

Educação

## Construindo Conceitos de Ecotoxicologia no Ensino Básico: Experimentos com Plantas

Victor Delamerlini Rodrigues<sup>1</sup>; Giovana Duarte Cassimiro<sup>1</sup>; Allan Pretti Ogura<sup>2</sup>; Renata Martins dos Santos Paro<sup>1</sup>; Raquel Aparecida Moreira<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus São Carlos. Estrada Municipal Paulo Eduardo de Almeida Prado, CEP: 13.565-820, São Carlos, SP, Brasil

<sup>2</sup> NEEA/SHS e PPG-SEA, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São Carlense, 400, 13.560-970 São Carlos, Brazil

Recebido 30 de Setembro de 2022; Aceito 27 de Dezembro de 2022

### Resumo

Neste trabalho, sugerimos uma aula prática envolvendo testes de toxicidade a serem realizados com plantas, para avaliar e dimensionar efeitos aos ecossistemas. Destacamos o teste de germinação de sementes que é utilizado por agências ambientais brasileiras, como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Esse teste é de fácil manipulação, rápido e visualmente didático, tendo potencial educacional para a construção de conceitos básicos de Ecotoxicologia no Ensino Básico, tais como sensibilidade das espécies, toxicidade e dose-resposta. Essas atividades têm relação com o cotidiano do(a) aluno(a) e da população em geral, podem ser abordadas de forma lúdica e ainda são pouco trabalhadas nas escolas. Diante disso, o objetivo foi proporcionar aos alunos de uma escola de educação básica e tecnológica uma experiência em pesquisa científica. A avaliação da germinação foi feita com sementes de alface (*Lactuca sativa*), rúcula (*Eruca sativa*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e cebola (*Allium cepa*) quando expostas a três insumos caseiros (água sanitária, detergente e sal de cozinha) em diferentes diluições. Os experimentos foram realizados em condições disponíveis no ambiente escolar e demonstraram que as sementes utilizadas apresentaram sensibilidades distintas em relação às diferentes diluições de sal e água sanitária. Para esses compostos, a cebola foi a espécie mais sensível dentre as testadas. Por outro lado, a rúcula e o feijão foram as espécies mais resistentes quando expostas ao sal de cozinha e à água sanitária, respectivamente. Para o detergente, as diferentes sementes apresentaram sensibilidades semelhantes, uma vez que esse produto foi considerado com maior potencial de toxicidade às espécies de plantas testadas. Com base nos procedimentos experimentais descritos, um roteiro de aula prática para testes de germinação de sementes foi elaborado com o intuito de contribuir com o processo de ensino-aprendizagem para abordagem em sala de aula de conceitos relativos à Ecotoxicologia, bioindicadores de qualidade ambiental e contaminação ambiental.

Palavras-chave: conservação ambiental; ensino-aprendizagem; educação ambiental; fitotoxicidade; germinação de sementes.

\*Corresponding author: raquel.moreira87@yahoo.com.br

### Abstract

Here we suggest a practical work in which toxicity tests are performed with plants to assess and scale effects on ecosystems. The seed germination test is used by Brazilian environmental agencies, such as the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB). This test is easy to handle, quick, and visually didactic, having the educational potential to build basic concepts of Ecotoxicology in primary education, such as species sensitivity, toxicity and dose-response. These activities are related to the student's daily life and the population in general and can be approached playfully, although it is still little applied in schools. Therefore, this work aimed to provide students from a basic and technological education school with an experience in scientific research. In such a scenario, the seed germination was evaluated with lettuce (*Lactuca sativa*), arugula (*Eruca sativa*), beans (*Phaseolus vulgaris*) and onion (*Allium cepa*) when exposed to three home conventional products (bleach, detergent, and table salt) in different dilutions. The obtained results from the experiments carried out under conditions available in the school environment showed that the seeds used showed different sensitivities to varying concentrations of salt and bleach. For these compounds, onion was the most sensitive species. On the other hand, arugula and beans were the most resistant species when exposed to salt and bleach, respectively. For the detergent, all seeds have similar sensitivities since this product was considered to have the most significant potential for toxicity among the tested species. Based on described experimental procedures, a practical class script for seed germination tests was proposed to contribute to the teaching-learning process in primary education to approach related concepts in the classroom regarding Ecotoxicology, bioindicators of environmental quality, and environmental contamination.

Keywords: Environmental conservation; teaching-learning; environmental education; phytotoxicity; seed germination.

### INTRODUÇÃO

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - PCNEM, é possível considerar que as principais áreas de empenho da Biologia moderna se voltam para o entendimento de como a vida se organiza, constitui interações, se reproduz, evolui e se transforma, não somente em decorrência de processos naturais, mas, também, devido às interferências antropogênicas (Brasil, 2002). Nesse contexto, o estudo de conteúdos voltados à temática ecológica se faz necessário para inserir e envolver os alunos em questões relacionadas à conservação e preservação do ambiente e da biodiversidade e ao uso sustentável dos recursos naturais (Krasilchik, 2011).

Diferentes abordagens podem ser utilizadas nas escolas visando a auxiliar o estudo de um determinado conteúdo e, conseqüentemente, contribuir para o processo de aprendizagem dos alunos (Bizzo, 1998; Nicola e Paniz, 2016). Os Parâmetros Curriculares Nacionais - PCNs e a Base Nacional Comum Curricular recomendam a inserção de recursos didáticos diversificados em sala de aula para ampliar as possibilidades de melhoria do ensino (Brasil, 1998; BNCC, 2018). Portanto, o professor pode assessorar os alunos no desenvolvimento de competências que permitam aplicar o conhecimento nas atividades letivas e no cotidiano. Quando o ensino é embasado em conceitos, descrições e com o emprego excessivo de terminologias, os conteúdos podem se tornar menos atrativos e desvinculados do contexto de vida dos estudantes (Wortmann *et al.* 1997; Duré *et al.* 2018). Assim, com relação ao ensino de Biologia em diferentes subáreas na educação básica, ainda existem muitos desafios, uma vez que essa disciplina possui muitos termos técnicos. Ademais, os professores podem encontrar desafios para conectar os tópicos do conteúdo do livro didático com exemplificações

práticas (Jotta, 2005). Dessa forma, a ausência de ferramentas pedagógicas que permitam uma aproximação do que foi exposto com o objeto real pode causar desinteresse por parte dos estudantes, o que afeta diretamente a concretização do processo de ensino-aprendizagem (Reis & Carvalho, 2017).

As alterações ambientais destacam-se dentre os diversos temas relevantes na área da Biologia. Devido ao rápido crescimento populacional e industrial nas últimas décadas, houve um aumento significativo da poluição por diferentes compostos tóxicos, gerando conseqüências negativas para a saúde humana e ambiental (Mello *et al.* 2020; Smol, 2008). Dessa forma, existe a necessidade da implementação de medidas eficazes para se diagnosticar, monitorar e minimizar a poluição ambiental, visto que se tornaram preocupações para a população e agências governamentais (Zagatto & Bertoletti, 2006).

