



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS CRATEÚS**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ANTONIO TIAGO FONSECA DA SILVA**

**TESTES DE TOXICIDADE COM SEMENTES COMO FERRAMENTA NA  
AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DO SOLO EM LIXÕES: O CASO DO LIXÃO DE  
CRATEÚS - CE**

**CRATEÚS**  
**2023**

ANTONIO TIAGO FONSECA DA SILVA

TESTES DE TOXICIDADE COM SEMENTES COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO  
DA POLUIÇÃO DO SOLO EM LIXÕES: O CASO DO LIXÃO DE CRATEÚS - CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental  
e Sanitária da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dra. Thayres de Sousa  
Andrade

Coorientadora: Prof. Dra. Luana Viana Costa e  
Silva

CRATEÚS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S578t Silva, Antonio Tiago Fonseca da.  
Testes de toxicidade com sementes como ferramenta na avaliação da poluição do solo em lixões : o caso do lixão de Crateús-CE / Antonio Tiago Fonseca da Silva. – 2023.  
41 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Crateús, 2023.  
Orientação: Profa. Dra. Thayres de Sousa Andrade.  
Coorientação: Profa. Dra. Luana Viana Costa e Silva.

1. Ecotoxicologia. 2. Solo. 3. Lixão. I. Título.

CDD 628

---

ANTONIO TIAGO FONSECA DA SILVA

TESTES DE TOXICIDADE COM SEMENTES COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO  
DA POLUIÇÃO DO SOLO EM LIXÕES: O CASO DO LIXÃO DE CRATEÚS – CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Campus de Crateús da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dra. Thayres de Sousa Andrade  
Coorientadora: Profa. Dra. Luana Viana Costa e Silva

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Thayres de Sousa Andrade (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Luana Viana Costa e Silva (Coorientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Livia Pitombeira de Figueredo  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

À minha mãe Graça.

À Lurdiane e meus irmãos.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente queria agradecer aos meus irmãos, e principalmente, à minha mãe que fez de tudo para que eu conseguisse me formar e me deu todo o suporte para tal, e garantiu que eu permanecesse no curso, mesmo com todas as adversidades, mesmo não sendo o que eu queria, mas me proporcionou que eu me encontrasse em meio ao caos, queria também agradecer aos meus irmãos pelo apoio nessa jornada. Segundamente, queria agradecer a Lurdiane por ser a pessoa que fez eu me encontrar e permanecer no mesmo caminho e que me forneceu 7 anos de aprendizado, que somente a gente sabe que no meio de todo o caos tudo se torna possível, minha imensa gratidão por tudo que recebi.

Aos meus amigos que fiz na faculdade e que levei para a vida, em especial à Mariane e Celymara Joyce, agradeço todo o aprendizado compartilhado e todas as horas de confidencialidade.

Aos meus amigos fora da faculdade, em especial aos meus amigos do ensino médio que foram os primeiros a entenderem todo o caos que sou e que me forneceram infinitudes de prazeres e alegrias.

À minha orientadora Thayres e minha coorientadora Luana por todos os ensinamentos compartilhados, aos conselhos sobre a vida e principalmente por me mostrar que mudar a perspectiva é a melhor solução principalmente quando nada faz sentido. Um agradecimento especial à Luana, que sempre que tiver oportunidade vou lembrá-la, que me foi com seu auxílio aceitei a Engenharia Ambiental e me entendi como um engenheiro, com responsabilidade social e ambiental, muito obrigado.

Ao Eduardo, psicólogo do campus, um agradecimento especial, não conseguiria entender quem sou e para onde quero ir sem seu auxílio. Entender quem o Antonio é foi fundamental para meu crescimento.

Ao grupo Ecotox, em especial à Vitória e Luanderson, pelo apoio e disposição e auxílio em todos os experimentos

Aos técnicos de Laboratório Rubens e Heliana pelo o auxílio nos testes e pelo tempo dado para realização dos testes.

Aos Laboratórios de Geologia e Química pelo espaço.

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de pesquisa.

À Universidade Federal do Ceará campus de Crateús e seus professores por todo o conhecimento e apoio que acumulo.

“Na natureza nada existe sozinho” (Rachel Carson)

“Eu ainda sou uma ideia no papel”  
(Desconhecido)

## RESUMO

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são gerados por atividades antrópicas e podem se apresentar em estado sólido, semissólido ou gasoso. No ano de 2022, segundo relatório da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, foi gerado 81,8 milhões de toneladas anuais, já em 2021, 29,7 milhões de toneladas de resíduo foi enviado para lixões ainda operantes no país. A contaminação pelo chorume é um dos grandes impactos causados por lixões e aterros controlados. O lixiviado produzido por RSU possui características físicas, químicas e biológicas variadas, tornando um desafio a avaliação dos seus impactos nos ecossistemas. Os ensaios ecotoxicológicos são uma importante ferramenta para o monitoramento e avaliação de risco à sanidade ambiental. Dessa forma, o presente estudo pretende avaliar os efeitos fitotóxicos do Elutriado de solo do lixão de Crateús utilizando *Allium cepa* L. e *Brassica juncea* L. como bioindicadores, determinar os parâmetros de toxicidade mais sensíveis para avaliação da contaminação do solo por lixiviados e sensibilidade das sementes; determinar ponto amostral mais tóxico a partir de testes fitotóxicos. Para a obtenção do elutriado, o solo foi coletado em 5 pontos diferentes em uma profundidade de 20 a 30 centímetros, solubilizado com água destilada em proporção 1:4, agitado e decantado por 1h. O bioensaio utilizou 10 sementes de cada espécie dispostas em placas de Petri de 90 mm com papel filtro como substrato e umedecidas com 4 ml do elutriado. As placas foram acondicionadas em temperatura de  $25 \pm 2$  °C, e fotoperíodo de 12:12h (luz:escuro) durante o período de exposição de 96 e 120 horas. O teste foi realizado em triplicata para cada ponto. Após o período de exposição, medição e contagem das sementes, raízes e hipocótilo foi observado que as sementes de *A. cepa* apresentaram menor média de germinação para o ponto 5, o equivalente a 37% de média de semente germinada. O mesmo ponto, apresentou um IER moderado e uma inibição de 68,46 e 67,46% no crescimento das raízes comparado aos dois controles P0 e P6 respectivamente. Já as sementes de *B. juncea* apresentaram, para os pontos 1,2 e 3, menor IG, ainda assim apenas o ponto 3 apontou um IER moderado para o controle com água, já para o solo controle todos os pontos, menos o ponto 1 que apresentou efeito hormese, tiveram um IER alto. Foi possível concluir que os parâmetros IG e IER foram mais sensíveis na determinação de toxicidade do elutriado, a semente de *B. juncea* foi a semente com maior sensibilidade e os pontos 3 e 5 foram os que exibiram maior toxicidade em comparação com os demais.

**Palavras-chave:** Ecotoxicologia; Solo; Lixão.

## ABSTRACT

Urban Solid Waste (MSW) is generated by human activities and can be in solid, semi-solid or gaseous state. In 2022, according to a report by the Brazilian Association of Public Cleaning and Special Waste Companies, 81.8 million tons were generated annually, while in 2021, 29.7 million tons of waste were sent to landfills still operating in the country. Leachate contamination is one of the major impacts caused by controlled dumps and landfills. The leachate produced by MSW has varied physical, chemical and biological characteristics, making it a challenge to assess its impacts on ecosystems. Ecotoxicological tests are an important tool for monitoring and assessing risks to environmental health. Therefore, the present study aims to evaluate the phytotoxic effects of soil elutriate from the Crateús landfill using *Allium cepa L.* and *Brassica juncea L.* as bioindicators, determine the most sensitive toxicity parameters for evaluating soil contamination by leachate and sensitivity of seeds; determine the most toxic sampling point from phytotoxic tests. To obtain the elutriate, the soil was collected from 5 different points at a depth of 20 to 30 centimeters, solubilized with distilled water in a 1:4 ratio, shaken and decanted for 1 hour. The bioassay used 10 seeds of each species arranged in 90 mm Petri dishes with filter paper as substrate and moistened with 4 ml of elutriate. The plates were stored at a temperature of  $25\pm 2$  °C, and a photoperiod of 12:12h (light:dark) during the exposure period of 96 and 120 hours. The test was performed in triplicate for each point. After the period of exposure, measurement and counting of seeds, roots and hypocotyls, it was observed that *A. cepa* seeds showed a lower germination average for point 5, equivalent to 37% average germinated seed. The same point presented a moderate IER and an inhibition of 68.46 and 67.46% in root growth compared to the two controls P0 and P6 respectively. The seeds of *B. juncea* presented, for points 1, 2 and 3, lower GI, yet only point 3 showed a moderate IER for the control with water, while for the soil control all points, except point 1 that showed a hormesis effect, had a high IER. It was possible to conclude that the IG and IER parameters were more sensitive in determining elutriate toxicity, the *B. juncea* seed was the seed with the greatest sensitivity and points 3 and 5 were those that exhibited greater toxicity compared to the others.

