

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
ETEC Júlio de Mesquita
Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio

Análises fitotóxicológicas da Sulfloramida utilizando sementes de *Lactuca sativa* (alface) e do desenvolvimento de sementes e mudas de *Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme* (tomate-cereja) em solos contaminados com Sulfloramida.

Rebeka Lisboa Cunha¹

Rhaama Oliveira Cruz²

Lúcia Helena Gomes Coelho³

Jhonny Frank Sousa Joca⁴

Maria do Socorro Sousa Silva⁵

Resumo: A Sulfloramida, um agrotóxico amplamente utilizado no controle de formigas cortadeiras, está sujeita a restrições globais pela Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes desde 2009. Um dos maiores problemas associados à Sulfloramida é sua degradação em PFOS, composto cuja toxicidade para mamíferos e organismos aquáticos é amplamente documentada. O uso intensivo desse agrotóxico na agricultura representa uma ameaça significativa à saúde humana e ao meio ambiente. No campo da ciência, existem vários estudos sobre sua toxicidade em animais, mas poucos se dedicam à sua potencial fitotoxicidade. Assim, este trabalho teve como objetivo investigar os efeitos tóxicos da Sulfloramida em plantas, utilizando para isso, duas vertentes: ensaios fitotóxicológicos de germinação e alongamento de raízes de sementes de *Lactuca sativa* (alface) e ensaios de germinação e desenvolvimento de *Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme* (tomate-cereja). Os ensaios da primeira vertente foram analisados mediante comparações estatísticas com as condições de controle positivo e negativo. Ademais, a segunda vertente foi analisada por meio de ANOVA, seguida do teste de Tukey, considerando-se as diferenças estatisticamente significativas quando $p \geq 0,05$. Os resultados indicaram que não houve diferenças estatísticas significativas entre as diferentes condições de tratamento em ambos os ensaios, embora tenha sido observado um alto desvio padrão, sugerindo a necessidade de métodos mais precisos de medição. No entanto, os indivíduos em exposição direta ao agrotóxico apresentaram maior mortalidade. Portanto, mesmo sem diferenças estatisticamente significativas, os efeitos negativos da Sulfloramida no desenvolvimento das plantas foram evidentes, confirmando seu potencial fitotóxico.

Palavras-Chave: Sulfloramida; PFOS; Fitotoxicidade; Ensaios Fitotóxicológicos.

¹Aluna do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – rebeka.cunha@etec.sp.gov.br

²Aluna do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – rhaama.cruz@etec.sp.gov.br

³Professora Orientadora da Universidade Federal do ABC – lucia.coelho@ufabc.edu.br

⁴Professor do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – jhonny.joca@etec.sp.gov.br

⁵Professora do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – maria.silva2473@etec.sp.gov.br

Abstract: Sulfluramid, a widely used pesticide for controlling leaf-cutting ants, has been subject to global restrictions under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants since 2009. One of the main issues associated with Sulfluramid is its degradation into PFOS, a compound whose toxicity to mammals and aquatic organisms is well-documented. The intensive use of this pesticide in agriculture poses a significant threat to human health and the environment. In the field of science, there are several studies on its toxicity in animals, but few focus on its potential phytotoxicity. Thus, this study aimed to investigate the toxic effects of Sulfluramid on plants by employing two approaches: phytotoxicological tests on germination and root elongation of *Lactuca sativa* (lettuce) seeds, and germination and development tests on *Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme* (cherry tomato). The tests of the first approach were analyzed through statistical comparisons with positive and negative control conditions. Furthermore, the second one was analyzed using ANOVA followed by Tukey's test, considering statistically significant differences when $p \geq 0.05$. The results indicated that there were no statistically significant differences between the different treatment conditions in both tests, although a high standard deviation was observed, suggesting the need for more precise measurement methods. However, individuals exposed directly to the pesticide exhibited higher mortality. Therefore, even without statistically significant differences, the negative effects of Sulfluramid on plant development were evident, confirming its phytotoxic potential.

Keywords: Sulfluramid; PFOS; Phytotoxicity; Phytotoxicological Tests.

¹Aluna do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – rebeka.cunha@etec.sp.gov.br

²Aluna do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – rhaama.cruz@etec.sp.gov.br

³Professora Orientadora da Universidade Federal do ABC – lucia.coelho@ufabc.edu.br

⁴Professor do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – jhonny.joca@etec.sp.gov.br

⁵Professora do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio – maria.silva2473@etec.sp.gov.br

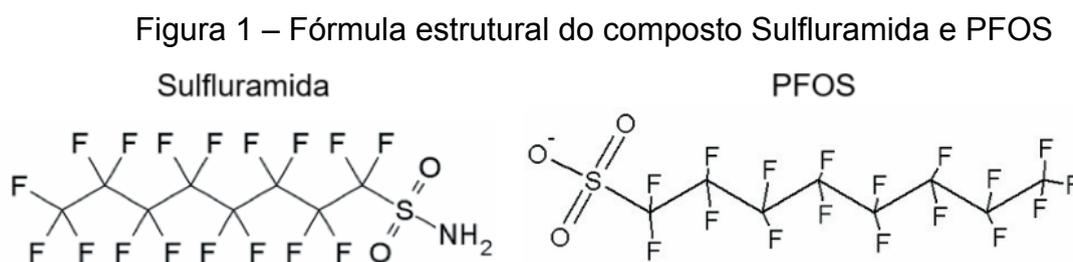
1 INTRODUÇÃO

Os representantes dos governos presentes na 9ª Conferência das Partes da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes aprovaram a continuidade do uso do agrotóxico Sulfluramida na agricultura, mesmo com seus impactos negativos para o meio ambiente, de acordo com a ABRASCO (2019). Segundo Bejarano (2019), a Sulfluramida é um agrotóxico empregado no controle de formigas cortadeiras do gênero *Atta* spp. e *Acromyrmex* spp. que, quando sofre degradação, se transforma em PFOS (Ácido perfluoro-octanossulfônico), um poluente de caráter tóxico, com alta estabilidade química, propriedades surfactantes e extremamente bioacumulável. Segundo a CETESB (2018), O PFOS é um composto do grupo dos PFAS, uma classe de substâncias organofluoradas de cadeia longa, perfluoroalquiladas ou polifluoroalquiladas, com cerca de 5000 substâncias químicas, consideradas poluentes emergentes, amplamente utilizadas em muitos produtos de consumo. Ainda conforme Bejarano (2019), O PFOS está sujeito às medidas de restrição global pela Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), estando na lista, em seu Anexo B, desde 2009.