Os resultados de análises químicas nem sempre retratam o impacto ambiental causado pelos poluentes, pois não demonstram os efeitos sobre os ecossistemas. Nesse contexto, os sistemas biológicos, os organismos ou partes deles, permitem constatar os efeitos tóxicos dos contaminantes (Magalhães e Ferrão-Filho, 2008). O uso de bioensaios permite a análise preliminar da qualidade ambiental e se faz importante conforme a complexidade das transformações químicas, uma vez que, por meio das respostas ecotoxicológicas, é possível determinar a influência de elementos de origem antrópica e ou natural sobre os organismos. Esta ferramenta torna-se de suma importância na busca de generalizações sobre o grau de toxicidade em vários tipos de ambientes e para determinação da influência direta de elementos de origem antrópica e/ou natural (Zagatto & Gherardi- Goldstein, 1991).

A atenção da população para problemas de conservação ambiental vem crescendo à medida que aumenta sua percepção quanto à gravidade da perda da biodiversidade e

da qualidade ambiental. Porém, muitos dos desafios decorrem da forma na qual as pessoas adquiriram conhecimento ao longo de sua formação pessoal (Silva *et al.* 2009). Atividades incentivadoras e participativas permitem que os envolvidos possam ter uma compreensão mais ampla do ambiente, contribuindo para a sua formação crítica e reflexiva, além de desenvolver atitudes que promovam qualidade de vida (Rêgo, 2011). Diante disso, o conhecimento de conceitos ecológicos e de proteção do meio ambiente lhes permite adotar posição consciente, visando à conservação de ecossistemas, e pode ser difundido a partir do uso de sistemas biológicos como bioindicadores de qualidade ambiental.

Dentre os testes ecotoxicológicos, o teste de germinação de sementes, inicialmente padronizado pelo Canadá e Estados Unidos (USEPA, 1996), é amplamente utilizado por diferentes órgãos de proteção ambiental, como por exemplo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) no setor de qualidade de vegetação e solo. Esse teste destaca-se pela sua praticidade, rapidez e baixo custo (CETESB, 2021). O teste consiste em avaliar a germinação e formação de raízes por sementes de monocotiledôneas ou dicotiledôneas (*e.g.*, alface, rúcula, pepino, feijão) após contato com uma amostra. Por meio desse experimento, pode-se demonstrar que a saúde e o crescimento dos organismos podem ser afetados pela presença de um agente potencialmente tóxico. Para definição de doses (ou concentrações) de exposição segura, levam-se em conta diferentes fatores, como as propriedades físicas e químicas da amostra, duração do experimento, via e frequência de exposição, além das espécies utilizadas como organismo-teste e suas características individuais (Azevedo & Chasin, 2003).

Diante do apresentado, o objetivo do presente trabalho foi proporcionar a alunos de uma escola de educação básica e tecnológica uma experiência em pesquisa científica por meio da avaliação da germinação das sementes de alface (*Lactuca sativa*), rúcula (*Eruca sativa*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e cebola (*Allium cepa*) quando expostas a insumos caseiros (água sanitária, detergente e sal de cozinha) em diferentes doses/diluições visando à difusão de conceitos básicos de Ecotoxicologia, tais como sensibilidade das espécies, dose-resposta e toxicidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Organismos-teste e Produtos Caseiros

A presente pesquisa esteve inserida no projeto “Construindo Conceitos de Ecotoxicologia: Experimentos com plantas”, do Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva (DEBE) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) em parceria com o Núcleo de Ecotoxicologia e Ecologia Aplicada (NEEA),

da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Os experimentos práticos foram desenvolvidos no Laboratório de Ciências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Câmpus São Carlos.

Para a aplicação dos conceitos de Ecotoxicologia em ensaios de germinação de sementes, três produtos foram selecionados devido à facilidade de obtenção e de manuseio para atividades práticas, incluindo o hipoclorito de sódio - NaClO (*i.e.*, água sanitária), o tensoativo linear alquil benzeno sulfonato de sódio (LAS) (*i.e.*, detergente) e o cloreto de sódio - NaCl (*i.e.*, sal de cozinha). Quatro espécies de plantas foram avaliadas, incluindo *Allium cepa* (cebola), *Eruca sativa* (rúcula), *Lactuca sativa* (alface) e *Phaseolus vulgaris* (feijão). Essas espécies podem ser obtidas em lojas de jardinagem e apresentam rápida germinação e desenvolvimento das raízes no escuro.

### Planejamento Experimental

Os testes de germinação foram adaptados do protocolo da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1996), conforme apresentado em trabalhos anteriores (Freitas *et al.* 2022; Ogura *et al.* 2022). Os ensaios foram feitos em triplicata ( $n = 3$ ) em placas de *Petri* esterilizadas, nas quais um filtro de papel foi colocado no fundo da placa. Em cada placa, 10 sementes da espécie avaliada foram dispostas de forma espaçada, sobre o filtro. Em seguida, 2 mL da solução-teste foram adicionados, conforme o tratamento avaliado. O controle foi feito com água filtrada devido à facilidade de obtenção em comparação com a água destilada. Para o sal de cozinha, uma solução-estoque de  $16 \text{ g L}^{-1}$  foi utilizada para o preparo das diluições a serem testadas (6,25%, 12,5%, 25%, 50% e 100%). Cinco diluições foram testadas para a água sanitária (1,56%, 3,12%, 6,25%, 12,5% e 25%) e para o detergente (0,78%, 1,56%, 3,12%, 6,25% e 12,5%), que foram definidas com base em ensaios preliminares. Os testes foram feitos sob ausência de luz durante 5 dias em temperatura ambiente ( $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ) e os resultados foram considerados válidos quando ocorreu germinação das amostras controle superior a 70%.

### Análise Estatística

A porcentagem de germinação e o comprimento da raiz foram os *endpoints* selecionados para avaliar os efeitos ecotoxicológicos quando as sementes foram expostas aos produtos estudados. As análises estatísticas foram feitas no *software* Statistica versão 7. O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para verificar a normalidade e o teste de Levene para verificar a homogeneidade dos dados. A Análise de Variância (ANOVA), seguida do teste *post hoc* de Tukey, foi utilizada para comparar as diluições testadas em relação ao

grupo controle. Diferenças estatísticas significativas foram estabelecidas entre o controle e os tratamentos quando  $p < 0,05$ . As concentrações estimadas para 50% de efeito ( $CE_{50}$ ) de inibição de crescimento de raízes de *A. cepa*, *E. sativa*, *L. sativa* e *P. vulgaris* foram estimadas para cada tratamento avaliado. Os valores de  $CE_{50}$  foram calculados por regressão não-linear pelo modelo da curva logística, com intervalo de confiança de 95% ( $IC_{95\%}$ ).

Com base nos procedimentos experimentais descritos, o material didático auxiliar (*i.e.*, o roteiro prático do teste de germinação de sementes) foi produzido visando a contribuir com o processo de ensino-aprendizagem no Ensino Básico para abordagem em sala de aula de conceitos relativos à Ecotoxicologia, bioindicadores de qualidade ambiental e contaminação ambiental.

