface *Lactuca sativa*. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.3, p.163-172, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.003.0013>.
- BAROSA, J., FERREIRA, A., FONSECA, B. e SOUZA, I. **Teste de toxicidade de cobre para *Artemia salina*** – Poluição e ecotoxicologia marinha, Nov. 2003.
- BERTOLETTI, E. **Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo** / Eduardo Bertoletti. São Paulo : CETESB, 2.ed. 2008.
- BITENCOURT, H. R.; SANTO, L.S.; SOUZA FILHO, A. P. S. Atividade alelopática de chalcona sintética, de seus precursores e de cetonas e aldeídos relacionados. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 747-753, 2007.
- BOTELHO, R. G.; INAFUKU, M. M.; MARANHO, L. A.; NETO, L. M.; DE OLINDA, R. A.; DIAS, C. T.; TORNISIELO, V. L. Toxicidade aguda e crônica do extrato de nim (*Azadirachta indica*) para *Ceriodaphnia dubia*. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, v.20, p.29-34, 2010.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento** 3. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde. 408 p., 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** - 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES. 212 p., 2017.

CHARLES, J. et al. Evaluation of the phytotoxicity of polycontaminated industrial effluents using the lettuce plant (*Lactuca sativa*) as a bioindicator. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, p. 2057-2064, 2011.

COSTA, C. R. et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820- 1830, 2008.

CUNHA, B. M. **Avaliação ecotoxicológica de distintos tipos de efluentes mediante ensaios de toxicidade aguda utilizando *Artemia salina* e *Lactuca sativa***. 2011, 79f. Trabalho de Conclusão de curso — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

DALARI, B. L.S.K.; GIROLETTI, C. L.; TOMASSONI, F.; De AMORIM, M. C. D'.A.; HASSEMER, M. E. N. Tratabilidade e estudo da toxicidade em efluentes da indústria têxtil tratados por processo foto-Fenton heterogêneo. **Revista DAE**, v. 68, n. 222, p. 06-19, 2020.

DIN, Z. U.; RODRIGUES-FILHO, E.; PEREIRA, V. C.; GUALTIERI, S. C. J.; DEFLON, V. M.; MAIA, P. I. S.; KUSNETSOV, A. E. Phytotoxicity, structural and computational analysis of 2-Methyl-1,5diarylpentadienones. **Journal of Molecular Structure**, v. 1142, p. 239-247, 2017. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022286017304702> . Acesso em: 16 dez. 2022.

GIROLETTI, C. L. **Processo oxidativo avançado UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aplicado como pós-tratamento de águas residuárias da indústria de papel e celulose**. 2017, 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.

GUERRA, R. C.

**Estudo do lodo gerado em reator biológico, pelo tratamento da água de produção do petróleo, no Terminal marítimo Almirante Barroso, município de São Sebastião, SP, visando sua disposição final**. 2009, 125f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas- Microbiologia aplicada) — Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Rio Claro, 2009.

HOAGLAND, R. E.; WILLIAMS, R. D. **Bioassay – useful tools for the study of allelopathy**. In: MACÍAS, F. A.; GALINDO, J. C. G.; MOLINILO, J. M. G.; CUTLER, p.315-351, 2004. Disponível em:  
[http://www.regional.org.au/au/allelopathy/2005/1/2/2647\\_maciasfa.htm](http://www.regional.org.au/au/allelopathy/2005/1/2/2647_maciasfa.htm). Acesso em: 10 dez.

ISO (1995) ISO 11269-2:2012 Soil quality — Determination of the effects of pollutants on soil flora — Part 2: Effects of contaminated soil on the emergence and early growth of higher plants.

LYU, J.; PARK, J.; KUMAR PANDEY, L. et al. Testing the toxicity of metals, phenol, effluents, and receiving waters by root elongation in *Lactuca sativa* L. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.149, p.225–232, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.006>.

MATIAS, G. A.; MOTTA, M. A. Tratamento e refuncionalização de solo contaminado por lixiviado de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.25, n.5, p.677-689, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020190108>.