Segundo a ABRASCO (2019), o Brasil é o principal consumidor mundial de Sulfluramida, substância copiosamente usada em países da América Latina. A Sulfluramida já não é mais fabricada nos Estados Unidos, na Europa e na China, entretanto, como citado por Gilljam *et al.* (2015), possui uma importância singular na América Latina, lugar onde, por estar localizado em uma região tropical, a proliferação das formigas cortadeiras é favorecida e, por consequência, a busca por métodos de controle dessa praga aumenta. Apesar dos perigos do PFOS, foram concedidas várias isenções para o emprego da Sulfluramida, como seu uso em iscas, conforme diz Bejarano (2019), pois, os métodos de controle biológico e outros não-químicos não apresentam a eficácia necessária em áreas de plantio de larga-escala, sendo os métodos químicos os mais adotados, principalmente o uso de iscas formicidas à base de Sulfluramida, sendo ela então, indispensável para o controle eficaz de formigas cortadeiras, como lembra Vinha (2017).

Conforme diz Bejarano (2019), a Sulfluramida é encontrada no mercado através das marcas Mirex-S, FLUORAMIN, Grão Verde, entre outras. Sulfluramida ($C_{10}H_6F_{17}NO_2S$) é o nome usual do composto químico N-etil-perfluoro-octano-1-sulfonamida (EtFOSA), classificada em muitos países na

categoria toxicológica IV, considerando somente sua toxicidade aguda, portanto, não é consideravelmente tóxica; e na categoria III como perigosa para o meio ambiente. O verdadeiro revés da Sulfluramida é sua degradação em PFOS, substância tóxica, extremamente estável, resistente à biodegradação, foto-oxidação, hidrólise e fotólise, ou seja, extremamente persistente. Possui também alta capacidade de bioacumulação e biomagnificação e é capaz de ser transportado a grandes distâncias. A Figura 1 refere-se à estrutura da Sulfluramida e do PFOS:



Fonte: Adaptado de Bejarano (2019)

Sua toxicidade nos mamíferos e organismos aquáticos foi comprovada através de diversos estudos, estando relacionada à alterações de peso e reduções no colesterol sérico e hormônios tireoidianos; também se relaciona com efeitos hepatotóxicos e carcinogênicos. Logo, o seu uso em larga escala na agricultura é preocupante para a saúde e o meio ambiente, como lembra a ABRASCO (2019).

Como ressalta Ghisi (2019), há poucos estudos sobre as rotas da Sulfluramida nos diferentes compartimentos ambientais e como os organismos podem ser afetados pelo processo de contaminação, o que torna urgente a busca pelo entendimento de seus mecanismos e estratégias de combate. A acumulação de PFOS nas plantas, por exemplo, está diretamente relacionada com a taxa de aplicação da Sulfluramida no solo, com valores maiores no caule e folha do que em raízes ou grãos das plantas. Entretanto, como destacado por Wen *et al.* (2016) e Müller *et al.* (2016), essa taxa de acumulação varia entre as espécies, por conta dos níveis de proteínas ou às diferentes composições e áreas superficiais de seus sistemas radiculares. Ademais, os efeitos de contaminação por pesticidas aplicados em um sistema terrestre podem influenciar no crescimento e bioacumulação do composto nas plantas, evidenciando, então, seu potencial poluente, como lembra Bila (2003). Ao final, o presente estudo parte da

hipótese que a germinação das sementes empregadas pode sofrer um efeito fitotóxico pela exposição à Sulfloramida por possuírem um alto teor de proteínas em sua composição, conforme Marini *et al.* (2008).

De acordo com Munzuroglu (2002), A fitotoxicologia é a área preocupada com o estudo de efeitos toxicológicos causados por poluentes naturais ou sintéticos sobre os constituintes vegetais dos ecossistemas. Logo, a aplicação de ensaios fitotoxicológicos é um método sensível, simples, rápido e de baixo custo, capaz de analisar o potencial tóxico dessas substâncias no meio ambiente. Os ensaios fitotoxicológicos se baseiam, portanto, nos índices de crescimento radicular e germinação, obtidos a partir do teste de germinação, o qual é padronizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento desde 1967, com o uso do RAS (Regras para Análise de Sementes), em que são estabelecidos critérios para serem adotados nos fatores externos, como temperatura, e exposição ou ausência de luz, permitindo sua reprodutibilidade, pois, em condições desfavoráveis, as sementes tornam-se altamente sensíveis ao estresse ambiental, tendo seu metabolismo e fisiologia alterados (BRASIL, 2009).

Assim, os bioensaios de fitotoxicidade acompanhando o desenvolvimento de sementes, como as da espécie *Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme* (tomate-cereja) têm sido utilizados como um método simples para estudar os efeitos da presença de contaminantes no meio ambiente. Afinal, insere-se como método para os ensaios fitotoxicológicos, a observação dos efeitos letais, através do índice de germinação, e subletais, como crescimento de hipocótilo e comprimento de raiz principal, com intuito de verificar os efeitos provocados pela presença da Sulfloramida no solo, de acordo com Campagna-Fernandes (2016) e Merino *et al.* (2018).

Outrossim, os ensaios fitotoxicológicos utilizando sementes como as de *Lactuca sativa* (alface), que passam pelo processo de incubação, se baseiam, então, nos índices de crescimento radicular e germinação, obtidos a partir do teste de germinação, também se mostram como um método simples para o estudo da fitotoxicidade do contaminante (BRASIL, 2009).