## RESULTADOS

O comprimento médio das raízes das espécies estudadas quando expostas a diferentes diluições de sal de cozinha é apresentado na Figura 1. As espécies *A. cepa* e *L. sativa* apresentaram respostas similares, uma vez que não houve germinação e crescimento nas diluições de 50% e 100%. Porém, para *A. cepa*, apenas as diluições de 12,5% e 25% causaram efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) quando comparadas ao controle. Por outro lado, quando as sementes de *E. sativa* foram expostas ao sal de cozinha, houve germinação e redução significativa do crescimento das raízes nas diluições de 25%, 50% e 100% ( $p < 0,05$ ). Para a espécie *P. vulgaris*, o sal de cozinha resultou em maior crescimento em relação às outras espécies ( $5,3 \pm 0,1$  cm) ( $p < 0,05$ ) e reduziu de forma significativa o tamanho das raízes apenas em 50% ( $p < 0,05$ ), uma vez que não houve germinação em 100%.

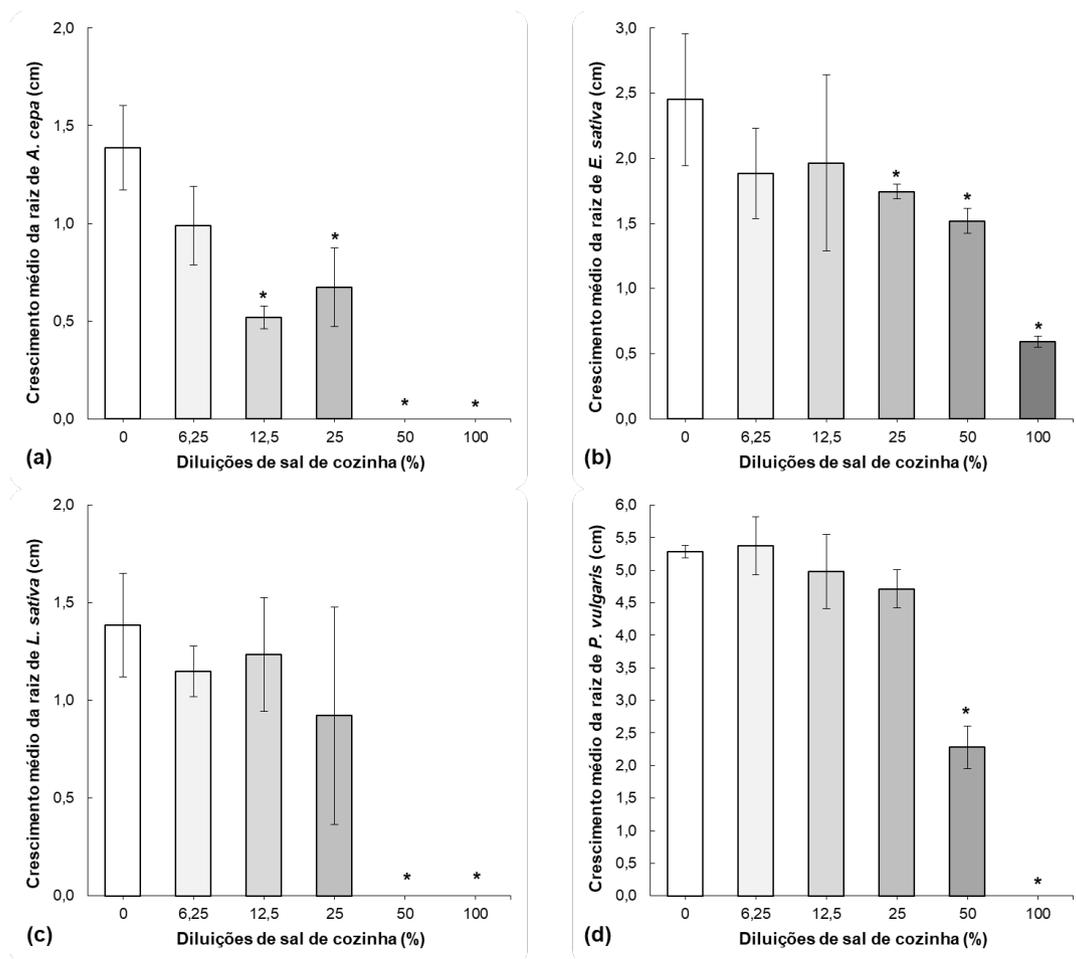


Figura 1 - Crescimento das raízes de *Allium cepa* (a), *Eruca sativa* (b), *Lactuca sativa* (c) e *Phaseolus vulgaris* (d) expostas a diferentes diluições de sal de cozinha ( $16 \text{ g L}^{-1}$ ) em ensaios de germinação (5 d).

Nota: Diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos e o controle ( $p < 0,05$ ) foram identificadas com um asterisco (\*), conforme resultados da ANOVA seguida de teste *post hoc* de Tukey. As barras representam o desvio-padrão de cada tratamento avaliado.

Com relação aos efeitos da água sanitária no crescimento médio das raízes das quatro espécies estudadas, houve um crescimento inicial dos valores médios do tamanho das raízes, seguido de um decréscimo nas maiores concentrações (Figura 2). Para *A. cepa* e *L. sativa*, as diluições testadas, exceto 6,25%, inibiram significativamente o crescimento das raízes. Não houve germinação na diluição de 25% para *L. sativa*. As diluições de 1,56% e 3,12% estimularam o crescimento das

raízes acima do observado para as sementes do controle para *E. sativa* ( $p < 0,05$ ), apesar de ocorrer redução na diluição de 12,5% e ausência de germinação em 25%. Para *P. vulgaris*, apenas as diluições de 1,56% e 25% causaram redução significativa em relação ao observado no controle (Figura 2). As demais respostas das sementes expostas a diferentes diluições para essa espécie foram semelhantes às observadas no controle.