**Keywords:** Ecotoxicology; Soil; Landfill.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – : Localização do lixão de Crateús-CE.....	19
Figura 2 – Esquema mostrando modelo de etiqueta para identificação das amostras.....	20
Figura 3 – Morfologia da semente e plântula das espécies bioindicadoras	22

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Efeitos da exposição a amostras de elutriato de solo na germinação de sementes de <i>A. cepa</i> durante 120h de exposição.....	26
Gráfico 2 – Efeitos da exposição a amostras de elutriato de solo no crescimento da radícula e hipocótilo de sementes de <i>A. cepa</i> durante 120h de exposição.....	28
Gráfico 3 – Efeitos da exposição a amostras de elutriato de solo na germinação de sementes de <i>B. juncea</i> durante 96h de exposição.....	29
Gráfico 4 Efeitos da exposição a amostras de elutriato de solo no crescimento da radícula e hipocótilo de sementes de <i>B. juncea</i> durante 96h de exposição.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Dados dos pontos de coleta.....	20
Tabela 2	– Desenho experimental <i>A. cepa</i> e <i>B. juncea</i> .....	22
Tabela 3	– Nível de toxicidade com relação ao IGN e IER.....	24
Tabela 4	– Classificação dos efeitos.....	24
Tabela 5	– Parâmetros físico-químicos do elutriato de solo.....	25
Tabela 6	– Resultados dos parâmetros de germinação para as sementes de <i>A. cepa</i> .....	26
Tabela 7	– Média do comprimento, Desvio Padrão, Porcentagem de Inibição da radícula e Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado (IER) da <i>A. cepa</i> para as amostras de elutriato de solo.....	27
Tabela 8	– Média do comprimento, Desvio Padrão, Porcentagem de Inibição do hipocótilo e Índice de Porcentagem de Alongamento do Hipocótilo Residual Normalizado (IER) da <i>A. cepa</i> para as amostras de elutriato de solo.....	28
Tabela 9	– Resultados dos parâmetros de germinação para as sementes de <i>B. juncea</i> ....	30
Tabela 10	– Média do comprimento, Desvio Padrão, Porcentagem de Inibição da radícula e Índice de Porcentagem de Alongamento do Radical Residual Normalizado (IER) da <i>B. juncea</i> para as amostras de elutriato de solo.....	30
Tabela 11	Média do comprimento, Desvio Padrão, Porcentagem de Inibição do hipocótilo e Índice de Porcentagem de Alongamento do Hipocótilo Residual Normalizado (IER) da <i>B. juncea</i> para as amostras de elutriato de solo.....	32

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	<b>Contextualização do Tema</b> .....	12
1.2	<b>Objetivos</b> .....	13
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	13
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	14
1.3	<b>Justificativa</b> .....	14
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
2.1	<b>Impactos Ambientais de Lixões</b> .....	15
2.2	<b>Ecotoxicologia Terrestre</b> .....	16
2.2.2	<i>Avaliação Fitotóxica em Organismos Allium cepa e Brassica juncea</i> .....	17
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	18
3.1	<b>Área de Estudo</b> .....	18
3.2	<b>Procedimento de Coleta</b> .....	19
3.3	<b>Obtenção do Elutriato de Solo</b> .....	20
3.4	<b>Testes de Toxicidade Utilizando sementes de Allium cepa e Brassica juncea</b> .....	21
3.5	<b>Parâmetros de Germinação e Alongamento</b> .....	22
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	25
4.1	<b>Análise Físico-químico do Elutriato de Solo</b> .....	25
4.2	<b>Testes Ecotoxicológicos</b> .....	26
4.2.1	<i>Ensaio com sementes de Allium cepa</i> .....	26
4.2.2	<i>Ensaio com sementes de Brassica juncea</i> .....	29
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	33
6	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização do Tema

A norma ABNT NBR 10004 (2004) define que resíduos sólidos podem se encontrar nos estados sólido, semissólido e gasoso, resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

No ano de 2022, segundo relatório da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), foi gerado, em média, 1,04 quilogramas de resíduo por pessoa, contabilizando um total de 224 mil toneladas diárias e 81,8 milhões de toneladas anuais, que comparado ao ano de pandemia representa uma redução (ABRELPE, 2023). Para esse ano, foi gerado um montante de 76,1 milhões de toneladas, que representa 93% da cobertura do serviço. Desse mesmo modo, no ano anterior foi registrado um envio de 46,4 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) para aterros sanitários e 29,7 milhões de toneladas para lixões ainda operantes no país (ABRELPE, 2023).

Em último diagnóstico anual publicado, em 2019, pelo Sistema Nacional de Informação Sobre A Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), dos 57,3 milhões de toneladas coletadas mais de 21% de todo resíduo coletado foi disposto em lixões e aterros controlados. O acondicionamento desses resíduos a céu aberto e em locais não licenciados é definitivamente proibido de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), uma vez que a disposição de RSU em lixões apresenta um risco à saúde humana e ambiental e evidencia o cenário preocupante do país a respeito da gestão dos resíduos.

Os lixões são áreas de descarga de resíduos sobre o solo sem proteção nem medidas de controle e monitoramento do chorume formado, pondo em risco o meio ambiente e a saúde pública (ISWA; ABRELPE, 2015). O chorume é um líquido escuro, malcheiroso e complexo, conhecido como chorume, é gerado a partir da decomposição da matéria orgânica do lixo. A composição do chorume é dependente dos estágios de decomposição da matéria orgânica, da natureza dos resíduos lançados, das condições ambientais e da idade e modo de operação da área de aterramento (DEL REY *et al.*, 2020). Santaella *et al.* (2014) ressaltam a problemática de contaminação dos lençóis freáticos e impactos aos compartimentos ambientais causados pela poluição com chorume.

O grande desafio atualmente na avaliação de impacto do lixiviado de lixões no ecossistema, está na tarefa difícil de caracterizar os contaminantes tóxicos, em virtude da variedade de químicos presentes e da complexidade e diversidade do lixiviado, e também pela limitação das análises dos parâmetros químicos e físicos realizados para a avaliação do potencial tóxicos de substâncias em ecossistemas. Para avaliar os riscos, é necessário considerar outras informações além das análises tradicionais (físico-químicas), que não são completas o suficiente para avaliar os efeitos da poluição em organismos vivos (BUDI *et al.*, 2016).

Assim, para suprir essa deficiência, tem-se utilizado análises complementares, em uma das quais os bioensaios são empregados para avaliar a ecotoxicidade do lixiviado. Para Zagatto (2014), os testes ecotoxicológicos, podem fornecer informações mais precisas do real impacto dos componentes tóxicos no meio ambiente, uma vez que as análises são feitas em organismos-teste representativos dos diferentes compartimentos ambientais..

Comumente os bioensaios são empregados na avaliação ecotoxicológica de efluente se utilizando de organismos aquáticos e plantas de pelo menos dois níveis tróficos para atender a demanda da legislação ambiental vigente (Resolução CONAMA nº430/2011). Dessa forma, a pouca aplicação de bioensaios em organismos terrestres negligencia os impactos que essas espécies podem sofrer com a contaminação do lixiviado no solo (SISINNO *et. al.*, 2019). Para Priac *et al.* (2017), as sementes são ótimos bioindicadores de toxicidade do solo por sua sensibilidade e facilidade na realização.

Logo, ao considerar a contaminação do solo de lixões pelo lixiviado produzido pela decomposição dos resíduos, torna-se importante entender como sua toxicidade afeta os organismos terrestres. Sendo assim, a utilização de sementes de plantas superiores como organismos terrestres bioindicadores pode melhor avaliar a ecotoxicidade do solo de lixões, mesmo sabendo que diferentes espécies apresentam diferentes sensibilidades diante a toxicidade presente no substrato a ser testado. Também, os resultados adquiridos dos bioensaios deste tipo podem dar subsídio aos órgãos ambientais na formulação de resoluções e torne os bioensaios uma ferramenta legal para o monitoramento ambiental.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo Geral***

Avaliar efeitos fitotóxicos do solo de lixão do município de Crateús-CE utilizando, para isso, as espécies *Allium cepa L.* e *Brassica juncea L.* como organismos teste.

### ***1.2.2 Objetivos Específicos***

- Identificar, entre os parâmetros de toxicidade avaliados (Índice de Germinação, Índice de Porcentagem de Germinação Residual Normalizado, Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado, Índice de Crescimento Relativo, Índice de Velocidade de Germinação) são os mais sensíveis para avaliação da contaminação do solo por lixiviados;
- Apontar dentre as sementes estudadas quais apresentam maior sensibilidade na avaliação de toxicidade de solo de lixão;
- Determinar qual ponto amostral estudado apresenta maior potencial tóxico a partir dos testes fitotóxicos realizados.

### **1.3 Justificativa**

Castilho e colaboradores (2003) expõem que depósitos de resíduos à céu aberto, ou lixões, dar-se de forma desordenada sem compactação ou cobertura dos resíduos, propicia a poluição do solo, ar e água, bem como a proliferação de vetores de doenças humanas. Prüss-Üstün e Corvalán (2006), reiteram que a poluição causada pela destinação inadequada corresponde a 20% das causas de doenças, subindo para 42% nos países em desenvolvimento.

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) (2010) aconselha que os depósitos irregulares de resíduos, seu encerramento e recuperação, devem ser tratados como prioridade na gestão dos impactos ambientais e sociais acarretados por sua utilização. Contudo, seu encerramento não é a resposta, posto que, o fechamento não irá interromper a continuidade do percolamento de chorume, tal como não soluciona a questão da ocupação irregular ou eventual instabilidade geológica em virtude de recalques decorrentes da decomposição do lixo, entre outros impactos (FEAM, 2010).

Portanto, existe a necessidade de alternativas que colaborem para o monitoramento da sanidade ambiental, especialmente sobre fontes potencialmente poluidoras como são os lixões, em funcionamento e os desativados. Por essa ótica, a ecotoxicologia assume um papel importante nesse desafio, se tratando de uma ciência responsável pela previsão de fenômenos ambientais, incluindo a difusão de substâncias e sua futura concentração nos diferentes compartimentos e subcompartimentos ambientais (PERIN, 2005). Truhaut (1977 apud MAGALHÃES, 2008), define a ecotoxicologia como uma ferramenta de avaliação dos efeitos

nocivos de substâncias naturais ou sintéticas em organismos vivos, animais ou vegetais, terrestres ou aquáticos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Impactos Ambientais de Lixões**

Lixões não possuem respaldo legal sobre essa forma de disposição, portanto, esse tipo de descarte se classifica como inadequado. A PNRS, em seu art. 3º, inciso VII, define que a reciclagem, a compostagem, a recuperação e aproveitamento energético como destinação final ambientalmente adequada para os resíduos, e vale ressaltar que a disposição final nos termos da política cabe apenas aos rejeitos onde não há possibilidade de tratamento e recuperação econômica e portanto deve ser destinada à aterros sanitários.

Um dos propósitos iniciais da Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), era eliminar os lixões no Brasil até 2014. Contudo, a gestão de resíduos ainda se baseia em coleta não seletiva e a taxa de reciclagem não apresentou melhoria significativa desde 2010. Além disso, o prazo estabelecido não foi cumprido, persistindo o desconhecimento sobre a legislação (inclusive entre profissionais da área de gestão de resíduos) e a existência de diversos lixões a céu aberto pelo país. Apesar disso, desde a implementação do Programa Nacional Lixão Zero, houve o fechamento de 809 dos 3.257 lixões identificados (MMA, 2022).