Por fim, o estudo sobre os impactos da Sulfloramida no desenvolvimento de organismos vegetais é de suma importância para o meio ambiente e a sociedade. O reconhecimento de sua fitotoxicidade na fisiologia das plantas proporcionará não apenas uma maior compreensão sobre a dinâmica desse poluente no meio ambiente, mas também a projeção de possíveis danos ambientais e até

alimentares que poderão afetar muitos setores da sociedade.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo verificar a fitotoxicidade da Sulfluramida através da germinação e alongamento de raízes de sementes de *Lactuca sativa* (alface), e pelo desenvolvimento de sementes e mudas de *Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme* (tomate-cereja) em solos contaminados com Sulfluramida.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Reagentes

Para o preparo da solução ISO water foram utilizados os seguintes reagentes: NaHCO₃ (Perfyl Tech, Brasil), CaCl₂ (Pur, Brasil), MgSO₄ (Vetec, Brasil), KCl e água deionizada produzida no laboratório. O restante das soluções foi preparado utilizando-se os reagentes a seguir: Sulfluramida de grau analítico (Drehrenstorfer, Alemanha), Sulfluramida comercial (Atta-Kill, Brasil), K₂Cr₂O₇ (Perfyl Tech, Brasil) e água deionizada produzida no laboratório. Para medir as massas dos reagentes, foram utilizadas, respectivamente: balança analítica modelo AUW220D (Shimadzu, Filipinas) e balança semi-analítica modelo UX620H (Shimadzu, Filipinas).

Na fase de germinação em solo contaminado com o agrotóxico, utilizou-se sementes de *Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme* (tomate-cereja) (Isla, Brasil). No ensaio de exposição às mudas, foram utilizadas mudas de tomate-cereja adquiridas em comércio local. No experimento realizado em placas de Petri, utilizou-se sementes de *Lactuca sativa* (alface) (Isla, Brasil). A terra utilizada nos experimentos foi cedida por Ana Cristina Braga Silva (Brasil).

No ensaio de germinação em placas de Petri, as placas foram mantidas em câmara germinadora modelo SSGF - 120L (SolidSteel, Brasil) e capela de exaustão. As medições do caule e da raiz foram feitas com auxílio de paquímetro digital de 150 mm de escala e resolução 0,02 mm, modelo 502.150BL (Kingtools, China). Nos ensaios de germinação em solo contaminado e exposição às mudas, as medições foram realizadas com régua milimetrada (Waleu, Brasil). Para medir os volumes, utilizou-se uma pipeta automática modelo 145382 (Kasvi, Brasil).

A análise dos dados foi feita por meio de ANOVA, seguida do teste de Tukey, considerando-se as diferenças estatisticamente significativas quando $p \geq 0,05$.

2.2 Procedimento Experimental

2.2.1 Pré-tratamento das sementes

Como pré-tratamento, após a obtenção comercial das sementes de *Lactuca sativa* e *Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme* foram realizados os processos de hidratação e seleção das sementes, a partir da imersão das sementes em 200 mL água mineral, agitação em movimentos circulares e repouso por 24h para remoção daquelas que não precipitaram, visto que estas teriam menor capacidade germinativa, pela ausência de embrião (BRASIL, 2009).

2.2.2 Ensaio com germinação de sementes em solo contaminado

Adaptadas de Campagna-Fernandes (2016) e Merino *et al.* (2018) inserem-se como metodologia para o estudo de fitotoxicidade as observações dos efeitos letais, através do índice de germinação, e subletais, como o crescimento de hipocótilo, a fim de verificar os efeitos provocados pela presença da Sulfluramida no solo. Ao longo do experimento foram monitorados os valores de temperatura média diária e umidade relativa de ar para a região do plantio na UFABC. As sementeiras foram alocadas em área ensolarada dentro do Laboratório de Análises Ambientais da Universidade Federal do ABC.

O cultivo das sementes foi feito em sementeiras de 36 células de germinação cada, devidamente identificadas, de acordo com o tipo de rega que receberam. As células foram completadas com terra adquirida comercialmente, e previamente contaminadas com solução de Sulfluramida, de acordo com sua identificação: As sementeiras na condição “Rega Constante” foram contaminadas com 15 mL de solução e as sementeiras na condição “Rega Única”, com 3 mL, para cada uma das concentrações testadas. A seguir, o solo foi perfurado com auxílio de espátula e foram alocadas duas sementes em cada célula.

Nessa etapa da pesquisa (realizada entre fevereiro e março de 2024), os experimentos consideraram o efeito crônico da Sulfluramida por meio do contato direto das sementes através da rega e os efeitos da exposição ao solo contaminado. Para tanto, foram montadas três configurações de sementeiras: sistema controle, regado apenas com água de torneira; sistema de rega única, com contato com Sulfluramida pelo solo contaminado com o volume de somente uma rega, sendo as regas feitas com água de torneira e; sistema de rega recorrente com solução de Sulfluramida. A frequência da rega foi estabelecida de 2 a 3 vezes por semana, a

dependem das condições de umidade sensorial do solo, e o volume de água ou de solução de Sulfluramida aplicado foi definido em 3 mL.

Foram testadas diferentes concentrações de solução de Sulfluramida preparadas em água deionizada: 10, 100, 250 e 500 $\mu\text{g L}^{-1}$. Semanalmente foram obtidos os números de germinações de sementes plantadas em cada sementeira e medido o comprimento de hipocótilo em 18 plântulas, escolhidas aleatoriamente, com auxílio de régua.

2.2.3 Exposição às mudas

Para esta etapa do experimento, foram levados em conta a observação dos efeitos letais (morte das plantas) e subletais, como o crescimento de hipocótilo, a fim de verificar os efeitos provocados pela presença da Sulfluramida no solo. Novamente, foram monitorados os valores de temperatura média diária e umidade relativa de ar para a região do plantio na UFABC. As sementeiras foram alocadas na mesma área da fase anterior.

O realocamento das mudas foi feito em sementeiras com 36 células cada, devidamente identificadas, de acordo com o tipo de contaminação que receberam. Após a muda estar alocada na célula, o espaço vazio foi completado com terra obtida comercialmente.

Nessa fase da pesquisa (realizada entre julho e agosto de 2024) os experimentos consideraram o efeito crônico da Sulfluramida por meio do contato direto das mudas através da rega e os efeitos da exposição ao solo contaminado com aplicação direta do agrotóxico. Para tal, foram montadas três configurações de sementeiras: sistema controle, regado apenas com água de torneira; rega recorrente com solução de Sulfluramida e; aplicação direta do agrotóxico no solo, sendo todas as regas realizadas com água da torneira. A frequência e volume da rega foram os mesmos do ensaio anterior.