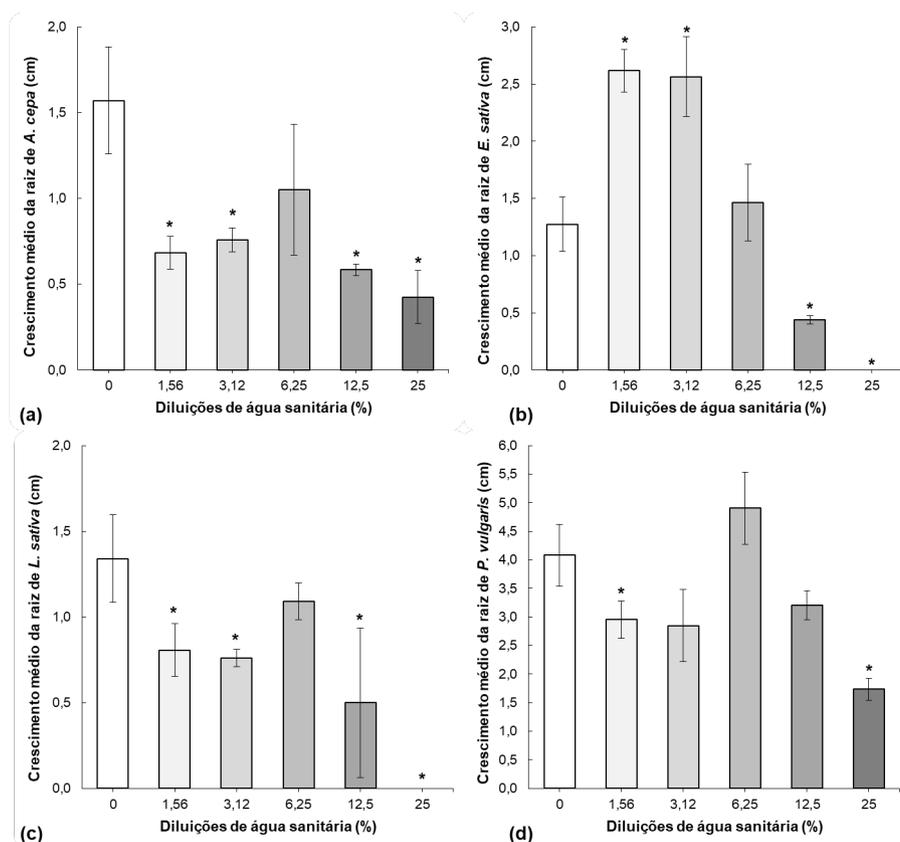


Figura 2 - Crescimento das raízes de *Allium cepa* (a), *Eruca sativa* (b), *Lactuca sativa* (c) e *Phaseolus vulgaris* (d) expostas a diferentes diluições de água sanitária em ensaios de germinação (5 d).

Nota: Diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos e o controle ( $p < 0,05$ ) foram identificadas com um asterisco (\*), conforme resultados da ANOVA seguida de teste *post hoc* de Tukey. As barras representam o desvio-padrão de cada tratamento avaliado.

O crescimento das espécies expostas ao detergente foi menor em relação aos observados para os demais produtos, uma vez que foram observados efeitos de inibição mesmo na diluição de 0,78% para *A. cepa*, *E. sativa* e *P. vulgaris*. Para essas espécies, ocorreram diferenças estatísticas em relação

ao controle para todas as diluições testadas ( $p < 0,05$ ). Para *L. sativa*, não houve germinação em 6,25% e 12,5% e o crescimento foi reduzido apenas em 1,56% e 3,12%. Apesar da redução dos valores médios em 0,78%, não houve diferença estatística em relação ao observado no controle ( $p > 0,05$ ).

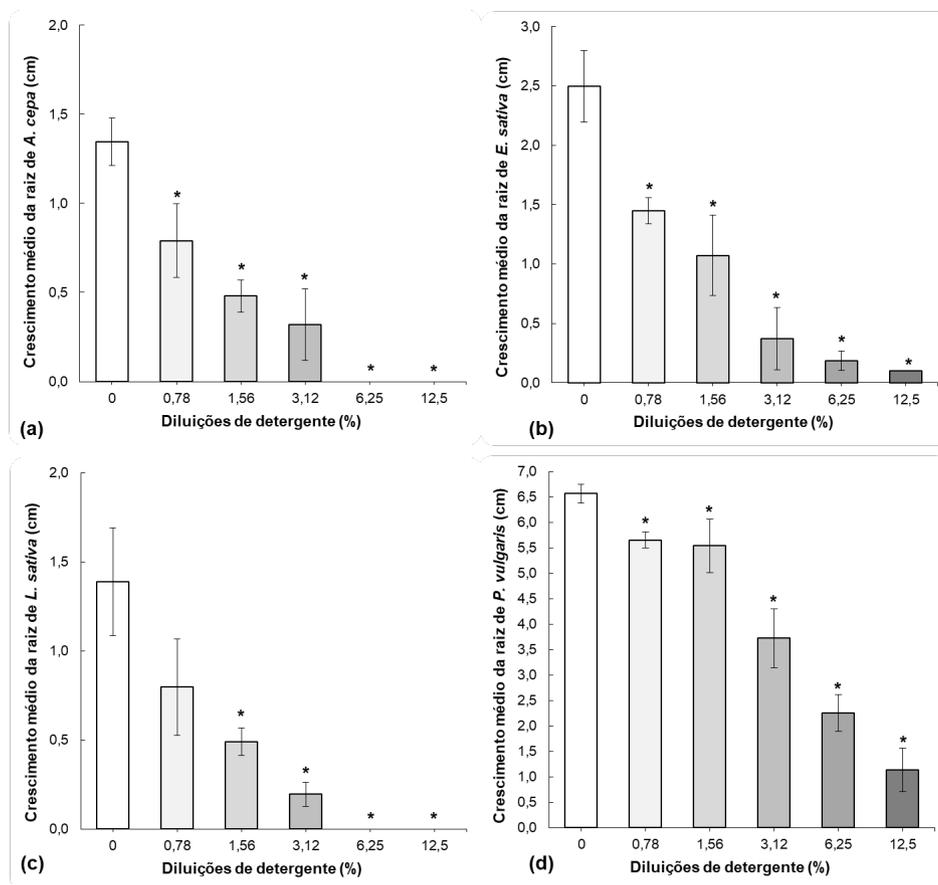


Figura 3 - Crescimento das raízes de *Allium cepa* (a), *Eruca sativa* (b), *Lactuca sativa* (c) e *Phaseolus vulgaris* (d) expostas a diferentes diluições de detergente em ensaios de germinação (5 d).

Nota: Diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos e o controle ( $p < 0,05$ ) foram identificadas com um asterisco (\*), conforme resultados da ANOVA seguida de teste *post hoc* de Tukey. As barras representam o desvio-padrão de cada tratamento avaliado.

A comparação dos resultados obtidos foi feita por meio dos valores das concentrações efetivas ( $CE_{50}$ ) intervalos de confiança ( $\pm IC_{95\%}$ ), que foram calculadas para as quatro espécies expostas aos três produtos avaliados, conforme os resultados apresentados na Tabela 1. Para o sal de cozinha, *A. cepa* foi a espécie que apresentou maior sensibilidade

( $CE_{50} = 12,0 \pm 4,9\%$ ), enquanto *E. sativa* foi a mais resistente ( $CE_{50} = 64,2 \pm 11,4\%$ ). Para a água sanitária, *A. cepa* e *E. sativa* foram as espécies mais sensíveis ( $CE_{50} = 2,8\%$  e  $8,0\%$ , respectivamente). O detergente foi o produto mais tóxico para as plantas estudadas, uma vez que os valores de  $CE_{50}$  estiveram entre  $0,9\%$  e  $3,9\%$ .