O novo marco do saneamento, instituído pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, estabelece novas regras para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. O marco também define novas regras para a erradicação dos lixões. Pelas novas regras, todos os municípios deverão apresentar até o último dia de 2020 um plano para acabar de vez com os lixões e como pretendem financiar isso. Eventualmente, com a criação de uma taxa. Em agosto de 2021, terminou o prazo para que todas as capitais e cidades das regiões metropolitanas resolvam o problema. Depois delas, a data limite para os municípios com mais de 100 mil habitantes foi em agosto do ano seguinte. Em 2023, para os municípios com população entre 50 mil e 100 mil. E em 2024, para aqueles com menos de 50 mil habitantes (BRASIL, 2022)

A periculosidade presente nos lixões é devido principalmente pela geração de chorume decorrente da decomposição do lixo se tornando um dos principais problemas ambientais e sociais, uma vez que, produzem complicações na saúde da população pela transmissão de doenças por micro e macrovetores, pelo agravamento de vulnerabilidades, pela contaminação

de águas subterrâneas e superficiais, solo, ar e pela modificação da paisagem (SISINNO, 2000; D'ALMEIDA, 2000).

Os impactos que os lixões e aterros controlados são capazes de causar podem ser classificados segundo sua natureza, frequência, magnitude e abrangência (SÁNCHEZ, 2006). Ainda segundo Sánchez (2006), quanto à disposição dos RSU os impactos apresentam natureza negativa e frequência contínua, possui uma magnitude de média a forte, uma vez que seu caráter degradador e irreversível, além de extravasar o local atingido e afetar as áreas circunvizinhas.

O lixiviado de resíduos sólidos pode conter diversos metais, como cádmio, cobre, ferro, magnésio, manganês, níquel, potássio, zinco e alumínio. A quantidade e a concentração desses metais no lixiviado podem variar dependendo da composição dos resíduos sólidos e das condições ambientais em que ocorre a lixiviação. Os metais tóxicos, como cádmio, chumbo, cromo, níquel e zinco, podem causar problemas de toxicidade aos organismos que estiverem expostos, como plantas, animais e seres humanos, devido ao fato que os mesmos podem ser inseridos na cadeia alimentar e causar biomagnificação, devido à sua mobilidade nos diferentes compartimentos ambientais. É importante lembrar que a gestão adequada dos resíduos sólidos é fundamental para minimizar os impactos ambientais e à saúde pública. (REPETTO, 1995; OGA, 1996; CASTILHOS JÚNIOR *ET AL.*, 2010)

Um levantamento feito pelo Departamento de Economia do Sindicato Nacional das Empresas de Limpeza Urbana (SELURB, 2022) aponta que a queima irregular de resíduos sólidos descartados em lixões libera cerca de 6 milhões de toneladas de gases de efeito estufa ao ano. Em estudo realizado no município de Floriano no Piauí, Santos e colaboradores (2022) relataram que a queima constante de resíduos no lixão local, gerou a produção de uma fumaça tóxica, afetando a população no seu entorno.

## **2.2 Ecotoxicologia Terrestre**

Avaliar de que forma esses compostos tóxicos afetam os organismos de diversos compartimentos ambientais tem sido a missão da ecotoxicologia. De acordo com Ronco *et al.* (2004), a ecotoxicologia é um ramo da toxicologia ambiental focada em avaliar os efeitos causados por agentes químicos e físicos desde o nível dos organismos até o nível ecossistêmico.

Os estudos ecotoxicológicos auxiliam no estabelecimento dos limites das substâncias químicas e na avaliação dos poluentes e seus impactos a organismos do solo e aos corpos receptores (RÖMBKE *et al.*, 2006). De acordo com Niemeyer *et al.* (2007), os ensaios

ecotoxicológicos podem estabelecer relação entre contaminantes e propriedades do solo, assim como os efeitos de sua combinação e, ainda, os efeitos da biodisponibilidade.

Dessa forma, a ciência da ecotoxicologia vem evoluindo e se tornando uma ferramenta importante para a avaliação de risco ambiental com o objetivo de proteger os ecossistemas dos impactos causados por substâncias tóxicas, uma vez que os ensaios avaliam as condições ambientais e fazem o monitoramento de suas tendências ao longo do tempo e tentam prever os efeitos tóxicos, auxiliando na sua remediação (ISO, 2001).

Estudos de Lombardi (2004) e Magalhães e Ferrão Filho (2008), apontam que os ensaios permitem avaliar a contaminação ambiental assim como os efeitos sinérgicos e antagônicos de diversas fontes poluidoras, como: efluentes agrícolas, industriais e domésticos, sedimentos, medicamentos, agrotóxicos, lodos de esgotos, resíduos e rejeitos da mineração, resíduos da indústria de papel e celulose, de cervejaria, dejetos de animais, poluentes orgânicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, metais, entre outros.

Os ensaios ecotoxicológicos podem ser classificados de acordo com o tempo de exposição, efeito resposta e modo de ação. O tempo de exposição pode ser agudo e variar de horas a semanas ou por um estágio de vida do organismo, ou crônico onde os testes ocorrem por um longo período ou até mesmo por todo o ciclo de vida, dependendo do objetivo do estudo. O efeito resposta refere-se à medida do efeito tóxico em um organismo, letal ou subletal, que pode ser avaliado em diferentes níveis, como o nível molecular, celular, individual ou populacional (KAPANEN e ITAVÄARA, 2001). O modo de ação refere-se ao mecanismo pelo qual uma substância química exerce seu efeito tóxico em um organismo, como mudanças no metabolismo, na morfologia, crescimento, reprodução, mutações genéticas e até mesmo morte dos organismos-teste (NIVA *et al.*, 2019). É importante lembrar que os ensaios ecotoxicológicos são fundamentais para avaliar o impacto ambiental de substâncias químicas e para a proteção da saúde pública.

### **2.2.2 Avaliação Fitotóxica em Organismos *Allium cepa* e *Brassica juncea***

Os testes de fitotoxicidade tem como objetivo avaliar os efeitos das toxinas presentes no meio de cultivo de plantas, permitindo a identificação de águas e solos contaminados por meio do índice de germinação (IG). Esses testes podem ser realizados de forma crônica ou aguda, diferindo principalmente no tempo de exposição do bioindicador ao potencial contaminante (DEVESA-REY *et al.*, 2008).

Nos primeiros dias de desenvolvimento das plântulas, ocorrem diversos processos fisiológicos que podem ser afetados pela presença de toxinas. Os bioensaios são baseados nesse princípio, utilizando como parâmetros de análise o crescimento da radícula e do hipocótilo, que indicam a capacidade da plântula de estabelecer-se e desenvolver-se, influenciando diretamente na germinação (ROCHA, 2017).

Ao longo dos anos, o uso de organismos-teste tem sido amplamente variado em termos de metodologias e objetivos. Nos estudos que envolvem ensaios fitotoxicológicos, foram empregadas diversas espécies de flores, cereais e hortaliças, tais como *Anthemis marítima*, *Armeria marítima*, *Eruca sativa*, *Hordeum vulgare*, *Lactuca sativa*, *Lepidium sativum*, *Lolium multiflorum*, *Lolium perene*, *Medicago sativa*, *Phaseolus radiatus*, *Plantago coronopus*, *Raphanus sativus*, *Sinapis alba* e *Triticum aestivum* (FANTIN et al., 2009; YERUSHALMI et al., 2010; HIMANEN et al., 2012; BEDELL et al., 2014a; BEDELL et al., 2014b; EMAMI et al., 2014; MACÍA et al., 2014; KUNDRÁT et al., 2017; SONG et al., 2017; ZHANG et al., 2017; KOHATSU et al., 2018). Para a realização dos ensaios fitotóxicos, é adotado um controle que consiste em uma solução capaz de causar efeitos previsíveis nos organismos indicadores.

As vantagens do uso de semente para realização dos testes toxicológicos está no baixo custo da realização, na curta duração dos ensaios e por possuir sensibilidade a substâncias tóxicas em amostras ambientais (PIERANTOZZI *et.al.*, 2012). A importância dos bioensaios de germinação é que durante os primeiros dias de desenvolvimento das sementes os processos fisiológicos que ocorrem nesse período podem ser afetados pela presença de substâncias tóxicas que pode resultar em anomalias e até mesmo interferir em sua sobrevivência (RODRIGUES *et. al.*, 2013).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Área de Estudo**

O objeto de estudo, o lixão de Crateús, localizado no extremo oeste do Estado na coordenada 5°10'13.4"S 40°45'21.7"W é o principal receptor de resíduos sólidos urbanos do município, que em 2019 obteve uma geração de 72 toneladas de resíduos por dia (CEARÁ, 2019).

O município de Crateús possui uma extensão territorial de 2.981,459 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 75.241 habitantes. O município pertence à 13<sup>a</sup> Região administrativa, onde a macrorregião e microrregião de planejamento é o Sertão de Crateús (IPECE, 2017).

O clima local é caracterizado como Tropical Quente Semiárido com temperatura média de 28°C e pluviosidade média de 731 mm nos períodos chuvosos que vão de janeiro a abril. Os solos são classificados como argissolos, latossolos, luvisolos, neossolos e planossolos. A vegetação é constituída por caatinga arbustiva aberta, carrasco, caatinga arbórea e mata seca (IPECE, 2017).

A Figura 1 representa a área de lixão do município de Crateús, que fica localizado próximo da rodovia estadual CE-469, sentido ao distrito de Queimadas.

Figura 1: Localização do lixão de Crateús-CE



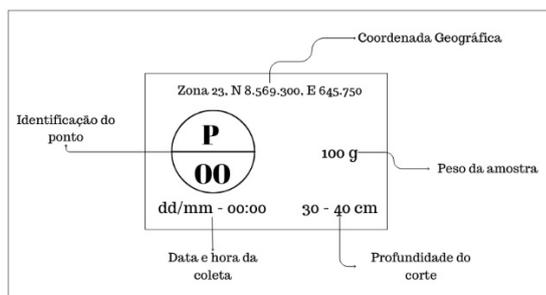
Fonte: modificado de Google Earth, 2022.

### 3.2 Procedimento de Coleta

As coletas de solo ocorreram no dia 17 de outubro de 2023. A metodologia adotada foi uma adaptação do protocolo de coleta de solo desenvolvida pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio) e pelo Manual de procedimentos de coleta de amostras da Embrapa Meio Ambiente.

As amostras foram extraídas próximo as pilhas de resíduos com uma distância de 50 metros em cada ponto amostral em uma profundidade de 20 centímetros. Cada amostras de solo teve 1.4 a 1.6 quilos de solo, armazenadas em sacos pretos e etiquetados com informações sobre os pontos, como mostrado na figura 2.

