HIDROLATOS DE *Cyperus rotundus* L. OBTIDOS DE RIZOMAS FRESCOS E SECOS: EFEITOS SOBRE A GERMINAÇÃO E O CRESCIMENTO INICIAL DE *Lactuca sativa* L.

Victória Calanzani Pires[1], Maria Eliza Soares Queiroz[1], Mirela Verediano Izidio[1], João Paulo de Morais Oliveira[1], Milene Miranda Praça Fontes[1]

[1]Universidade Federal do Espírito Santo, ES / Laboratório de Citogenética e Cultura de Tecidos Vegetais, Alto Universitário, S/N, Guararema - 29500-000 - Alegre-ES, Brasil
vicalanzanip@gmail.com, mariaelizasqueiroz@gmail.com, miveredianoizidio@gmail.com, joaopaulo.ueg@gmail.com, milenemiranda@yahoo.com.br

Resumo

Cyperus rotundus L. (tiririca) é uma planta daninha de manejo difícil e com reconhecido potencial alelopático, o que motiva a busca por subprodutos de baixo impacto ambiental, como o hidrolato obtido na hidrodestilação de óleos essenciais. Este trabalho avaliou o efeito do hidrolato obtido de rizomas frescos e secos de *C. rotundus* sobre a germinação e o crescimento inicial de *Lactuca sativa L.*, espécie bioindicadora de fitotoxicidade. Sementes de alface foram expostas a hidrolato obtido do material fresco e seco nas concentrações de 25%, 50% e 100%, além de três controles,água, Glifosato e 2,4-D, avaliando-se germinação, Índice de Velocidade de Germinação (IVG), crescimento radicular e crescimento da parte aérea. O hidrolato do material fresco apresentou efeito alelopático brando e dose-dependente, sem comprometer a germinação. Já o hidrolato do material seco apresentou efeito muito mais acentuado, aproximando-se estatisticamente do 2,4-D em crescimento radicular e aéreo nas maiores concentrações. Os resultados indicam que a secagem do material vegetal potencializa o efeito fitotóxico do hidrolato de tiririca, reforçando seu potencial como subproduto bioherbicida de baixo custo.

Palavras-chave: Alelopatia. Bioherbicida. Tiririca. Subproduto da hidrodestilação. Alface.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas.

Introdução

Cyperus rotundus L., a tiririca, é considerada uma das dez plantas daninhas mais agressivas do mundo, presente em mais de 90 países e afetando mais de 50 culturas agrícolas (Holm *et al.*, 1977). Sua elevada capacidade de infestação decorre da reprodução vegetativa por tubérculos e rizomas, da eficiência fotossintética como planta C4 e da produção de compostos alelopáticos , o que a mantém entre as espécies de manejo mais desafiador em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais até os dias atuais (Varanasi et al., 2025). Seu potencial alelopático já foi demonstrado sobre culturas de importância global, como o arroz (Quayyum *et al.*, 2000), e seu manejo segue sendo estudado sob diferentes regimes e associações de herbicidas (Le; Morell, 2021), o que tem motivado a busca por estratégias alternativas de menor impacto ambiental (Silveira *et al.*, 2010).

Nesse contexto, os subprodutos da extração de óleos essenciais têm despertado interesse como potenciais bioherbicidas. O hidrolato, uma solução aquosa obtida junto ao óleo essencial na hidrodestilação,retém traços de compostos voláteis e hidrossolúveis e, apesar de frequentemente descartado, pode conservar atividade biológica relevante (Almeida *et al.*, 2024). O óleo essencial de *C. rotundus* é caracterizado por sesquiterpenos como α-cyperona, ciperene, óxido de cariofileno e α-selineno (Bezerra, 2021), compostos já associados a efeitos sobre o desenvolvimento inicial de plântulas (Vasconcelos *et al.*, 2019), e a atividade bioherbicida em outras espécies (Perveen *et al.*, 2019). Extratos de *C. rotundus já* demonstraram potencial alelopático sobre a germinação e o crescimento de espécies cultivadas, sendo o sistema radicular geralmente a estrutura mais sensível aos efeitos fitotóxicos (Andrade; Bittencourt; Vestena, 2009).

Ainda são escassos, porém os estudos que avaliam a influência do estado do material vegetal, fresco ou seco, sobre o potencial fitotóxico do hidrolato de tiririca, apesar de secagem ser conhecida por alterar o rendimento e a composição química de compostos voláteis em outras espécies aromáticas (Machado *et al.*, 2013). Compreender essa influência é especialmente relevante em áreas com histórico

de aplicação de herbicidas sintéticos, onde alternativas biológicas podem ser mais sustentáveis. *Lactuca sativa L.* destaca-se nesse tipo de bioensaio, por sua sensibilidade a compostos alelopáticos e por protocolos padronizados que garantem resultados comparáveis (Simões *et al.*, 2013). Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do hidrolato extraído de rizomas frescos e secos de *Cyperus rotundus L.* sobre a germinação e o crescimento inicial de *Lactuca sativa L.*