Tabela 1 - Concentrações estimadas para 50% de efeito ( $CE_{50}$ ) e intervalos de confiança ( $\pm IC_{95\%}$ ) de inibição de crescimento de raízes de *Allium cepa*, *Eruca sativa*, *Lactuca sativa* e *Phaseolus vulgaris* expostas a diferentes diluições de sal de cozinha ( $16 \text{ g L}^{-1}$ ), água sanitária e detergente em ensaios de germinação (5 d).

Espécie	Sal de cozinha (%)	Água sanitária (%)	Detergente (%)
<i>A. cepa</i>	$12,0 \pm 4,9$	$2,8 \pm 2,5$	$1,0 \pm 0,2$
<i>E. sativa</i>	$64,2 \pm 11,4$	$8,0 \pm 1,2$	$1,0 \pm 0,1$
<i>L. sativa</i>	$27,6 \pm 22,0$	$12,6 \pm 8,3$	$0,9 \pm 0,3$
<i>P. vulgaris</i>	$49,1 \pm 1,5$	$24,9 \pm 2,7$	$3,9 \pm 0,6$

Com base nos procedimentos descritos, uma proposta de aula prática para aplicação do teste de germinação de sementes foi descrita (Material Suplementar). Inicialmente, sugere-se que o(a) docente promova a discussão de uma questão acerca dos conceitos básicos de contaminantes e poluição ambiental. Alguns pontos podem ser levantados, como quais produtos são utilizados no dia a dia da população e como esses compostos podem alcançar e impactar os recursos hídricos. No roteiro, foi apresentada a lista de materiais necessários para o desenvolvimento da aula prática, as diluições sugeridas e os procedimentos metodológicos para a aplicação dos testes. Por fim, questões foram sugeridas para o(a) docente propor para que os(as) estudantes possam aplicar os conceitos de Ecotoxicologia com base nos resultados obtidos nos experimentos. Sugere-se que os alunos apresentem os resultados em formato de tabela ou gráfico para facilitar as análises e a discussão.

## DISCUSSÃO

Os experimentos foram realizados em ambiente escolar, com quatro espécies de plantas expostas a três compostos em diferentes diluições. As condições experimentais estiveram sujeitas a variações, uma vez que os ensaios foram desenvolvidos em sala sem o controle de temperatura. Isso pode ter influenciado os resultados, pois a recomendação é que a germinação ocorra em ambiente com temperatura controlada ( $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) (USEPA, 1996). A utilização de sementes de diferentes espécies é importante para observação e discussão do conceito de sensibilidade. Majoritariamente, os experimentos demonstraram a relação entre a concentração do composto e o efeito inibitório no crescimento das raízes. Além disso, as sementes utilizadas apresentaram sensibilidades distintas em relação às diferentes diluições de sal e água sanitária, sendo a cebola a espécie mais sensível dentre as testadas. Sob a exposição ao detergente, as diferentes sementes apresentaram sensibilidades semelhantes.

Quando expostas ao sal de cozinha, as sementes apresentaram crescimento inversamente proporcional ao aumento nas concentrações. O aumento da concentração salina reduz o potencial osmótico da solução, resultando em redução do potencial hídrico e consequentemente influenciando a germinação (Bewley e Black, 1994). Outros estudos realizados com exposição de sementes a diferentes diluições de cloreto de sódio (NaCl) na solução (Lopes e Macedo, 2008; Farias *et al.* 2009; Fonseca *et al.* 2010) sugerem que, à medida que ocorre aumento da concentração salina, ocorre redução na porcentagem de germinação das sementes devido à redução no potencial osmótico da solução.

Com relação à exposição das sementes à água sanitária, baixas concentrações (1,56% e 3,12%) causaram um estímulo no crescimento das raízes quando a rúcula e o alface foram expostos. Teodoro *et al.* (2015) avaliaram a germinação

de diferentes lotes de sementes de alface antes e após o tratamento pré-germinativo em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 1% e verificaram que, em todos os lotes que receberam tratamento com o composto, houve elevadas taxas de germinação. Por outro lado, Gómez (2016) observou que sementes de mamão expostas ao tratamento em soluções de NaClO não tiveram sua germinação favorecida e que concentrações mais elevadas causaram efeito prejudicial à germinação. No estudo de Attiê (2017), todos os lotes de semente de quinoa apresentaram um estímulo na germinação após serem submetidas ao tratamento com NaClO, sendo embebidas durante 10 min a diferentes diluições do composto. Os autores sugeriram que isso pode ter ocorrido devido à erradicação de patógenos, haja vista a grande eficiência da concentração 4% de NaClO. Outra possibilidade seria a ocorrência do efeito de hormese no padrão dose-resposta, que consiste no estímulo de um *endpoint* avaliado quando os organismos estão submetidos a concentrações baixas (subletais) de um contaminante (Agathokleous & Calabrese 2019).

O detergente foi o composto mais tóxico considerando a taxa de germinação e de crescimento das raízes e esse resultado provavelmente foi devido à ação do surfactante presente na sua composição. O detergente utilizado é composto pelo tensoativo aniônico LAS, apresentando uma estrutura que pode atuar sobre a biodegradação desse componente (Penteado *et al.* 2006). O surfactante atua quebrando a tensão superficial da água, impedindo a semente de sair do seu estado de dormência. No estudo de Sousa e Simão (2015), entre o quinto e sétimo dia de experimento, foi observado que as sementes de feijão, para todas as concentrações da solução-teste estudadas (0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8% e 1,0% -v/v de detergente) tiveram suas radículas atrofiadas e que não ocorreu germinação devido à inibição do desenvolvimento da raiz e do hipocótilo.

A partir da metodologia desenvolvida, foi possível elaborar um roteiro para experimentos didáticos interdisciplinares, utilizando materiais de baixo custo presentes no cotidiano dos discentes (Material Suplementar). A utilização do material didático produzido incorporando os conceitos de Ecotoxicologia poderá ser útil para aumentar a percepção dos alunos sobre o risco de compostos tóxicos no meio ambiente e contribuirá para a construção de conhecimento sobre os impactos da poluição aos ecossistemas e de uma consciência para a preservação ambiental.

A Base Nacional Comum Curricular - BNCC (2017) traz como uma de suas competências gerais da educação básica:

“Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas)

com base nos conhecimentos das diferentes áreas”. (BNCC, 2017).

Pensando no foco do desenvolvimento dos discentes por meio dessa e de outras competências apresentadas na BNCC, as instituições devem “incorporar aos currículos e às propostas pedagógicas a abordagem de temas contemporâneos que afetam a vida humana em escala local, regional e global, preferencialmente de forma transversal e integradora” (BNCC, 2017).

A educação ambiental é um dos temas contemporâneos apontados na BNCC. Vários trabalhos apontam a importância desse contexto nas salas de aula e como representa um método significativo de aprendizagem para os(as) estudantes (Avila; Lingnau, 2015; Carvalho, 2020; Silva; Silva, 2020; Gonçalves-Júnior, Siqueira; Gonçalves, 2021; Silva, Gomes e Serna, 2022). Estes trabalhos ainda apontam que esse tema deve ser trabalhado de forma transversal, fazendo com que os discentes se apropriem do conhecimento para desenvolverem atitudes éticas e responsáveis em relação ao meio ambiente.