Figura 2: Esquema mostrando modelo de etiqueta para identificação das amostras



Fonte: Autor (2023) adaptado de PPbio (2006)

Para cada ponto de coleta garantimos que a área estava livre de qualquer resíduo, folha, pedra e galho que pudesse interferir nas análises. Os buracos foram cavados com picareta e a profundidade foi medida com uma régua de 30 cm. As amostras foram retiradas do solo com o auxílio de uma espátula com as mãos protegida, garantindo que nenhum fator externo como suor, objetos e afins caíssem nas amostras. Após, nos sacos, o ar foi retirado das amostras para evitar rasgos durante o transporte. Em seguida, a coleta da amostra em um ponto, todos os materiais foram limpos para a coleta no ponto seguinte. A seguir, a coleta de todas as amostras o solo foi armazenado em temperatura ambiente no Laboratório de Geologia da Faculdade Federal do Ceará campus Crateús até as análises e testes e a tabela 1 preenchida com os dados coletados em campo.

Tabela 1: Dados dos pontos de coleta

PONTO	DISTÂNCIA ENTRE AS PILHAS (M)	COORDENADA
1	0	5°10'07.2"S 40°45'33.3"W
2	50	5°10'06.8"S 40°45'31.7"W
3	100	5°10'08.0"S 40°45'30.7"W
4	150	5°10'08.7"S 40°45'32.2"W
5	200	5°10'08.2"S 40°45'33.7"W
6	Entrada do lixão	5°10'15.1"S 40°45'16.9"W

Fonte: Autor (2023)

### 3.3 Obtenção do Elutriato de Solo

Elutriato é definido como uma solução aquosa obtida após a adição de água de diluição a uma amostra sólida ou semissólida submetida à agitação e posterior decantação ou, quando necessário, centrifugação ou filtração (ABNT, 2021). Para a obtenção do elutriato do solo coletado, seguiu-se a metodologia da ABNT NBR 15469:2021. Para tal, o procedimento ocorreu em temperatura ambiente, onde se misturou uma parte do solo coletado em quatro partes de água destilada (1:4). A solução, então, foi agitada em um agitador em velocidade suficiente para suspender o material por 30 minutos e deixado decantar por 1 hora. O elutriato

foi preparado para cada amostra de solo. Após o preparo do elutriado de solo de todos os pontos amostrais, utilizou-se um medidor multiparâmetro AK88v2, que mensurou o potencial hidrogeniônico (pH), condutividade (Cond), oxigênio dissolvido (OD), salinidade, temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD).

### **3.4 Testes de Toxicidade Utilizando sementes de *Allium cepa* e *Brassica juncea***

Para avaliar os efeitos tóxicos das amostras de solo obtidas do lixão de Crateús, foram realizados ensaios de fitotoxicidade com sementes de cebola (*Allium cepa* L.) e mostarda (*Brassica juncea* L.) como organismos teste.

Os experimentos foram conduzidos de acordo com protocolos padronizados e metodologias recomendadas pela OECD (2003) e US EPA (1996) com adaptações de Sobrero e Ronco (2004). Para o teste com amostras se utilizou elutriado de solo das amostras coletadas. Um total de 20 sementes de *A. cepa* e *B. juncea*. foram dispostas em placas de Petri (90 mm de diâmetro) com substrato papel filtro (porosidade 14 µm) e umedecidas com 4 ml de cada elutriado de solo. Dois controles negativos foram preparados, o primeiro foi feito com o ponto 6 (P6) do solo coletado na entrada do lixão, aproximadamente 643,75 metros de distância do primeiro ponto, o segundo controle negativo, P0, foi preparado com água destilada. Para manter a umidade e evitar a dessecação da amostra, as placas de Petri foram seladas com filme transparente.

As placas de Petri serão acondicionadas em ambiente com temperatura de  $25 \pm 2$  °C, e fotoperíodo de 12:12h (luz:escuro) durante o período de exposição de 120 horas. A análise foi realizada em triplicata para cada ponto de coleta. Os parâmetros a serem avaliados ao fim do período do teste serão: Índice de Germinação (IG), Inibição de Crescimento Relativo às Raízes (ICRR), Inibição de Crescimento Relativo ao Hipocótilo (ICRH), Índice de Crescimento Relativo (ICR), Índice de Velocidade de Germinação (IVC).

O critério de aceitação do teste foi da germinação de 90% de ambas as espécies no controle positivo. A padronização dos controles positivo e negativo foi adotadas as recomendações de Sobrero e Ronco (2004), uma vez que os protocolos não foram específicos.

A presença de contaminantes ou estressores, mesmo em pequenas concentrações, podem produzir efeitos subletais nas sementes, ou seja, podem causar inibição na germinação e crescimento e alterações morfológicas. Dessa forma, a análise de germinação e alongamento

das radículas e hipocótilo é de extrema importância para determinação dessa contaminação (SOBRERO; RONCO, 2008).

A Tabela 2, apresenta resumidamente, as condições de ensaios de germinação e crescimento da *A. cepa* e *B. juncea*.

Tabela 2: Desenho experimental *A. cepa* e *B. juncea*

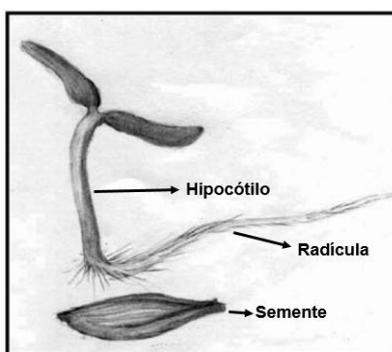
Parâmetros	<i>A. cepa</i>	<i>B. juncea</i>
Tipo de ensaio	Estático	Estático
Temperatura (°C)	25±2	25±2
Fotoperíodo	12:12h	12:12h
Volume de soluções teste	5ml	5 ml
Nº de sementes por réplicas	10	10
Nº de réplicas	3	3
Duração de ensaio	120 h	120h
Efeito medido	ICRR, ICRH, ICR, IVG	ICRR, ICRH, ICR, IVG
Resultado final	CE50; CL	CE50; CL
Aceitabilidade dos resultados	Germinação>90%	Germinação>90%
Controle negativo	Água deionizada	Água deionizada

Fonte: Adaptado Sobrero e Ronco (2004)

### 3.5 Parâmetros de Germinação e Alongamento

Para obtenção dos dados foram realizadas a contagem das sementes germinadas e, em seguida, as medições da radícula e do hipocótilo, como está apresentado na figura 3 com a utilização de um paquímetro digital.

Figura 3: Morfologia da semente e plântula das espécies bioindicadoras



Fonte: Sobrero e Ronco (2008)

No ensaio estático, além da germinação e desenvolvimento da radícula e hipocótilo, serão avaliados os seguintes padrões: Índice de Germinação, Inibição de Crescimento Relativo

às Raízes (ICRR), Inibição de Crescimento Relativo ao Hipocótilo (ICRH), Índice de Crescimento Relativo (ICR), Índice de Velocidade de Germinação (IVG) e Coeficiente de Velocidade de Germinação (CVG).

O IG (%) é um dos principais parâmetros utilizados como resposta a toxicidade, visto que as concentrações de nutrientes e compostos contidos no meio aquoso são parâmetros importantes no estímulo para a germinação das sementes, (BRITO *et. al*, 2010). O percentual de germinação das sementes é definido a partir da equação 1.

- **Índice De Germinação (IG)**

$$IG(\%) = \frac{GRS(\%)*CRR(\%)}{100} \quad (1)$$

Onde,

GRS: Germinação Relativa das Sementes

CRR: Crescimento Relativo da Radícula

Para o cálculo da germinação relativa das sementes e do crescimento relativo da radícula utilizou-se as equações 2 e 3.

$$GRS(\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de sementes germinadas com amostra}}{N^{\circ} \text{ de sementes germinadas no controle negativo}} * 100 \quad (2)$$

$$CRR(\%) = \frac{\text{Comprimento médio da radícula com amostra}}{\text{Comprimento médio da radícula no controle negativo}} * 100 \quad (3)$$

Os Índice de Porcentagem de Germinação Residual Normalizado (IGN), equação 4 e Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado (IER), equação 5 permitem avaliar o nível de toxicidade conforme a tabela 3 (GONZÁLEZ *et al.*, 2011).

- **Índice de Porcentagem de Germinação Residual Normalizado (IGN)**

$$IGN(\%) = \frac{Germ_y - Germ_{controle}}{Germ_{controle}} \quad (4)$$

Onde,

*Germ<sub>y</sub>*: é a porcentagem média de sementes germinadas em cada amostra;

*Germ<sub>controle</sub>*: é a porcentagem de sementes germinadas no controle.

- **Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado (IER)**

$$IER(\%) = \frac{along_y - along_{controle}}{along_{controle}} \quad (5)$$

Onde,

*along<sub>y</sub>*: é o comprimento médio da radícula das sementes germinadas em cada amostra

alongcontrole: é o comprimento médio da radícula das sementes germinadas no controle.

Tabela 3: Nível de toxicidade com relação ao IGN e IER

Nível de toxicidade	IGN (%)	IER (%)
Baixa	0 a -0,25	0 a -0,25
Moderada	-0,25 a -0,5	-0,25 a -0,5
Alta	-0,5 a -0,75	-0,5 a -0,75
Muito Alta	-0,75 a -1,0	-0,75 a -1,0
Hormese	>0	>0

Fonte: (GONZÁLEZ et al., 2011).

- **Índice de Crescimento Relativo (ICR)**

O ICR é calculado pela equação 6 descrita a baixo.

$$ICR = \frac{\text{Média das Raízes da Amostra}}{\text{Média das Raízes do Controle}} \quad (6)$$

Para a análise dos resultados Young e colaboradores (2012) classificam os efeitos deletérios a partir do resultado do comprimento das raízes das sementes estudadas, como pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 4: Classificação dos efeitos

Classificação	ICR
Inibição no alongamento de raiz	< 0,8
Sem Efeito	≥ 0,8 ou ≤ 1,2
Estimulação no alongamento da raiz	> 1,2

Fonte: Adaptado de Young et al. (2012).

- **Índice de Velocidade de Germinação (IVG)**

MAGUIRE (1962), descreveu o índice de velocidade de germinação a partir da equação 7, que descreve a germinação e o tempo de germinação.