As soluções utilizadas nesta etapa mantiveram as concentrações da anterior, com a diferença de que as soluções foram preparadas com Sulfluramida comercial e as concentrações foram calculadas com base no teor de Sulfluramida informado no rótulo do agrotóxico, ou seja, as concentrações testadas foram dadas em relação ao composto Sulfluramida presente no produto. Para a condição de aplicação direta, calculou-se a massa de agrotóxico a ser aplicada em cada célula (de área igual a 16 cm^2) com base na recomendação de aplicação fornecida pelo rótulo: 10 g por m^2 .

que equivale 1 mg por cm², assim, foram aplicados 16 mg do agrotóxico em cada uma das 36 células da sementeira.

Semanalmente foram obtidos os números de mortes de indivíduos em cada sementeira e medido o comprimento de hipocótilo em 18 plântulas, escolhidas aleatoriamente, com auxílio de régua.

2.2.4 Ensaio com germinação de sementes em placa de Petri

Foram realizados bioensaios com sementes de *Lactuca sativa* (alface) a fim de avaliar o potencial fitotóxico da Sulfluramida na germinação e crescimento radicular desses organismos. Foi testada água com adição da Sulfluramida e comparação com sistema controle (OECD 201, 2002). A solução ISO water (2 mmol L⁻¹ de CaCl₂, 0,5 mmol L⁻¹ de MgSO₄, 0,8 mmol L⁻¹ de NaHCO₃ e 0,08 mmol L⁻¹ de KCl) foi empregada como controle negativo e uma solução de K₂Cr₂O₇ 50 mg L⁻¹, como controle positivo. O controle ISO water corresponde a uma solução que garante as condições mínimas de crescimento de todos os organismos ou das comunidades de microrganismos aquáticos avaliados nos testes ecotoxicológicos (OECD 201, 2002). Foram testadas diferentes concentrações de solução de Sulfluramida de grau analítico: 10, 100, 250, 500 e 1000 µg L⁻¹.

Para os ensaios, foram utilizadas placas de Petri cobertas com papéis absorventes, gramatura 300 g m⁻², previamente cortados em círculos. Em cada placa, foram adicionados 4,0 mL da amostra e aguardado um período para que todo o papel absorvesse completamente o líquido. Em seguida, 10 sementes de alface foram dispostas em linha reta a $\frac{3}{4}$ na placa de Petri devidamente identificada e, por fim, as placas foram embaladas em filme PVC e colocadas na incubadora em uma posição semi vertical. Os testes foram feitos em replicatas para garantir a confiabilidade dos resultados. A germinação ocorreu sob condições de escuridão a 25°C. O tempo de incubação depende das características do lote de sementes, mas foi avaliado no início do treinamento experimental, podendo variar de 48 h a 96 h.

Após a incubação, as sementes foram analisadas segundo três variáveis: (1) número de sementes germinadas, (2) comprimento total dos brotos e (3) comprimento da raiz.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Monitoramento do experimento em solo contaminado com Sulfluramida

Os dados foram coletados durante os 28 primeiros dias no experimento, e foi realizado o descarte no dia 31 (25/03) após constatar a morte da maioria dos indivíduos. A Figura 6 ilustra o desenvolvimento das plântulas no decorrer dessa etapa do experimento (entre os dias 23 de fevereiro e 25 de março de 2024).

Figura 2 - Registro fotográfico das plantas no experimento com solo contaminado com Sulfloramida realizado entre os dias 23 de fevereiro e 25 de março de 2024.



Dia 0 (23/02)



Dia 3 (26/02)



Dia 5 (28/02)



Dia 7 (01/03)



Dia 11 (05/03)



Dia 14 (08/03)

Figura 2 (Cont.) - Registro fotográfico das plantas no experimento com solo contaminado com Sulfloramida realizado entre os dias 23 de fevereiro e 25 de março de 2024.



Dia 17 (11/03)



Dia 19 (13/03)



Dia 21 (15/03)



Dia 24 (18/03)



Dia 28 (22/03)

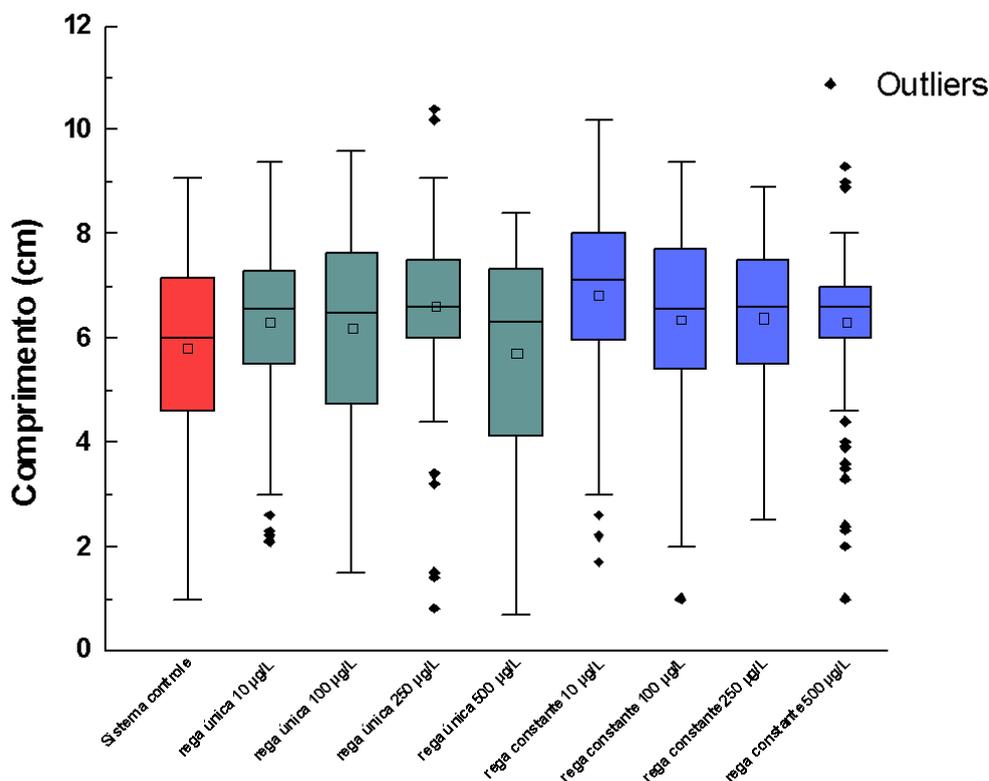


Dia 31 (25/03)

Fonte: Autoras (2024)

A Figura 3 compila os dados relativos aos comprimentos dos hipocótilos nas diferentes condições testadas, denotando também as médias e desvios padrões em um gráfico “box plot”.