Sendo assim, questões ambientais se tornam um tema relevante e fundamental na formação discente. A partir de problemáticas contemporâneas, é possível levar o(a) aluno(a) a pensar em hipóteses, testá-las, fazer experimentos, coletar e analisar resultados para, assim, chegar a uma resolução e conclusão. Esse percurso metodológico vai ao encontro do “saber e do saber fazer” indicado na BNCC (2017).

O uso da Ecotoxicologia como ferramenta de ensino “pode subsidiar discussões que norteiam a prática da Educação Ambiental”, bem como ser utilizada como projeto interdisciplinar motivando o uso de metodologias ativas em sala de aula (Costa *et al.* 2022). De acordo com Santos-Filho *et al.* (2020), conceitos científicos também podem ser abordados por meio da utilização da Ecotoxicologia em uma abordagem focada em Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA). Os autores supracitados concluíram que a temática da Ecotoxicologia foi efetivamente aplicada por meio de recursos didáticos com atividades lúdicas e visuais, como história em quadrinhos, jogo e vídeo sobre experimentos. No trabalho de Santos-Filho *et al.* (2020), um dos recursos utilizados foi um vídeo, produzido pelos autores no laboratório de uma universidade, sobre um teste ecotoxicológico com a espécie *Allium cepa* (cebola), no qual os alunos deveriam responder a questões relacionadas com a temática após assistir ao vídeo. Outros estudos ainda desenvolveram atividades como experimentação com os estudantes (Soares *et al.* 2016); aplicação da interdisciplinaridade (Costa *et al.* 2022) e atividades prático-pedagógicas através da Aprendizagem Baseada em Projetos - ABP (Cunha & Pomari, 2021).

Dessa forma, entende-se que os ensaios de germinação de sementes podem ser utilizados como ferramentas para a aplicação prática de diferentes conceitos relacionados às questões ambientais. Mesmo em condições diferentes dos padrões laboratoriais (e.g., com controle de temperatura em incubadora), os ensaios de germinação apresentaram

resultados visuais para a inibição do crescimento das raízes quando expostas aos compostos. Essa prática pode ser aplicada devido à facilidade experimental e diferentes respostas obtidas aos produtos testados, que são de baixo custo. Portanto, a aplicação desses ensaios pode contribuir para a formação de estudantes, de forma interdisciplinar. Além disso, destaca-se o potencial para a divulgação científica, uma vez que os resultados podem ser apresentados de forma acessível, fomentando a conscientização sobre a importância da conservação dos recursos naturais.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil. V.D.R e G.D.C. agradecem a bolsa PIBIC-EM do CNPq. R.A.M agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo número: 2017/24126-4).

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

VDR: Investigação, curadoria de dados e escrita. GDC: Investigação, curadoria de dados e escrita. APO: Conceituação, investigação, curadoria de dados, metodologia, escrita e revisão. RMSP: Investigação, escrita e revisão. RAM: Supervisão, conceituação, investigação, curadoria de dados, metodologia, escrita e revisão.

## REFERÊNCIAS

- Agathokleous E, Calabrese EJ. 2019. Hormesis: The dose response for the 21st century: The future has arrived. *Toxicology* 425:152249.
- Avila AM, Lingnau R. 2015. Crise ambiental, ensino de biologia e educação ambiental: uma abordagem crítica. *Revista Monografias Ambientais*, Santa Maria 14(2): 137-50.
- Attîe V.L. 2017. Efeito da aplicação de hipoclorito de sódio em alguns atributos de qualidade de sementes de quinoa. Trabalho de conclusão de curso submetido à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. 26 p.
- Azevedo FA, Chasin AA. 2003. As Bases Toxicológicas da Ecotoxicologia. São Carlos: Ed. RiMa, 322 p.
- Bewley JD, Black M. 1994. *Seeds: physiology of development and germination*. 2. ed. New York: Plenum, 445 p.
- BNCC - Base Nacional Comum Curricular: educação é a base. 2017. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_-versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf). Acessado em 20 de setembro de 2022.

- Bizzo N. 1998. Ciências: fácil ou difícil? São Paulo: Ática. 104 p.
- Brasil. 2002. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. PCN+ Ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 144 p.
- Brasil. 1998. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências Naturais (5ª a 8ª séries). Brasília: MEC/SEF.
- Carvalho, ICM. 2020. A pesquisa em educação ambiental: perspectivas e enfrentamentos. *Pesquisa em Educação Ambiental* 15(1): 39-50.
- CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/solo/biomonitoramento/ensaio-de-germinacao-e-alongamento-de-raizes/>. Acessado em 10 de setembro de 2022.
- Costa RS, Quadra GR, Souza H. 2022. Química, Ecotoxicologia e escola: propostas interdisciplinares. *Ecotoxicology and Environmental Contamination* 17(1): 22-32.
- Cunha EGL, Pomari J. 2021. Saúde e bem-estar: a Ecotoxicologia e a biorremediação em uma abordagem prático-pedagógica. *Revista Brasileira de Meio Ambiente e Sustentabilidade*. 1(6): 40-58. Disponível em: <https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/134>. Acessado em: 21 de setembro de 2022.
- Durê RC, Andrade MJD, Abílio FJP. 2018. Ensino de biologia e contextualização do conteúdo: quais temas o aluno de ensino médio relaciona com o seu cotidiano? *Revista Experiências em Ensino de Ciências* 13(1): 259-272.
- Farias SGG, Freire ALO, Santos DR, Bakke IA, Bezerra e Silva R. 2009. Efeitos dos estresses hídrico e salino na germinação de sementes de gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.] *Revista Caatinga* 22(4): 152-154.
- Fonseca AS, Brilhante BDG, Sarnaglia SAA, Carlos LJC. 2010. Efeito da salinidade na germinação de sementes de rabanete. XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação - Universidade do Vale do Paraíba. Disponível em: [https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2010/anais/arquivos/RE\\_0826\\_0863\\_01.pdf](https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/RE_0826_0863_01.pdf). Acessado em: 21 de setembro de 2022.
- Freitas IBF, Ogura AP, Cunha DGF, Cossolin AS, Ferreira MS, Bianca Veloso Goulart BV, Montagner CC, Espíndola ELG. 2022. The longitudinal profile of a stream contaminated with 2,4-D and its effects on non-target species. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 1:1-11.
- Gómez SJ. 2016. Efeito do hipoclorito de sódio na qualidade fisiológica e integridade do tegumento de sementes de mamão. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 60 p.
- Gonçalves-Júnior ER, Siqueira RCA, Gonçalves ER. 2021. Difusão da educação ambiental no ensino público: evidências de uma análise bibliométrica. *Laplace em Revista* 7(1): 31-41.
- Jotta LACV. 2005. Embriologia animal: uma análise dos livros didáticos de biologia do ensino médio. Dissertação - Faculdade de Educação da Universidade de Brasília, Brasília, 244 p.
- Krasilchik M. 2011. Prática de Ensino de Biologia. 4ª ed. São Paulo: Edusp.
- Lopes JC, Macêdo CMP. 2008. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. *Revista Brasileira de Sementes* 30: 079-085.
- Magalhães DP, Ferrão Filho AS. 2008. A Ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. *Oecologia Brasiliensis* 12 (3): 355-381.
- Mello K, Taniwaki RH, Paula FR, Valente RA, Randhir TO, Macedo DR. 2020. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management* 270: 110879.
- Nicola JA, Paniz CM. 2016. A importância da utilização de diferentes recursos didáticos no ensino de biologia. *INFOR - Inovação e Formação, Revista NEaD-Unesp*. São Paulo, 2(1): 355-381.
- Ogura AP, Moreira RA, da Silva LCM, Negro GS, Freitas JS, da Silva Pinto TJ, Lopes LFP, Yoshii MPC, Goulart BV, Montagner CC, Espíndola ELG. 2022. Irrigation with water contaminated by sugarcane pesticides and vinasse can inhibit seed germination and crops initial growth. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 82(3): 330-340.
- Penteado JCP, El Seoud OA, Carvalho LRF. 2006. Alquilbenzeno sulfonato linear: uma abordagem ambiental e analítica. *Química Nova* 29(5): 1038-1046.
- Rêgo ACF. 2011. Educação ambiental para adultos. *Ambiente & Educação* 16(2): 123-133
- Reis JCB, Carvalho AF. 2017. Didática no Brasil: planejamento de ensino e avaliação escolar. *REVELL - Revista de Estudos Literários da UEMS* 1(15): 36- 50.
- Santos-Filho R, Oliveira KMG, Tureck LV, Alle LF, Leme DM. 2022. Ciência na escola: elaboração, aplicação e avaliação de um jogo na temática de Ecotoxicologia como ferramenta de educação científica. *Revista eletrônica Ludus Scientiae (RELuS)* 4(1): 114-134.
- Silva DNS, Gomes, ETA, Serna AG. 2022. Educação ambiental no novo Ensino Médio. *Retratos da Escola, Brasília* 16(34): 127-47.
- Silva FP, Silva CC. 2020. Uma abordagem sobre a importância da interdisciplinaridade no ensino da educação ambiental na escola. *Revista Brasileira de Meio Ambiente* 8(4): 57-67.
- Silva FL, Rodrigues PFM, Talamoni JLB, Ruiz SS, Andreo M, Fragoso SB, Bochini GL 2009. Bioindicadores da qualidade da água: subsídios para um projeto de educação ambiental no Jardim Botânico Municipal de Bauru, SP. *Revista Ciência em Extensão* 5(1): 94-105.
- Smol JP. 2008. Pollution of Lakes and Rivers: A Paleoenvironmental Perspective. Blackwell Publishing, 2 ed. Chapter 1.