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n} \quad (7)$$

Onde,

$G_1, G_2, \dots, G_n$  = número de diásporos germinados ou (no caso do IVE).

$N_1, N_2, \dots, N_n$  = número de dias (ou horas) após a semeadura.

Para cada conjunto de dados obtidos serão efetuados testes de normalidade e homogeneidade de variâncias (Kolmogorov-Smirnov e Levene's, respectivamente). As diferenças entre os grupos tratados e não tratados serão avaliadas por meio de ANOVA seguido pelo pós-teste de Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ) (dados normais) e Kruskal-wallis seguido pelo pós-teste de Dunn's (dados não paramétricos) ( $\alpha = 0,05$ ), através da comparação com os respectivos controles negativos (Sigmaplot 11.0 San Diego, CA, USA). Os valores de concentrações de efeito (CE) e concentrações letais (CL) serão estimados no programa estatístico SigmaPlot por meio do ajuste ao modelo log-logístico 2 parâmetros.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise Físico-químico do Elutriato de Solo

Na tabela 5 é apresentado o resultado da análise desses parâmetros para cada elutriato obtido em cada ponto amostral estudado.

Tabela 5: Parâmetros físico-químicos do elutriato de solo

PONTO	PARÂMETROS					
	pH	Condutividade ( $\mu$ S)	Salinidade (PPT)	Temperatura ( $^{\circ}$ C)	SDT (ppm)	OD (%)
P6	7,2	119,6	0,05	24,4	57,9	75,3
P5	7,18	3,11	1,81	24	1,65	66,3
P4	7,64	1011	0,57	22,5	526	67
P3	8,08	1545	0,88	24,5	703	87,6
P2	7,86	682	0,37	23,5	367	90
P1	8,24	1027	0,55	22,7	574	70

Fonte: Autor (2023)

Os resultados obtidos por meio do medidor multiparâmetro não apresentou nenhuma alteração ou anomalia evidente em nenhum dos parâmetros, ou seja, nenhum parâmetro apresentou valores elevados que pudessem influenciar nos testes. O pH e salinidade do elutriato se encontra em um intervalo próximo ao da neutralidade, o que favorece uma condição adequada para a germinação das sementes. É conhecido que o uso de águas com características ácidas ou alcalinas na irrigação pode resultar em problemas nutricionais e toxicidade para as plantas, além de potencialmente comprometer a germinação das sementes (DUARTE,2006). Valores de pH abaixo de 6,5 podem ser prejudiciais às membranas celulares localizadas nos ápices das raízes, impactando de forma negativa os processos de absorção seletiva de íons e nutrientes essenciais. Essa informação é corroborada por estudos de Trani *et al.*, em 2007, e Lopes *et al.*, no mesmo ano. Em estudos realizados por Andréo-Souza, Yara *et al.* (2010)

sementes submetidas à solução de cloreto de sódio (NaCl) cm condutividade elétrica de 6 dS/m apresentaram inibição na germinação, crescimento e vigor das sementes testadas.

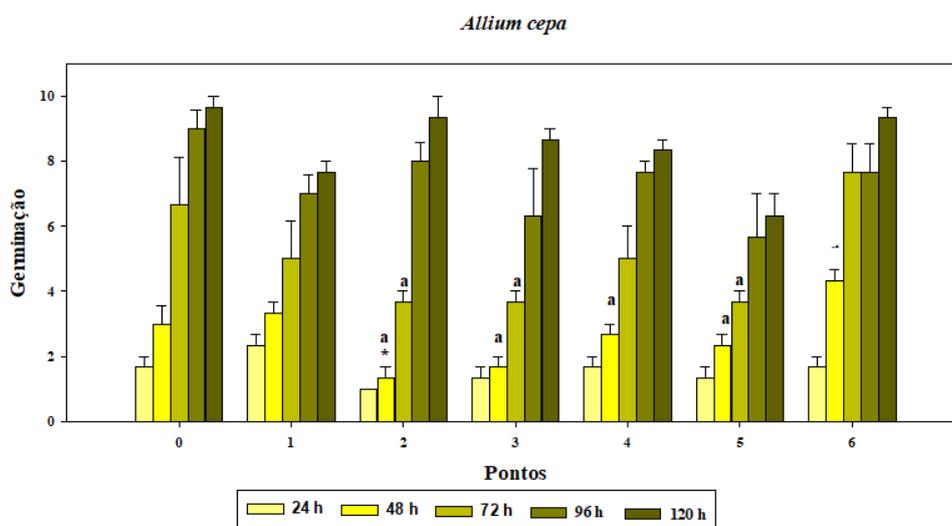
## 4.2 Testes Ecotoxicológicos

### 4.2.1 Ensaios com sementes de *Allium cepa*

- Germinação

No gráfico 1, abaixo, é apresentado o resultado da germinação das sementes de cebola após a exposição de 5 dias ao elutriado de solo de lixão.

Gráfico 1: Efeitos da exposição a amostras de elutriado de solo na germinação de sementes de *A. cepa* durante 120h de exposição.



\*: Diferença significativa pelo teste de Dunnet quando comparado ao controle negativo P6 (Solo Controle) ( $P < 0,05$ ); a: Diferença significativa pelo teste de Dunnet quando comparado ao controle negativo P0 (Água destilada) ( $P < 0,05$ )

Fonte: Autor (2023)

Após o tempo de exposição foi observado que nos pontos 2, 3, 4 e 5 tiveram diferenças significativas quando comparado aos controles nos períodos de 48 e 72 h de exposição. A diferença significativa representa uma inibição na velocidade de germinação, que embora não tenha afetado a germinação final, pode ser representativo na indicação de potencial contaminação.

Em relação à germinação alguns parâmetros foram analisados. Na tabela 6 é apresentado o resultado dos parâmetros de IG e IGN.

Tabela 6: Resultados dos parâmetros de germinação para as sementes de *A. cepa*

Amostra	NOE	MSG	IVG (Médio)	PMG (%)	GRS %	CRR %	IG (%)	IGN%
P0	10	6,00	9,6	60%	100,00	100,00	100,00	0,000
P1	10	5,07	9,0	51%	84,44	88,04	74,34	-0,156
P2	10	4,67	6,8	47%	77,78	82,31	64,02	-0,222
P3	10	4,33	6,7	43%	72,22	90,07	65,05	-0,278
P4	10	5,07	8,3	51%	84,44	92,16	77,82	-0,156
P5	10	3,73	6,3	37%	62,22	61,88	38,50	-0,378
P6	10	6,13	10,2	61%	100,00	100,00	100,00	0,000

NOE: número de organismos expostos; MSG: média de sementes germinadas; IVG: índice de velocidade de germinação; PMG: porcentagem média de germinação; GRS: germinação relativa das sementes; CRR: crescimento relativo da radícula; IG: índice de germinação; IGN: índice de porcentagem de germinação residual normalizado. Fonte: Autor (2023).

Para o tratamento de dados utilizado, conseguimos obter que os pontos amostrais 3 e 5 obtiveram os menores valores de MSG e IVG, ou seja, as sementes para esses pontos sofreram uma inibição na sua emergência e na velocidade média que cada ponto germinou. Ademais, o ponto 5 também apresentou menor índice de germinação e um índice moderado de toxicidade segundo estudo de Gonzáles e colaboradores (2011). A inibição de germinação pode estar relacionado a possível contaminação presente no solo estudado.

O resultado de germinação das sementes para o elutriato de solo que os efeitos de inibição ou retardo no crescimento pode estar relacionado com poluentes presentes no lixiviado, encontrado em lixões e aterros, que em baixas concentrações pode causar um efeito estimulante pela presença de nutrientes, como também inibir à medida que essa concentração aumenta (LI et al., 2017; ZULKEPLI et al., 2019).

- Crescimento da Radícula e Hipocótilo

A tabela 7 apresenta o comprimento em centímetros do crescimento da radícula em todos os pontos testados.

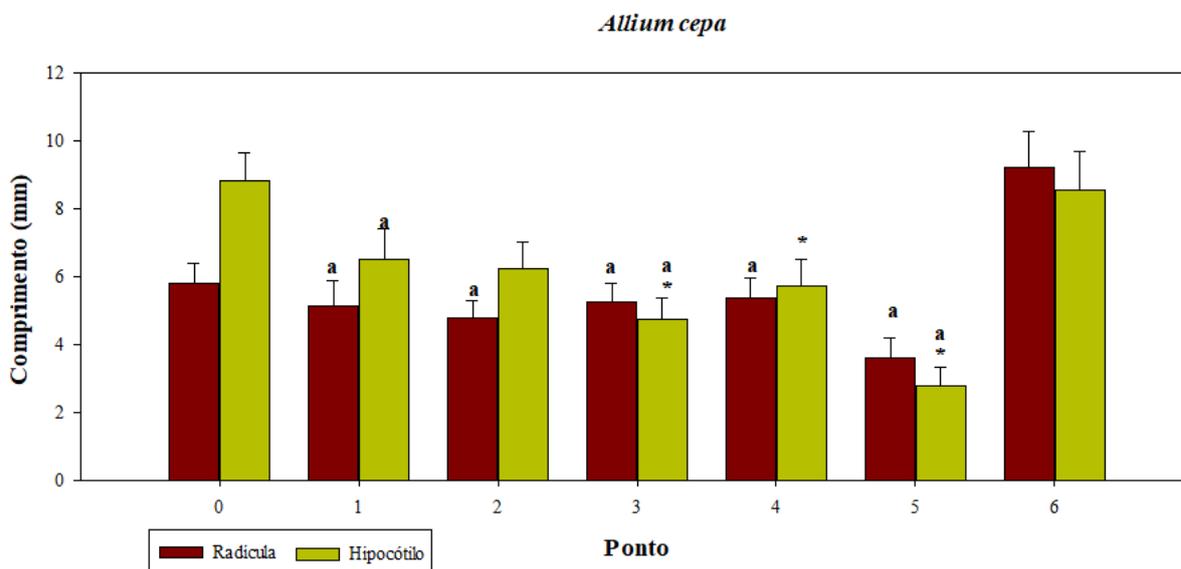
Tabela 7: Média do comprimento, Desvio Padrão, Porcentagem de Inibição da radícula e Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado (IER) da *A. cepa* para as amostras de elutriato de solo.