Figura 3 - Variação dos comprimentos dos hipocótilos nas diferentes condições



Fonte: Autoras (2024)

A partir da análise do gráfico, é possível depreender que todas as condições tiveram resultados estatisticamente iguais ($p \geq 0,05$).

Nota-se a presença de muitas discrepâncias nos dados (outliers), possivelmente, devido a erros nas medições de altura, que foram todas realizadas com o auxílio de régua milimetrada, um instrumento pouco preciso, o que também pode explicar o alto valor dos desvios.

Com a observação dos dados, verifica-se que a média dos comprimentos dos hipocótilos dos indivíduos em exposição à Sulfloramida foram, no geral, maiores que as do controle, sendo que, a condição “rega constante” apresentou as maiores médias. Isso se deve, possivelmente, às plantas terem assimilado o agrotóxico e utilizado-o como fonte de carbono, o que explica um maior crescimento.

2.3.2 Monitoramento do experimento de exposição às mudas

O experimento ocorreu no período de 24 dias, e o descarte foi realizado no dia 24 (19/08) após constatar a morte da maioria dos indivíduos.

A Figura 4 ilustra o desenvolvimento das plântulas no decorrer dessa etapa do experimento (entre os dias 26 de julho e 19 de agosto de 2024).

Figura 4 - Registro fotográfico das plantas no experimento com mudas expostas à Sulfloramida realizado entre os dias 26 de julho e 19 de agosto de 2024.

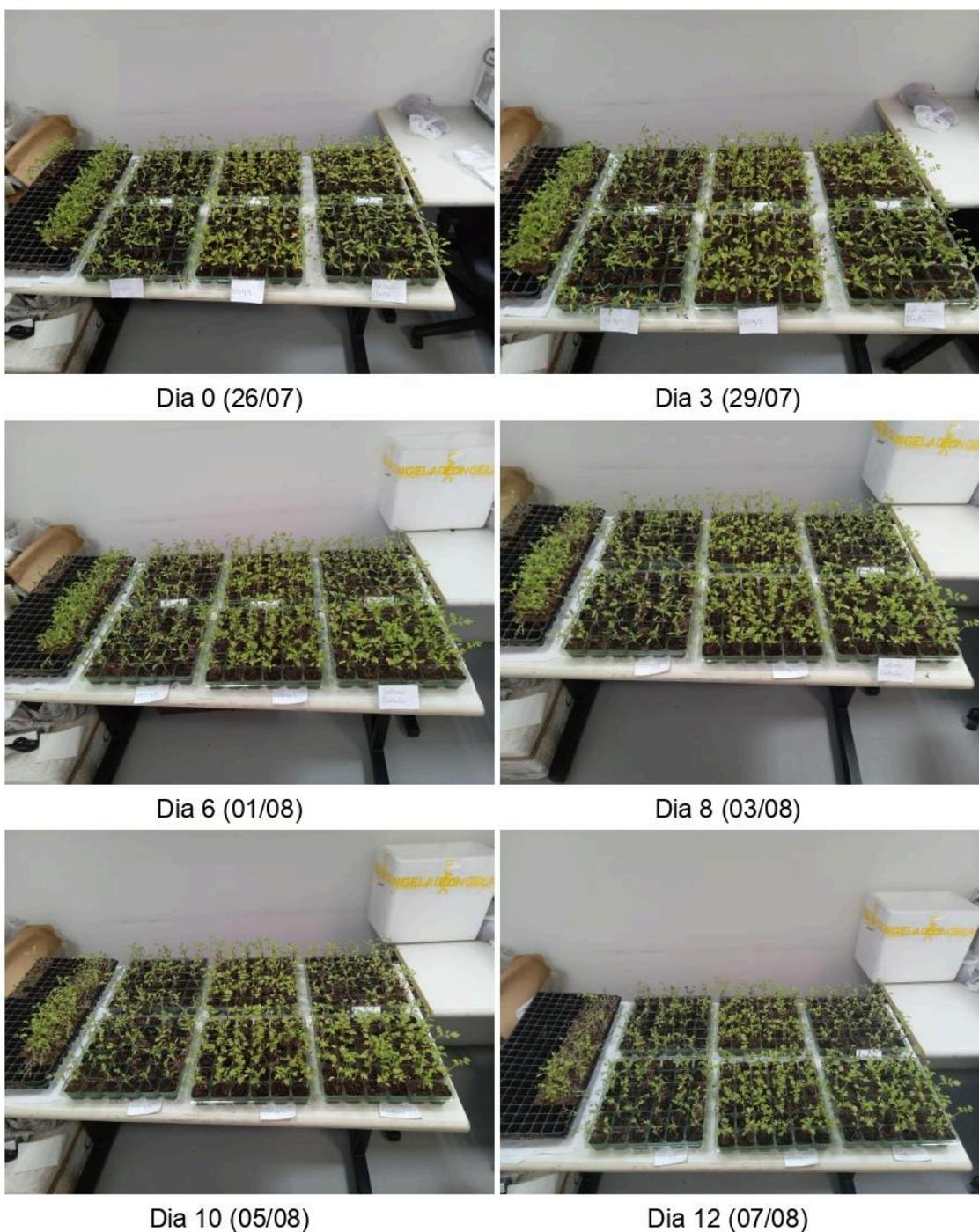


Figura 4 (Cont.)- Registro fotográfico das plantas no experimento com mudas expostas à Sulfloramida realizado entre os dias 26 de julho e 19 de agosto de 2024.