Soares VM, Souza, BFS, Balsamo PJ, Melero AMG, Cacuro TA, Irazusta S. 2016. Aquatox: uma proposta de educação ambiental na escola. Educação Ambiental em Ação 58: 1-8.

Sousa GL, Simões ASM. 2015. Uma Proposta de Aula Experimental de Química para o Ensino Básico Utilizando Bioensaios com Grãos de Feijão (*Phaseolus vulgaris*). Química Nova na Escola 38(1): 79-83.

Teodoro MS, Alves MCS, Seixas FJS, Lacerda MN, Araújo LMS. 2015. Influência do NaClO na germinação de sementes de alface em Parnaíba-PI. Revista Verde 10(4): 33-37.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. 1996. Ecological Effects Test Guidelines. OPPTS 850.1900 Generic Freshwater Microcosm Test, Laboratory. 28 p.

Wortmann MLC, Souza NGS, Kindel EAI. 1997. O estudo dos vertebrados na escola fundamental. São Leopoldo, RS. Editora Unisinos.

Zagatto PA, Bertolotti E. 2006. Ecotoxicologia aquática - Princípios e Aplicações. Editora Rima, São Carlos. 464 p.

Zagatto PA, Gherardi-Goldstein E. 1991. Toxicidade em águas do Estado de São Paulo. Ambiente, 5 (1): 13-20.

**MATERIAL SUPLEMENTAR****ATIVIDADE PRÁTICA: TESTE DE GERMINAÇÃO EM SEMENTES**

NOME \_\_\_\_\_

ESCOLA \_\_\_\_\_

EQUIPE \_\_\_\_\_ SÉRIE \_\_\_\_\_

PERÍODO \_\_\_\_\_ DATA \_\_\_\_\_

**QUESTÃO PRÉVIA**

A poluição em nosso planeta vem aumentando a cada ano e, com isso, todos os nossos ecossistemas podem sofrer alguma alteração. Como a poluição pode afetar o desenvolvimento das espécies? Será que produtos que estão no nosso cotidiano também podem impactar o ambiente?

**MATERIAL**

- Água
- Sementes de alface (*Lactuca sativa*) ou outra espécie;
- Sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*) ou outra espécie;
- Água sanitária;
- Detergente;
- Folhas de filtro de papel;
- Placa de Petri com tampa;
- Pipetas volumétricas (Pasteur de 3 mL);
- Béquer;
- Balão volumétrico;
- Pinça;
- Luvas plásticas;
- Régua;
- Papel;
- Caneta;
- Caneta de marcação permanente para identificação do material;
- Sacos pretos de lixo;

## DILUIÇÕES

Tanto para a água sanitária como para o detergente, poderão ser realizadas as mesmas diluições para obtenção das concentrações a serem testadas:

Tratamento 1 - Grupo Controle: somente água filtrada;

Tratamento 2 - 100%: 100 mL da solução pura (água sanitária ou detergente);

Tratamento 3 - 50%: 50 mL da solução pura e 50 mL de água filtrada;

Tratamento 4 - 25%: 50 mL da solução de 50% e 50 mL de água filtrada;

Tratamento 5 - 12,5: 50 mL da solução de 25% e 50 mL de água filtrada;

Tratamento 6 - 6,25%: 50 mL da solução 12,5% e 50 mL de água filtrada.

- Para efetivar cada concentração, os volumes serão manipulados em balão volumétrico (100 mL) e em Béquer (100 mL), como apresentado na Figura 1 e descrito a seguir.