Ponto	Média do comprimento da radícula (cm)	Desvio Padrão	IER	Porcentagem de Inibição P0 (%)	Porcentagem de Inibição P6 (%)
P0	0,582	0,315	0,000	0,00	3,16
P1	0,513	0,416	-0,120	25,91	23,57
P2	0,479	0,280	-0,177	29,12	26,88
P3	0,524	0,305	-0,099	46,29	44,60
P4	0,537	0,335	-0,078	35,17	33,13
P5	0,360	0,324	-0,381	68,46	67,46
P6	0,923	0,581	0,584	0,00	0,00

Fonte: Autor (2023)

Em todos os pontos estudados apresentaram uma porcentagem considerada de inibição no crescimento da raiz, sendo os pontos 3 e 5 com maior porcentagem de inibição, é mais perceptível essa inibição no gráfico 2 onde é apresentado o comprimento final das radículas e hipocótilo.

Gráfico 2: Efeitos da exposição a amostras de elutriato de solo no crescimento da radícula e hipocótilo de sementes de *A. cepa* durante 120h de exposição



Diferença significativa pelo teste de Dunnet quando comparado ao controle negativo P6 (Solo Controle) ( $P < 0,05$ ); a: Diferença significativa pelo teste de Dunnet quando comparado ao controle negativo P0 (Água destilada) ( $P < 0,05$ )

Fonte: Autor (2023)

Todos os pontos tiveram diferença significativa no crescimento do hipocótilo e radícula, no entanto, podemos observar que no ponto 5 houve uma visível inibição no crescimento tanto da radícula quanto do hipocótilo comparado com o controle negativo P6, como já foi apresentado na tabela 7. O ponto 5 obteve um valor de toxicidade moderado corroborando com os resultados obtidos na germinação.

A tabela 8 apresenta os resultados obtidos para o crescimento do hipocótilo em relação a exposição das sementes de *A. cepa* ao elutriato de solo.

Tabela 8: Média do comprimento, Desvio Padrão, Porcentagem de Inibição do hipocótilo e Índice de Porcentagem de Alongamento do Hipocótilo Residual Normalizado (IER) da *A. cepa* para as amostras de elutriato de solo.

Ponto	Média do comprimento do hipocótilo (cm)	Desvio Padrão	IER	Porcentagem de Inibição P0 (%)	Porcentagem de Inibição P6 (%)
P0	0,881	0,457	0,000	0,00	0,00
P1	0,653	0,493	-0,259	11,96	44,44
P2	0,625	0,416	-0,291	17,69	48,05
P3	0,473	0,345	-0,463	9,93	43,16
P4	0,571	0,429	-0,352	7,84	41,84
P5	0,278	0,297	-0,68	38,12	60,95
P6	0,854	0,633	0,000	0,00	0,00

Fonte: Autor (2023)

Como esperado, para o comprimento do hipocótilo, o ponto 5 apresentou maior porcentagem de inibição comparado aos controles e maior toxicidade, com um índice alto de toxicidade definido pelo índice IER para o hipocótilo.

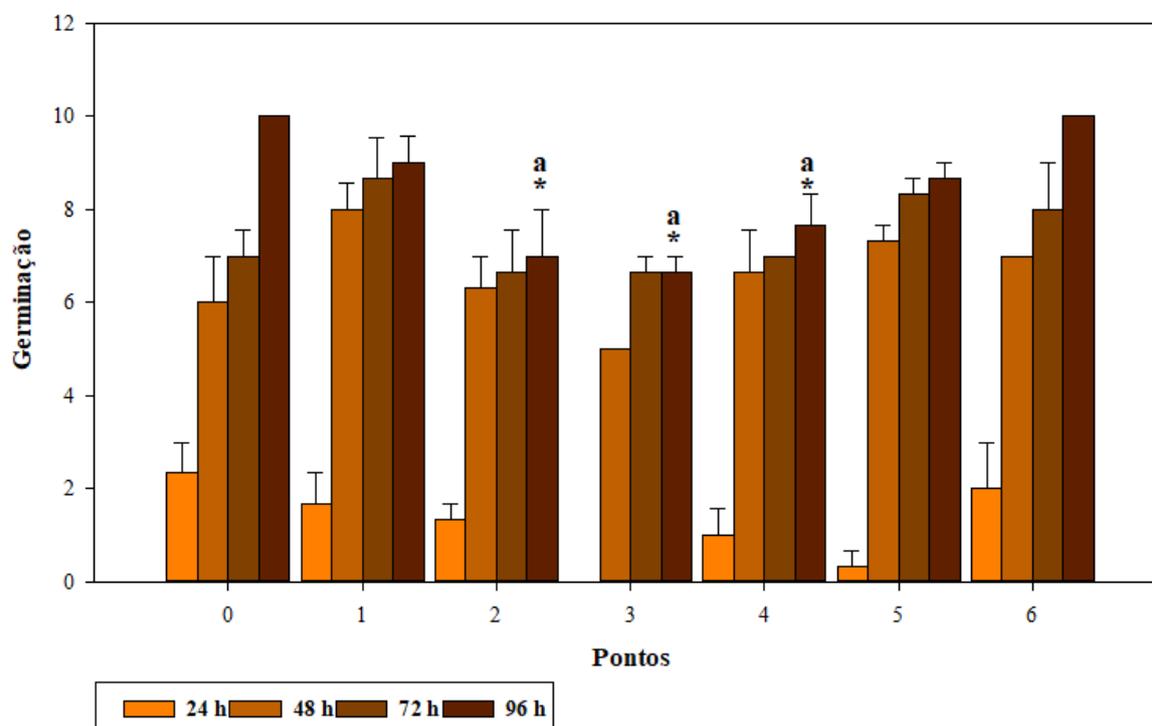
#### 4.2.2 Ensaios com sementes de *Brassica juncea*

- Germinação

No gráfico 3 são apresentados os resultados da germinação das sementes expostas ao elutriado de solo.

Gráfico 3: Efeitos da exposição a amostras de elutriado de solo na germinação de sementes de *B. juncea* durante 96h de exposição.

#### Germinação *Brassica juncea*



Diferença significativa pelo teste de Dunnet quando comparado ao controle negativo P6 (Solo Controle) ( $P < 0,05$ ); a: Diferença significativa pelo teste de Dunnet quando comparado ao controle negativo P0 (Água destilada) ( $P < 0,05$ )

Fonte: Autor (2023)

Para as sementes de mostarda, os pontos 2, 3 e 4 apresentaram diferenças significativas na germinação, quando comparados aos dois controles negativos. Comparando com os resultados para a semente de *A. cepa*, ambos obtiveram diferenças significativas para os mesmos pontos, contudo, em períodos de exposição diferentes. Para as sementes de *B. juncea* a diferença significativa apareceu no final da exposição, revelando que, nesses pontos, as sementes expostas ao elutriato não conseguiram se desenvolver tão bem quanto os controles, livres de exposição e/ou presença de contaminantes.

Tabela 9: Resultados dos parâmetros de germinação para as sementes de *B. juncea*

Amostra	NOE	MSG	IVG (Médio)	PMG (%)	GRS %	CRR %	IG (%)	IGN%
P0	10	6,33	10	63%	94	57	53	0,00
P1	10	6,83	11	68%	101	78	79	0,01
P2	10	5,67	9	57%	84	49	41	-0,16
P3	10	4,58	6	46%	68	35	24	-0,32
P4	10	5,58	9	56%	83	44	36	-0,17
P5	10	6,17	9	62%	91	49	45	-0,09
P6	10	6,75	11	68%	100	100	100	0

NOE: número de organismos expostos; MSG: média de sementes germinadas; IVG: índice de velocidade de germinação; PMG: porcentagem média de germinação; GRS: germinação relativa das sementes; CRR: crescimento relativo da radícula; IG: índice de germinação; IGN: índice de porcentagem de germinação residual normalizado. Fonte: Autor (2023).

Conseguimos avaliar os resultados de germinação das sementes, através da tabela 9, onde é possível observar que os pontos 2, 3 e 4 obtiveram menor porcentagem de germinação. Entretanto, o ponto 3 foi o que obteve menor índice de germinação, menor média de sementes germinadas na amostra e menor velocidade de germinação. Para o índice de toxicidade desenvolvida por Gonzáles *et al.* (2011), somente o ponto 3 registrou um índice moderado de toxicidade.

- Crescimento da Radícula e Hipocótilo

Para o crescimento da radícula, a tabela 10 contém os resultados obtidos para as sementes de mostarda expostas ao elutriato.

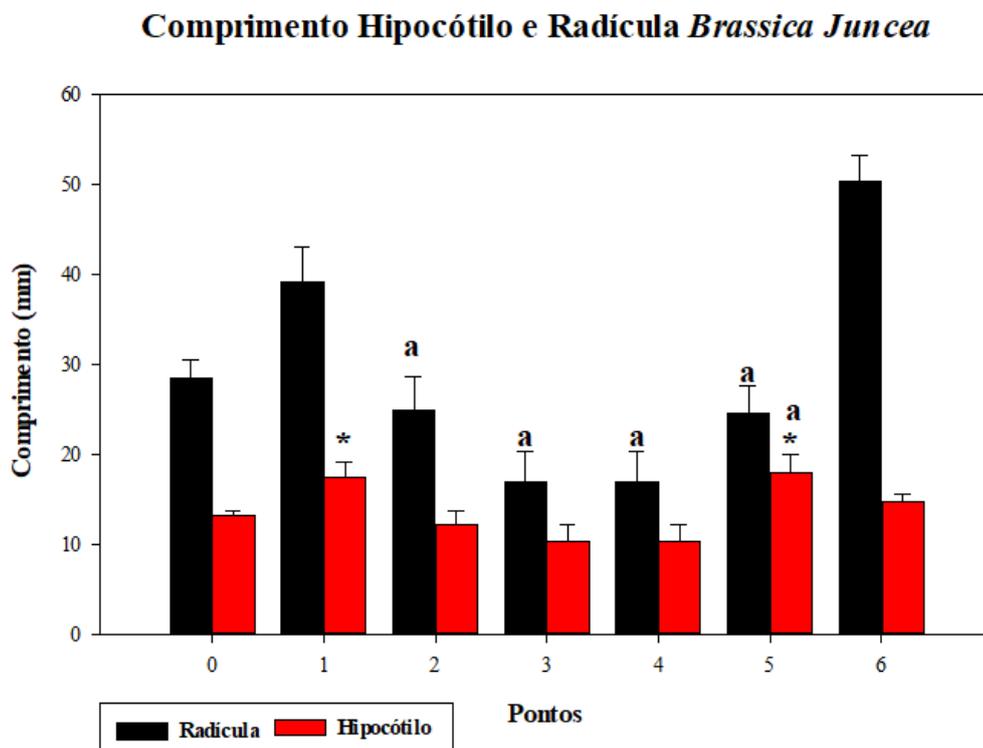
Tabela 10: Média do comprimento, Desvio Padrão, Porcentagem de Inibição da radícula e Índice de Porcentagem de Alongamento do Radical Residual Normalizado (IER) da *B. juncea* para as amostras de elutriato de solo.