Dia 14 (09/08)



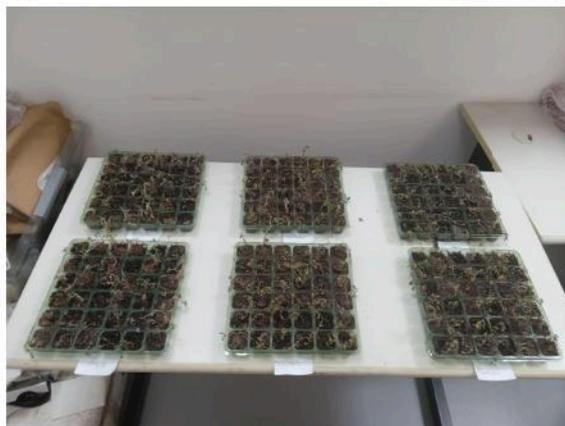
Dia 17 (12/08)



Dia 19 (14/08)



Dia 21 (16/08)

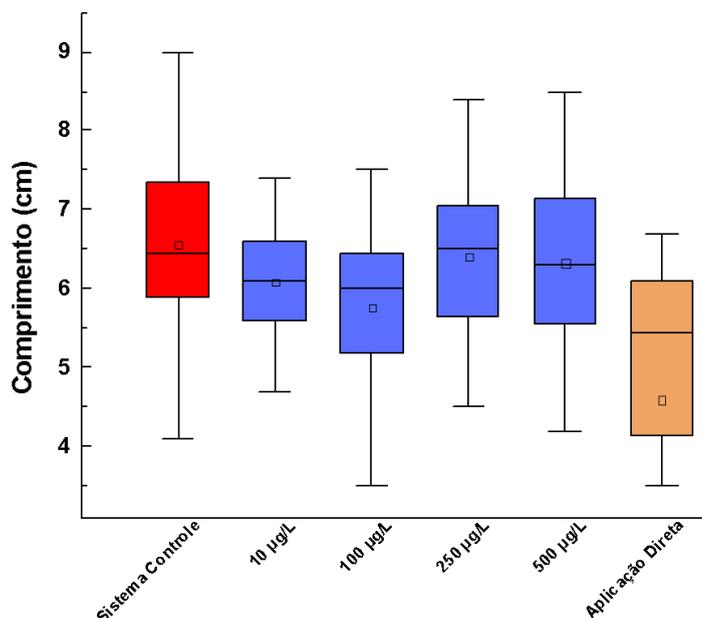


Dia 24 (19/08)

Fonte: Autoras (2024)

A Figura 5 compila os dados relativos aos comprimentos dos hipocótilos nas diferentes condições testadas, denotando também as médias e desvios padrões em um gráfico “box plot”:

Figura 5 - Variação dos comprimentos dos hipocótilos nas diferentes condições



Fonte: Autoras (2024)

A partir da análise do gráfico, infere-se que os resultados para todas as condições foram estatisticamente iguais ($p \geq 0,05$).

Percebe-se também um alto desvio-padrão, o que se explica pelo fato das medições terem sido realizadas com régua milimetrada, um instrumento de pouca precisão. Percebe-se que as condições com contaminação 250 e 500 $\mu\text{g L}^{-1}$ tiveram maiores médias em relação ao controle, enquanto as condições de regas com baixas concentrações de Sulfluramida comercial e com alta exposição ao agrotóxico obtiveram menores médias em relação ao controle. Com isso, possivelmente as plântulas utilizaram a Sulfluramida como fonte de carbono, o que explica o maior crescimento, entretanto, em concentrações baixas e em muito altas, o composto não apresentou esse efeito.

Alguns contaminantes potencialmente tóxicos, em baixas concentrações, podem ter efeito estimulante em determinadas espécies de plantas, fenômeno conhecido como Hormesis. Esse efeito ocorre porque pequenas quantidades do contaminante ativam mecanismos de defesa nas plantas, melhorando o metabolismo, a eficiência de uso de recursos ou a resistência ao estresse. De acordo com Blaine *et al.* (2015), culturas alimentares expostas a baixos níveis de PFAS não demonstraram fitotoxicidade, indicando que essa exposição pode ser tolerada sem efeitos significativos no crescimento.

A Figura 6 denota o número de indivíduos mortos no decorrer do ensaio:

Figura 6 - Número de indivíduos mortos nas diferentes condições do experimento no ensaio de exposição de Sulfluramida às mudas ao longo do tempo.

	07/ago	09/ago	12/ago	14/ago	16/ago	19/ago
● Sistema Controle	0	0	12	19	24	48
● 10µg/L	0	0	4	11	19	42
● 100µg/L	1	2	9	14	19	40
● 250µg/L	1	2	11	16	34	60
● 500µg/L	0	1	4	19	25	54
● Aplicação Direta	5	5	41	48	62	68

Fonte: Autoras (2024)

Com a análise do número de indivíduos mortos, observa-se que a condição “aplicação direta” teve maiores valores quando comparada ao controle, além de que as condições com rega em concentrações 250 e 500 µg L⁻¹ tiveram maior número de indivíduos mortos se comparadas ao controle no mesmo período. Assim, mesmo que a assimilação da Sulfluramida tenha feito as plântulas crescerem mais rapidamente, nem sempre esse crescimento é positivo, pois junto às maiores médias, há também uma maior fraqueza dos indivíduos.

O estudo de Chen *et al.* (2020) analisou os efeitos fitotóxicos do ácido perfluorooctanoico (PFOA) e do perfluorooctano sulfonato (PFOS) em várias espécies de plantas cultivadas por hidroponia. Os resultados indicaram que as plantas exibiram diferentes respostas, com algumas espécies mostrando 19 crescimento aumentado em baixas concentrações de PFOA/PFOS e inibição de crescimento em concentrações mais altas.

Como a sulfluramida é um composto persistente, sua acumulação no solo pode aumentar a toxicidade ao longo do tempo, especialmente em ambientes onde o composto é aplicado diretamente no solo. De acordo com Li *et al.* (2018), a presença de PFAS no solo pode alterar a capacidade das plantas de absorver nutrientes essenciais, como NPK, e afetar negativamente a saúde do sistema radicular. Esse acúmulo pode resultar em efeitos fitotóxicos mais pronunciados em culturas ou plantas que crescem nessas áreas.