MELO, N.M.M.; MORAES, C.M.; OLIVEIRA, D. C.; FREITAS, J.J.R.; DIAS, F.F.s.; OLIVEIRA, C.G.C.; BENCAHOUR, M.; BATISTA, Y. Toxicidade nas sementes de *Lactuca sativa* (alface) por amostras de efluentes de esgoto doméstico coletadas no Recife-PE com análise físico-química e microbiológica. **Conjecturas**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 483-514, 30 jun.2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde). Disponível em: [https://bvmsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia\\_controle\\_qualidade\\_agua.pdf](https://bvmsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf). Acesso em: 11 dez. 2022.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**, v. 36. n. 3, p. 370-374, 2002.

MORAES, R.M; BARBOSA, S.; FILHO, P.R.S.; CARVALHO, M.; NOGUEIRA, M.L. **Aspectos fisiológicos, metabólicos e alterações no ciclo celular de *Lactuca sativa* L. (asteraceae) em resposta ao cobre, peróxido de hidrogênio e óxido nítrico**. 2015, 94f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental) — Universidade Federal de Alfenas, Alfenas-MG, 2015.

NETO, F.; BARROS, J. **Caracterização dos problemas de fitotoxicidade de plântulas de soja devido ao tratamento de sementes com fungicida rhodiauram 500 SC, na safra 2000/01**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. XXp. (Circular Técnica / Embrapa Soja, ISSN 1516-7860; n.27). 1.Soja-Semente-Tratamento -Fungicida. I. Título. II. Série.

OECD. Test No. 208: **Terrestrial plant test: Seedling emergence and seedling growth test**. OECD, 2006.

PALÁCIO, S. M.; NOGUEIRA, D. A.; MANENTI, D. R.; MÓDENES, A. N.; QUIÑONES, F. R. E.; BORBA, F. H. Estudo da toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial utilizando as espécies *Lactuca sativa* e *Artemia salina*. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 127-134, 2012.

PARK, J. et al. The sensitivity of an hydroponic lettuce root elongation bioassay to metals, phenol, and wastewaters. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.126, p.147–153, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.013>

RECIO, L. V.; PEREIRA, N. R.; ARANTES, E. J.; GOMES, S. D.; CASTRO, T. M. Fitotoxicidade em sementes de alface na codigestão anaeróbia de lixiviado de aterro industrial e glicerina. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.2, n.3, p.982-989, 2019.

RODRIGUES, L. et al. Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.10, p.1099–1108, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/STvWwbV4LVYs343P3wCpNMR/?lang=pt>. Acesso em: 22 dez. 2022.

SANCHES, M. **Avaliação química e ecotoxicológica de efluentes químicos, visando seu reuso**. 2010, 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

SANTOS, V. **Água Contaminada**. Mundo Educação (2010). Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/Agua-contaminada.htm>

SILVA, T. et al. Fitotoxicidade do extrato de *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist no desempenho fisiológico de sementes e plântulas de alface. **Iheringia**, v. 71, n. 3, p. 213-221, 2016. Disponível em: <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/582/310>. Acesso em: 03 dez. 2022.

SOBRERO, M. S.; RONCO, A. **Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga**. In: Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de calidad de Aguas: Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Facultad de Ciencias Físicas e Matemáticas Ed. Chile, cap. 4, 2004.

TRONCA, I. F. et al. **A importância da gestão integrada de águas residuárias. Estudo de caso: municípios de pequeno porte do Rio Grande do Sul**. 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves – RS, Brasil, 12 de Abril de 2018.

USEPA. **Ecological effects test guidelines** (OPPTS850.4200): Seed Germination/root elongation toxicity test, 1996.

USEPA. **Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms.** 5 th ed. Washington, D.C., 2002a. 266 p. (EPA-821-R-02-012).

USEPA. **Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms.** 4 th ed. Washington, D.C., 2002b. 335 p. (EPA-82-R-02-013).

VIANA, L. O.; MARTINS, K. G.; SOUZA, K. V.; STROPARO, E. C. Fitotoxicidade de efluente da indústria cervejeira em sementes de *Lactuca sativa* L. **Revista Internacional de Ciências**, v. 7, n. 2, p. 265-275, 2017.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). (2017) **Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017.** Aguas residuales: el recurso desaprovechado. Paris: UNESCO.

YOUNG, B. J.; RIERA, N. I.; BEILY, M. E.; BRES, P. A.; CRESPO, D. C.; RONCO, A. E. Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.76, n.2, p.182-186, 2012.

Recebido em: 27/07/2024

Publicado em: 11/12/2024