Ponto	Média do comprimento da radícula (cm)	Desvio Padrão	IER	Porcentagem de Inibição P0 (%)	Porcentagem de Inibição P6 (%)
P0	2,844	1,083	0,00	0%	0%
P1	3,919	2,150	-0,22	-38%	22%
P2	2,484	2,049	-0,51	13%	51%
P3	1,755	1,852	-0,65	38%	65%
P4	2,206	1,682	-0,56	22%	56%
P5	2,451	1,717	-0,51	14%	51%
P6	5,026	1,581	0,00	0%	0%

Fonte: Autor (2023)

Os resultados apresentados na tabela 10 nos mostra que os pontos 2, 3, 4 e 5 sofreram inibição no crescimento da radícula, menos o ponto 1, que sofreu um efeito estimulante. O ponto 3, comparado aos demais, apresentou 65% de inibição, sendo o ponto que obteve maior porcentagem de inibição. O ponto 1, por outro lado, apresentou um crescimento nas raízes, esse aumento do crescimento é chamado na toxicologia de efeito hormese, que segundo SILVA *et al.* (2020), é uma resposta bifásica ou trifásica à exposição a quantidades crescentes de uma substância ou condição estressora. Dentro da zona hormética, a resposta biológica a baixas exposições a toxinas e outros estressores é geralmente favorável. Referente ao IER, para o controle P6, todos os pontos mostraram ter um índice alto de toxicidade.

Gráfico 4: Efeitos da exposição a amostras de elutriato de solo no crescimento da radícula e hipocótilo de sementes de *B. juncea* durante 96h de exposição



Diferença significativa pelo teste de Dunnet quando comparado ao controle negativo P6 (Solo Controle) ( $P < 0,05$ ); a: Diferença significativa pelo teste de Dunnet quando comparado ao controle negativo P0 (Água destilada) ( $P < 0,05$ )

Fonte: Autor (2023)

Observando o gráfico 4 que mostra o crescimento da radícula e hipocótilo, podemos notar a inibição das radículas, já apresentado na tabela 10. Também consegue-se verificar que em todos os pontos tivemos diferenças significativas quando comparado aos controles, o que só corrobora com os efeitos tóxicos descritos anteriormente.

Para o hipocótilo, apenas os pontos 1 e 5 apresentaram diferença significativa, ainda assim foram pontos que apresentaram efeito estimulante no crescimento comparado a ambos os controles, como podemos ver na tabela 11. Como comentado anteriormente, o efeito hormese pode estar relacionado a contaminação em frações pequenas que a princípio estimula o crescimento. Também referente a tabela, o ponto 3 apresentou maior inibição e um índice moderado de toxicidade corroborando novamente aos resultados de germinação.

Tabela 11: Média do comprimento, Desvio Padrão, Porcentagem de Inibição do hipocótilo e Índice de Porcentagem de Alongamento do Hipocótilo Residual Normalizado (IER) da *B. juncea* para as amostras de elutriado de solo.

Ponto	Média do comprimento do hipocótilo (cm)	Desvio Padrão	IER	Porcentagem de Inibição P0 (%)	Porcentagem de Inibição P6 (%)
P0	1,321	0,268	0,00	0%	0%
P1	1,741	0,910	0,19	-32%	-19%
P2	1,206	0,907	-0,18	9%	18%
P3	1,024	1,046	-0,30	23%	30%
P4	1,329	1,005	-0,10	-1%	10%
P5	1,793	1,065	0,22	-36%	-22%
P6	1,469	0,430	0,00	0%	0%

Fonte: Autor (2023)

Os bioensaios de germinação com plantas são relevantes quanto a sensibilidades dos organismos estudados a vários compostos químicos (Steinkellner *et al.*, 1998; Lopez *et al.*, 2008). Os resultados obtidos com as sementes de mostarda foram bastante representativos quanto a sensibilidade ao elutriado do solo de lixão, contudo seria importante uma caracterização físico-química das amostras de solo poderiam relacionar com os resultados dos testes ecotoxicológicos.

Existe ainda a necessidade de estudos mais extensos da utilização de sementes de *B. juncea* na avaliação ecotoxicológica de lixiviado em solo. No entanto, Mota *et al.* (2016) em revisão identificaram o potencial fitoremediador das sementes de mostarda, o estudo mostra

que as sementes apresentaram tolerância para todos os metais testados, sendo o zinco o metal que apresentou maiores valores de absorção.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo ecotoxicológico realizado com elutriato de solo de lixão em sementes de cebola (*Allium cepa*) e mostarda (*Brassica juncea*) se mostrou ser bastante relevante para uma análise preliminar da toxicidade do solo do lixão de Crateús, uma vez que, foi possível identificar toxicidade em todos os pontos estudados. Os parâmetros mais sensíveis identificados na identificação de toxicidade foram o Índice de Germinação (IG) e o Índice de Alongamento Radical Normalizado (IER). Os pontos amostrais determinados como mais tóxicos foram os pontos 5 para as sementes de cebola e 3 para as sementes de mostarda.

Para as sementes de *Allium cepa* o elutriato de solo do ponto 5 apresentou menor índice de germinação com 37% das sementes germinadas em 120h de exposição. O ponto 5 apresentou maior toxicidade tendo um índice IER moderado, as sementes sofreram uma inibição de 68,46 e 67,46% na radícula para os controles P0 e P6 respectivamente. Já em relação ao hipocótilo, houve uma inibição de 38,12 e 60,95% também referentes aos controles P0 e P6. O índice IER foi o mais sensível em relação ao alongamento da radícula e do hipocótilo.

As sementes de *Brassica juncea* tiveram um desempenho maior na identificação de toxicidade, apresentando toxicidade em pontos amostrais que não foi possível observar nas sementes de cebola. Referente à germinação os pontos 1, 2 e 3 apresentaram menor IG, ainda assim apenas o ponto 3 exibiu um IER moderado para o controle com água destilado, já para o solo controle todos os pontos, menos o ponto 1 apresentou um IER alto. Para o hipocótilo apenas o ponto 3 apontou toxicidade com um IER moderado e inibição de 30% no alongamento.

Foi possível avaliar que o índice IG foi o mais sensível, nesse teste, para avaliar o potencial tóxico do solo de lixão nas duas sementes estudadas. Para o alongamento das raízes e hipocótilo o índice IER se mostrou mais sensível na identificação de toxicidade.

Os testes realizados com elutriato de solo de lixão em sementes de *A. cepa* e *B. juncea* apresentaram resultados relevantes na avaliação do potencial tóxico das amostras testadas. Contudo, testes mais extensivos, como testes crônicos ou com exposição direta ao lixiviado, com *B. juncea* precisam ser feitos para determinar sua sensibilidade ao lixiviado. A realização de estudos de genotoxicidade para as sementes de *A. cepa* poderiam aprofundar as análises feitas aos efeitos sofridos, assim como, estudos físico-químicos no solo podem auxiliar no detalhamento dos resultados obtidos no estudo. Seria possível também modificar a metodologia

de coleta do solo utilizando uma coleta por malha, o que garantiria melhor análise para a área desejada.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; **Classificação de Resíduos Sólidos**, NBR-10004, Rio de Janeiro, 1987.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021>>. Acesso em: jun. de 2023.

Andréo-Souza, Yara et al. **Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso**. Revista Brasileira de Sementes. 2010, v. 32, n. 2

BEDELL, J.P.; FERRO, Y.; BAZIN, C.; PERRODIN, Y. **Selection of a halophytic plant for assessing the phytotoxicity of dredged seaport sediment stored on land**. Environmental Monitoring and Assessment, v.186, p.183–194, 2014.

BEDELL, J.P.; FERRO, Y.; BAZIN, C.; PERRODIN, **Evaluation of phytotoxicity of seaport sediments aged artificially by rotary leaching in the framework of a quarry deposit scenario**. Marine Pollution Bulletin, v.86, p.4858, 2014.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 12.305/2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 03 de agosto de 2010, seção 1.

BRASIL. Lei 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos**, SINIR. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>>. Acesso em 12 de junho de 2023.

BRANDÃO JUNIOR, E. L.; BERNARDO, G. P.; BERNARDO, L. P.; NASCIMENTO, S. I. B.; LIMA, B. F. R.; SILVA, K. V. C. C.; CAVALCANTE, G. M. E.; RULIM, A. L. L. & DUARTE, J.O. (2018). **Queima Inadequada de Resíduos Sólidos Domésticos, Principais Gases Tóxicos e Manifestações Clínicas: Uma Revisão de Literatura**. Id on Line Rev.Mult. Psic., vol.12, n.42, p. 602-612. ISSN: 1981-1179.