2.3.3 Ensaio de incubação de sementes

Com os dados obtidos foram feitas planilhas para organizar a média e o desvio padrão nas diferentes condições (Figura 7).

Figura 7 - Tabela referente a Média e Desvio Padrão dos dados obtidos.

Condição:	Média comprimento do caule (mm):	Média comprimento da raiz: (mm)	Desvio Padrão comprimento do caule:	Desvio Padrão do comprimento da raiz:
ISO WATER	5,64	21,06	3,94	14,48
K ₂ Cr ₂ O ₇ 50mg/L	5,04	2,14	3,07	10,08
Sulfluramida 1mg/L	5,77	22,57	3,96	14,91
Sulfluramida 10mcg/L	5,26	22,87	3,6	17,04
Sulfluramida 100mcg/L	5,98	2,41	4,3	15,35
Sulfluramida 250mcg/L	6,46	26,76	4,6	15,49
Sulfluramida 500mca/L	6,3	21,74	4,18	14,26

Fonte: Autoras (2024)

Observa-se com a Figura 7 altos valores de desvios, determinados pelo alto índice de discrepâncias (outliers) que envolveram os dados.

Foram realizados registros fotográficos das sementes expostas nas condições de controle negativo, solução ISO WATER (Figura 8), e de controle positivo, solução K₂Cr₂O₇ 50 mg/L (Figura 9), utilizadas como parâmetros para os testes com as concentrações de Sulfluramida analisadas.

Figura 8 - Condição ISO WATER.



Figura 9 - Condição K₂Cr₂O₇ 50 mg

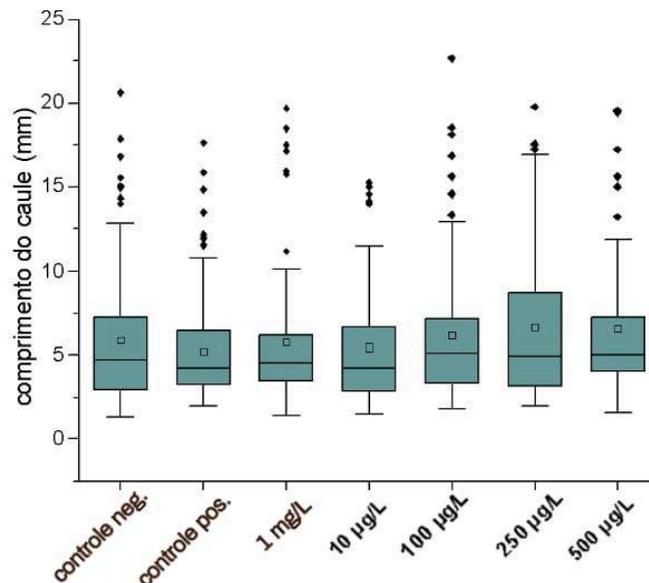


Fonte: Autoras (2024)

Observa-se que é notória a diferença do desenvolvimento das sementes expostas ao controle positivo e ao negativo.

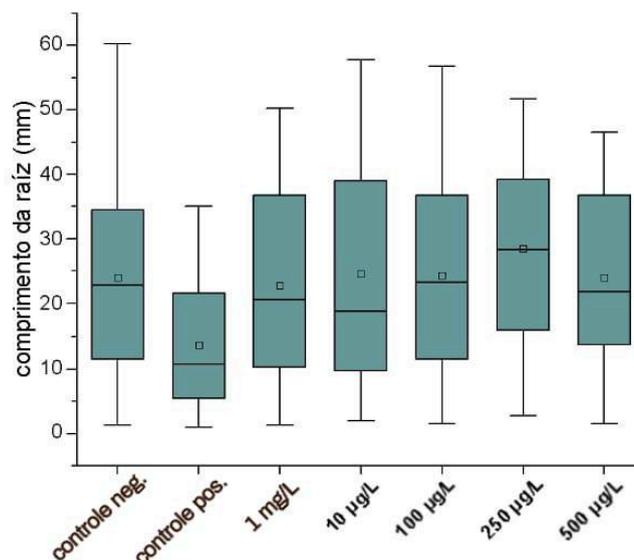
As Figuras 10 e 11 são gráficos que compilam os dados relativos aos comprimentos dos caules e das raízes (mm) nas diferentes condições testadas, denotando também as médias e desvios padrões em um gráfico “box plot”:

Figura 10 - Avaliação e comparação das médias do comprimento de caule para sementes de alface nas diferentes condições experimentais



Fonte: Autoras (2024)

Figura 11 - Avaliação e comparação das médias do comprimento de raiz para sementes de alface nas diferentes condições experimentais



Fonte: Autoras (2024)

A partir das análise dos gráficos, observa-se que os dados não apresentam resultados estatisticamente diferentes, pelo contrário, a variação principalmente com as exposições do agrotóxico, são parecidas. É possível destacar a presença de muitas discrepâncias (outliers) nos gráficos, principalmente o com os dados do comprimento do caule. Isso pode ter sido ocasionado em possível consequência da não homogeneidade dos materiais utilizados durante o período de análises, entretanto, para o gráfico do comprimento de raiz, é possível visualizar que a média para a amostra de controle positivo ($K_2Cr_2O_7$ 50 mg/L), utilizado como parâmetro de comparação, é bem menor, estatisticamente, que para as outras condições, viabilizando os parâmetros utilizados nas análises.

Assim, não é possível inferir que haja algum nível de ecotoxicidade nas concentrações determinadas para essa análise.

3 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A partir dos dados obtidos, observa-se que os ensaios de incubação atestam que a Sulfluramida não apresenta grandes interferências nos índices de germinação das sementes que entraram em contato com esse composto nas diferentes concentrações utilizadas, durante o período de germinação e desenvolvimento dessas sementes. Além da análise das médias e desvios padrões, foi feita para ápice de parâmetro, a comparação das amostras dos controles, e os mesmos apresentam valores diferentes mas estatisticamente consideráveis.