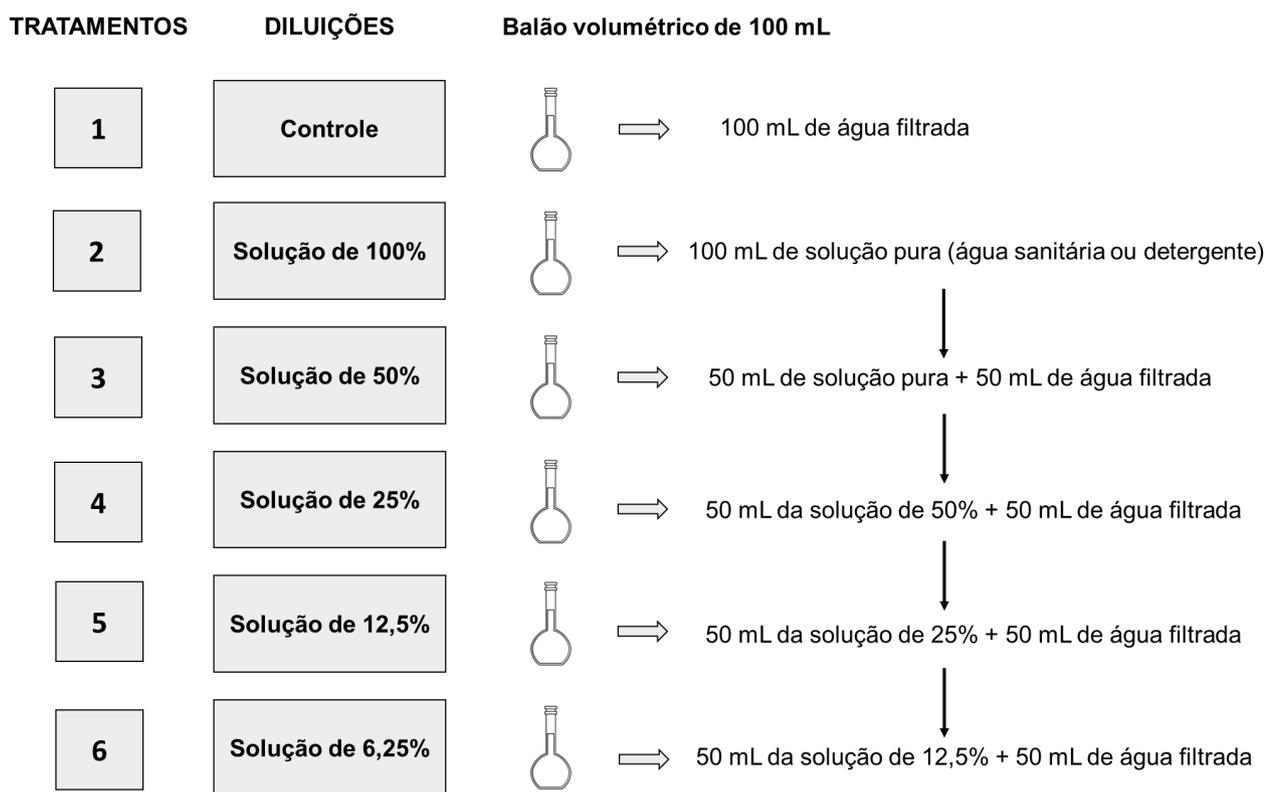


Figura 1: Visão geral dos tratamentos e das diluições propostas.

## PROCEDIMENTOS

- Separar 3 placas de Petri para cada tratamento, que serão as réplicas de cada um;
- Espécies utilizadas: alface (*Lactuca sativa*) ou outra espécie;
- Forrar a parte inferior da placa de Petri com o papel de filtro;
- Colocar em cada placa de Petri dez sementes da espécie escolhida;
- Tratamento 1 - Grupo Controle: As sementes do controle apenas serão umedecidas, utilizando a pipeta, com 2 mL de água filtrada;
- Tratamento 2 (100%): As sementes desse grupo deverão ser expostas à solução pura, utilizando a pipeta, com 2 mL de solução;
- Tratamento 3 (50%): As sementes desse grupo deverão ser expostas à solução de 50%, que foi preparada com 50 mL de água e 50 mL de substância pura, utilizando a pipeta, com 2 mL de solução;
- Tratamento 4 (25%): As sementes desse grupo deverão ser expostas à solução de 25%, que foi preparada com 50 mL de água e 50 mL de da solução de 50%, utilizando a pipeta, com 2 mL de solução;
- Tratamento 5 (12,5%): As sementes desse grupo deverão ser expostas à solução de 12,5%, que foi preparada com 50 mL de água e 50 mL da solução de 25%, utilizando a pipeta, com 2 mL de solução;
- Tratamento 6 (6,25%): As sementes desse grupo deverão ser expostas à solução de 6,25%, que foi preparada com 50 mL de água e 50 mL da solução de 12,5%, utilizando a pipeta, com 2 mL de solução;
- Repetir esses passos com cada tipo de composto estudado para cada uma das espécies de plantas;
- Após a finalização da montagem dos experimentos, será necessário cobrir os testes com saco plástico e aguardar 120 h (5 dias) para visualização dos resultados.

Repita o mesmo procedimento com a semente de feijão (*Phaseolus vulgaris*) ou outra espécie.

Após os 5 dias do início do teste, é necessário verificar quais sementes germinaram para obter os resultados; o parâmetro de avaliação utilizado será medir o comprimento da radícula das sementes germinadas em cm (centímetros) (Figura 2). Para realizar o método avaliativo será necessária uma folha de papel, uma caneta, e uma régua; no papel, trace uma linha reta para medir a raiz de cada semente e registre os resultados na tabela abaixo (Tabela 1).

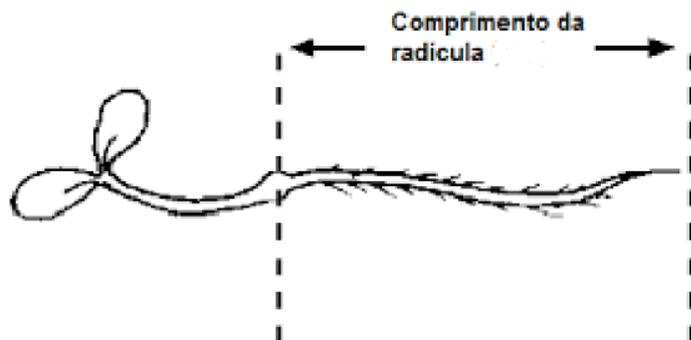


Figura 2: O método de avaliação para medida de comprimento da radícula:

Fonte: Ariate (2015).

## QUESTÕES

1. Com os dados iniciais inseridos na Tabela 1, calcular a média aritmética das raízes de cada réplica (1, 2 e 3) de cada tratamento testado.
2. Compare os resultados obtidos entre as duas espécies: alface (*Lactuca sativa*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) a cada tipo de produto estudado.
3. Responda novamente à questão prévia e compare com a resposta dada antes de realizar este experimento.

## REFERÊNCIA

ARIATE, W. L. Interação Entre Salinidade e pH Na Germinação de Semente de Alface (*Lactuca Sativa*). Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. Criciúma - SC. p. 27. 2015.

Tabela 1: Registro dos resultados obtidos nos testes de germinação.

Concentração	Réplica	Broto 1	Broto 2	Broto 3	Broto 4	Broto 5	Média
Controle	1						
Controle	2						
Controle	3						
100%	1						
100%	2						
100%	3						
50%	1						
50%	2						
50%	3						
25%	1						
25%	2						
25%	3						
12,5%	1						
12,5%	2						
12,5%	3						
6,25%	1						
6,25%	2						
6,25%	3						