BUDI, S.; SULIASIH, B. A.; OTHMAN, M. S.; HENG, L.Y.; SURIF, S. **Toxicity identification evaluation of landfill leachate using fish, prawn and seed plant**. Waste Management, v. 55, p. 231–237, 2016.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges De, DALSSASSO, Ramon Lucas E ROHERS, Fabio. **Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado**. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2010, v. 15, n. 4

COSTA, C.H. **Estudo Ecotoxicológico para valorização do resíduo produzido no processo de polimento de piso porcelanato na indústria cerâmica**. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

- DA COSTA, F. M. et al. **Evaluation of the biodegradability and toxicity of landfill leachates after pretreatment using advanced oxidative processes.** Waste Management, v. 76, p. 606–613, 2018.
- D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 2ª. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- DEL REY, G. O. et al. **Seasonal variations of geochemical parameters for a tropical landfill: Implications for landfill stabilization.** Applied Geochemistry, v. 121, p. 104686, 2020., das condições ambientais e da idade e modo de operação da área de aterramento
- DEVESA-REY, R., MOLDES, A.B., DIÁZ-FIERROS, F., BARRAL, M.T. **Toxicity of Anllóns River Sediment Extracts Using Microtox and the Zucconi Phytotoxicity Test.** Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, v. 80, p. 225–230, 2008.
- DUARTE, A. S. **Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (Capsicum annun L.).** 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- EMAMI, S.; POURBABAEI, A.A., ALIKHANI, H.A. **Interactive effect of nitrogen fertilizer and hydrocarbon pollution on soil biological indicators.** Environmental Earth Sciences, 2014.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise do Solo.** Rio de Janeiro, RJ, 2011, 2ª edição revisada.
- FANTIN, A.C.M.; FREITAS, D.P.C.; FAGNANI, G.F.; LAPA, T.C.M.A. **Teste de sensibilidade em sementes de Rúcula (Eruca sativa) e Alface (Lactuca sp.) em contato com diferentes concentrações do pesticida Glifosato.** Limeira: UNICAMP-CESET, 2009.
- FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Caderno Técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos.** Belo Horizonte, 2010
- HIMANEN, M.; PROCHAZKA, P.; HANNINEN, K.; OIKARI, A. **Phytotoxicity of low-weight carboxylic acids.** Chemosphere, v. 88, p. 426-431, 2012.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: **abastecimento de água e esgotamento sanitário.** IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
- IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, **Perfil Básico Municipal,** 2017. Disponível em: [www.ipece.ce.gov.br/publicacoes](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes). Acesso em jun de 2023.
- ISO. International Organization for Standardization. ISO 15799: **soil quality: guidance on the ecotoxicological characterization of soil and soil materials.** Geneva, 2001.
- KAPANEN, A.; ITÄVAARA, M. **Ecotoxicity tests for compost applications.** Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 49, p. 1-16, 2001.

KOHATSU, M.Y.; JESUS, T.A.; COELHO, L.H.G.; PEIXOTO, D.C.; POCCIA, G.T.; HUNTER, C. **Fitotoxicidade de água superficial da Região Metropolitana de São Paulo utilizando bioensaio com *Sinapis alba***. *Acta Brasiliensis*, v.2, p. 58-62, 2018.

KOTOWSKI, F. **Temperature relations to germination of vegetable seed**. *Proceedings of the American society for Horticultural Science*, v. 23, p. 176-184, 1926. Interpretação de resultados de germinação. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/303817677\\_Interpretacao\\_de\\_resultados\\_de\\_germinacao](https://www.researchgate.net/publication/303817677_Interpretacao_de_resultados_de_germinacao). Acessado em Jul 2023.

KUNDRÁT, J.T.; GYULAI, I.; SIMON, E.; MIZSEI, E.; BRAUN, M.; TÓTHMÉRÉSZ, B. **Study of the effects of high levels of nutrients on Seed germination and root elongation**. *Polish Journal of Environmental Studies*, v.26, n. 4, p. 1585-1590, 2017.

LI, G.; CHEN, J.; YAN, W.; SANG, N. **A comparison of the toxicity of landfill leachate exposure at the seed soaking and germination stages on *Zea mays L.* (maize)**. *Journal of Environmental Sciences (China)*, v. 55, n. 2008, p. 206–213, 2017.

LOMBARDI, J. V. **Fundamentos de toxicologia aquática**. In: RANZANI-PAIVA, M. J. T.; TAKEMOTA, R. M.; LIZAMA, M. A. P. (Ed.). *Sanidade de organismos aquáticos*. São Paulo: Livraria Varela, 2004. p. 426.

LOPES, Jane Luísa Wadas et al. **Crescimento de mudas de alface em diferentes substratos**. *Biotemas*, v. 20, n. 4, p. 19-25, 2007.

LOPEZ, G.D., CAMBERO, J.P.G., CALVO, A.C. **Germination of *Lactuca sativa* seeds as prescreening in toxicology studies in higher plants**. *Toxicology Letters* 180S, S32–S246, 2008.

MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO FILHO, A. S. **A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos**. *Oecologia Brasiliensis*, v. 12, p. 355-381, 2008.

MAGUIRE, J. D. **Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor**. *Crop Science, Madison*, v. 2, n. 2, p.176-77, 1962.

MOTA, Fábio Alexandre Costa; SANTANA, Genilson Pereira. **Plantas e metais potencialmente tóxicos–estudos de fitorremediação no Brasil**. Manaus: UFAM, 2016.

NIEMEYER, J. C.; SILVA, E. M.; SOUSA J. P. **Desenvolvimento de um esquema para avaliação de risco ecológico em ambientes tropicais: estudo de caso da contaminação por metais em Santo Amaro da Purificação, Bahia, Brasil**. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, v. 2, p. 263-267, 2007.

NIVA, Cintia Carla. **Ecotoxicologia terrestre: métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas** / Cintia Carla Niva, George Gardner Brown, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2019.

OECD, 2003. Organization for Economic Cooperation and Development: **OECD guideline 208. Terrestrial plant test: 208**; Seedling emergence and seedling growth test. Disponível em: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/testing/33653757.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023

OGA, S. 1996. **Fundamentos de toxicologia**. São Paulo: Atheneu, 515 p.

PRIAC, A.; BADOT, P. M.; CRINI, z. **Évaluation de la phytotoxicité d'eaux de rejets via *Lactuca sativa*: paramètres des tests de germination et d'élongation**. Comptes Rendus - Biologies, v. 340, n. 3, p. 188–194, 2017.

PRÜSS-ÜSTÜN, A.; CORVALÁN, C. **Preventing disease through healthy environments – Towards an estimate of the environmental burden of disease**. Geneva: World Health Organization, 2006.

REPETTO, M. 1995. **Toxicología avanzada**. Madrid: Díaz de Santos, 621 p.

RÖMBKE, J. **Ecotoxicological laboratory tests with enchytraeids: a review**. Pedobiologia, v. 47, p. 607-616, 2003.

ROCHA, B.S. **Fitotoxicidade do corante laranja reativo 64 como efluente têxtil tratado por oxidação avançada (US/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)**. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) -Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2017.

RONCO, A.; BÁEZ, M. C. D.; GRANADOS, Y. P. **Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Águas - Estandarización, Intercalibración, Resultados y Aplicaciones**; Morales, G. C., ed. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo: Ottawa, 2004, cap. 1.

SANTOS, Maralí; SANTOS, Jordânio; CARVALHO, Denis. **Impactos Socioambientais e Implicações na Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Floriano, Piauí, Brasil**. 21 nov. 2022, [S.l: s.n.], 21 nov. 2022. p. 1–9. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2022/III-006.pdf>>. Acesso em jun de 2023.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006

SILVA, T. R. et al. **Efeito de subdoses de sulfentrazone em plantas aquáticas e ecotoxicologia para bioindicadores**. Ciência e Cultura. Barretos, v. 16, p. 2 – 10, 2020

SISINNO, C. L. S.; NIEMEYER, J. C.; SEGAT, J. C.; OLIVEIRA FILHO, L. C. L.; NIVA, C. C.; BROWN, G. G. **Importância e aplicações dos ensaios ecotoxicológicos com oligoquetas**. In: NIVA, C. C.; BROWN, G. G. (Org.). *Ecotoxicologia Terrestre: métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas*. Brasília: Embrapa, 2019. p. 45-70.

SCHIRMER G. K. **Utilização do lodo de esgoto na vermicompostagem e como substrato para a produção de mudas de *Pinus elliottii* Engelm.** 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SELUR. Sindicato Das Empresas De Limpeza Urbana. **Índice de sustentabilidade da limpeza urbana para os municípios brasileiros**. 2.ed. Brasília, 2022.

SILVEIRA, G. L. **Modelos Vegetais Aplicados a Estudos de Toxicologia Ambiental: Uma Abordagem Comparativa entre *Allium cepa L.* e *Lactuca sativa L.*** Tese (Mestrado em Botânica Aplicada) Lavras, Minas Gerais. 2016.

SOBRERO, M. C.; RONCO, A. **Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa L.*** In: ROMERO, P. R.; CANTÚ, A. M. (Eds). Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo: la experiencia en México. 1. ed. México: Instituto Nacional de Ecología, 2008. 414 p. Disponível em: <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/573/cap4.pdf>>. Acesso em: jul de 2023.

SONG, B.; ZENG, G.; GONG, J.; ZHANG, P.; DENG, J.; DENG, C.; YAN, J.; XU, P.; LAI, C.; ZHANG, C.; CHENG, M. **Effect of multi-walled carbon nanotubes on phytotoxicity of sediments contaminated by phenanthrene and cádmium**. Chemosphere, v. 172, p. 449-458, 2017.

STEINKELLNER, H *et al.* **Genotoxic Effects of Heavy Metals: Comparative Investigation With Plant Bioassays**. Environmental and Molecular Mutagenesis. [S. l.]. v. 31, n. 2, p. 183-191, 1998.

TRANI, Paulo Espíndola *et al.* **Avaliação de substratos para produção de mudas de alface**. Horticultura Brasileira, v. 25, p. 256-260, 2007.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **USEPA 712-C-96- 167: Seed germination/root elongation toxicity test. Ecological effects test guidelines**. Washington: 1996.

YERUSHALMI L.; ROCHELEAU, S.; CIMPOIA, R.; SARRAZIN, M.; SUNAHARA, G.; PEISAJOVICH, A.; LECLAIR, G.; GUIOT, S. **Enhanced Biodegradation of Petroleum Hydrocarbons in Contaminated Soil**. Journal of Soil Contamination, v.7, n.1, p.37-51, 2010.

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, n.76, p.182-186, 2012.

ZAGATTO, P. A. **Ecotoxicologia**. In: ZAGATTO, P. A. & BERTOLETTI, E. (Org.). Ecotoxicologia aquática: Princípios e Aplicações. São Carlos: RiMa. 2014. p. 1-13.

ZHANG, H.; MA, G.; SUN, L.; HUIYING, L. I. **Effect of alkaline material on phytotoxicity and bioavailability of Cu, Cd, Pb and Zn in stabilized sewage sludge**. Environmental Technology, v. 39, n. 17, p. 2168-217, 2017.

ZULKEPLI, M. H. A. B.; SHAHID, N. S. B. M.; ISHAK, A. R. B.; SHAFIE, F. A. B; YATIM, S. R. B. M.; RAJAN, S. **Phytotoxicity of leachate from closed sanitary landfill on Mung Bean Seed (*Vigna radiata*)**. p. 189–192, 2019.