O ponto em princípio, é o de que se for realizada a análise isolada dos dados, as concentrações de Sulfluramida apresentam muitos valores variados, transmitindo um instabilidade de seu potencial fitotóxico, potencial esse que em termos ambientais, pode acarretar diversas problemáticas. Ademais, todos os ensaios realizados obtiveram altos valores de desvio padrão, podendo ser explicados por fatores intrínsecos, como a viabilidade da germinação, fatores extrínsecos, como a influência da temperatura, ou em termos técnicos, a não homogeneidade dos materiais utilizados ao longo das análises, implicando a necessidade de métodos mais precisos para um verdadeiro desfecho dos efeitos fitotoxicológicos do composto Sulfluramida.

Além do mais, conforme os resultados obtidos nos ensaios de desenvolvimento, é possível verificar que a Sulfluramida provocou efeitos negativos no desenvolvimento das plantas, evidenciando seu potencial fitotóxico. O ensaio

com Sulfloramida de grau analítico teve resultados - de valores de comprimento de hipocótilo - nos quais não houve diferenças estatisticamente significativas em relação ao sistema controle, mas, ao analisar as médias isoladas, percebe-se que as condições com contaminação obtiveram maiores médias em relação ao controle, o que implica que as plântulas assimilaram o agrotóxico e o utilizaram para se desenvolver. Entretanto, essa assimilação nem sempre provoca um crescimento saudável, como observado no ensaio com Sulfloramida comercial, no qual, mesmo com resultados de comprimento de hipocótilo estatisticamente iguais, teve uma taxa de mortalidade das condições com maiores concentrações (250, 500 $\mu\text{g L}^{-1}$ e aplicação direta) maior que o controle, indicando que a exposição ao agrotóxico foi prejudicial para a plântula.

Outrossim, ambos os ensaios obtiveram altos valores de desvio padrão, o que indica um erro nas medições realizadas com régua, implicando na necessidade de realizar as medições com um instrumento mais preciso. Por fim, os ensaios realizados demonstraram que a Sulfloramida tem influência no desenvolvimento das plantas, e que a continuidade dos estudos a seu respeito é de suma importância para o meio ambiente.

4 REFERÊNCIAS

ABRASCO. **Aprovado o uso agrícola de sulfluramida, apesar dos danos à saúde**, 8 de maio de 2019. Disponível em: <https://abrasco.org.br/aprovado-o-uso-agricola-de-sulfluramida-apesar-dos-danos-a-saude/>. Acesso em 15 de março de 2024.

BEJARANO Fernando, CARCAMO María. **NÃO À SULFLURAMIDA. RAZÕES PARA A PROIBIÇÃO DESTE AGROTÓXICO EM TODO O MUNDO**, março de 2019. Disponível em: https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-sulfuramide_portugues-factsheet-v1_10a-pt_copia.pdf. Acesso em 15 de março de 2024.

BILA, Daniele Maia; DEZOTTI, Márcia. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 523-530, 2003.

BLAINE, A. C., RICH, C. D., HUNDAL, L. S., LAU, C., MILLS, M. A., HARRIS, K. M., & HIGGINS, C. P. (2013). Uptake of perfluoroalkyl acids into edible crops via land applied biosolids: Field and greenhouse studies. **Environmental Science & Technology**, 47(24), 14062-14069.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes (RAS)**. Brasília: MAPA/Secretaria de Defesa Agropecuária, p. 399, 2009.

CAMPAGNA-FERNANDES, A.F.; MARIN, E.B.; PENHA, T.H.F.L.. Application of root growth endpoint in toxicity tests with lettuce (*Lactuca sativa*). **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 11, n. 1, p. 27–32, 2016.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo: **PFAS (PFOA, PFOS, PFOS-F, PFBS e outros)**, 2018. Disponível em https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/12/PFAS_PFOA_PFOS_POSF_PFBS_GENX.pdf . Acesso em 21 de março de 2024.

CHEN, H., ZHANG, C., HAN, J., YU, Y., & CHEN, J. (2020). Phytotoxicity of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) to plants in hydroponic culture. **Environmental Pollution**, 257, 113622.

GHAVA, Kiran; RATHOD, Mayuri C.; DHALE, D.A. Effect of antibiotics on seed germination and root elongation of wheat. **International Journal Of Current Microbiology And Applied Sciences**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 516-527, 2015.

GHISI, R.; VAMERALI, T.; MANZETTI, S. Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. **Environmental Research**, 169, 326– 341, 2019.

GILLJAM John *et. al*; Is On going Sulfluramid Use in South America a Significant Source of Perfluorooctanesulfonate (PFOS)? Production Inventories, Environmental Fate, and Local Occurrence. **Environmental Science & Technology**, 50, 2, 653–659, 2016

LI, Y., OLIVER, D. P., KOOKANA, R. S., & MUNOZ, G. (2018). Perfluoroalkyl acids in soils: A review of sources, occurrence, and fate. **Science of The Total Environment**, 627, 1234-1244.

MARINI, P. *et al.* Qualidade fisiológica de sementes e crescimento de plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas ao nitrogênio. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 31, nº 1, p. 222-227, 2008.

MERINO, Francis José Zortéa *et al.* A study of the phytotoxic effects of the aerial parts of *Senecio westermanii* Dusén (Asteraceae) on *Lactuca sativa* L. and *Allium cepa* L. seeds, **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 54, n. 3, 2018.

MÜLLER, C. E. *et al.* Competing mechanisms for perfluoroalkyl acid accumulation in plants revealed using an Arabidopsis model system, **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 35, n. 5, p. 1138-1147, 2016.

MUNZUROGLU, O.; GECKIL, H. Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 43, p.203-213, 2002.

OECD. **Test No. 201: OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test.** Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. 2002.

VINHA, Germano. **SULFLURAMIDA COMO INGREDIENTE ATIVO DE ISCAS FORMICIDAS NO MANEJO DE FORMIGAS CORTADEIRAS.** Universidade Federal de Viçosa , Viçosa – Minas Gerais, 2017.

WEN, B. *et al.* The roles of protein and lipid in the accumulation and distribution of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in plants grown in biosolids-amended soils. **Environmental Pollution**, 216, 682–688, 2016.