Metodologia

Foram coletados rizomas de *Cyperus rotundus L.* em fase reprodutiva, com provável histórico de exposição prévia a herbicidas. O hidrolato foi obtido por hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger, a partir do material fresco (extração em temperatura ambiente) ou previamente seco em estufa a 60 °C, sendo diluído a 50% e 25% em água destilada a partir do hidrolato puro (100%). O bioensaio foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com sementes de *Lactuca sativa L.* (alface) 25 sementes por placa de Petri (9 cm de diâmetro), sobre papel-filtro umedecido com 2,5 mL de cada solução-tratamento, em câmara de germinação (B.O.D.) a 25 °C por 48 horas. Os tratamentos foram hidrolato de material fresco e seco a 25%, 50% e 100% (cinco repetições cada), além de três controles: água destilada, Glifosato a 0,05% e 2,4-D a 3,0% (dez repetições cada), testados de forma independente para as duas formas de preparo.

A germinação foi avaliada a cada 8 horas, sendo consideradas germinadas as sementes com protrusão radicular superior a 2 mm, calculando-se a porcentagem de germinação e o Índice de Velocidade de Germinação (IVG), segundo Maguire (1962). Ao final de 120 horas, mediu-se o comprimento radicular e o comprimento da parte aérea de cada plântula com auxílio de paquímetro.

Os pressupostos de normalidade dos resíduos e de homogeneidade de variâncias foram verificados pelos testes de Shapiro-Wilk e de Levene. Quando a ANOVA one-way (nove tratamentos) indicou efeito significativo ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas por Tukey (5%) e por contrastes de Dunnett (5%) contra os três controles. Os seis tratamentos de hidrolato foram ainda submetidos a uma ANOVA fatorial 2 × 3 (forma de preparo × concentração), com desdobramento por Tukey (5%) e teste t com correção de Holm (5%) quando houve interação significativa. As análises foram realizadas no software R (versão 4.4.2).

Resultados

O tratamento afetou significativamente ($p < 0,001$) as quatro variáveis avaliadas no modelo com os nove grupos, com coeficientes de determinação (Eta²) elevados, entre 0,903 e 0,965, indicando que a maior parte da variação observada é explicada pelos tratamentos aplicados (Tabela 1).

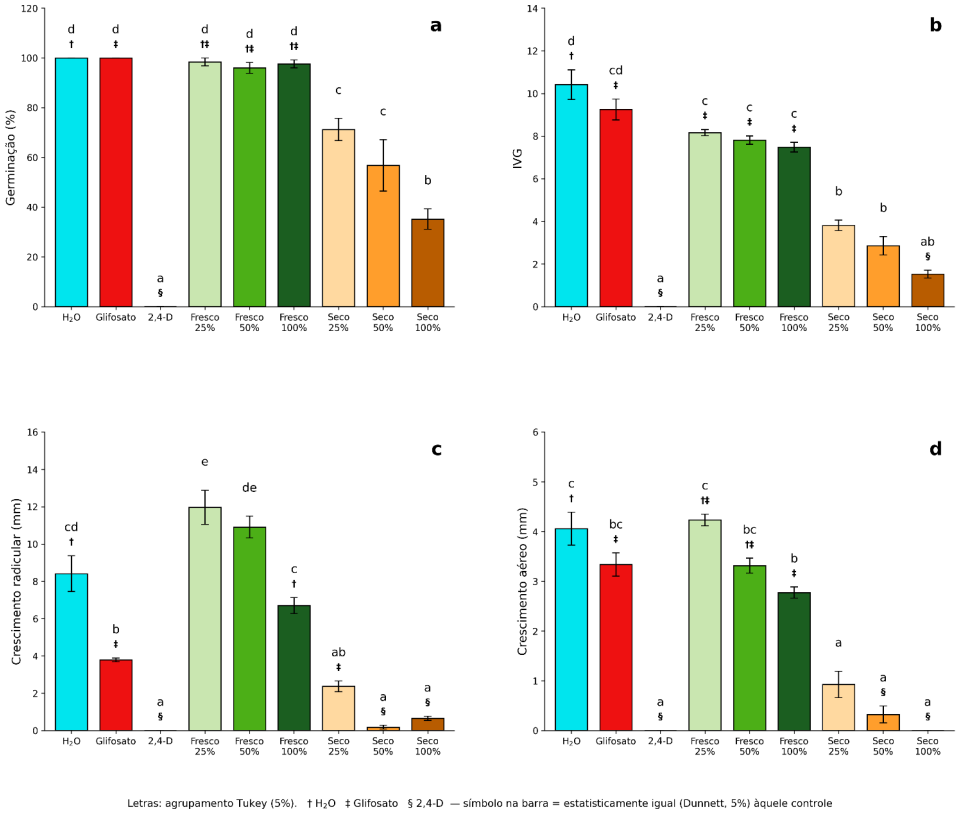
Tabela 1 - Quadro-resumo da ANOVA one-way (9 tratamentos) para as variáveis avaliadas.

Variável resposta	GL Trat.	GL Resíduo	QM Trat.	QM Resíduo	F	p	Eta²
Germinação (%)	8	51	10632,37	59,86	177,62	<0,001	0,965
Cresc. radicular (mm)	8	51	131,67	2,23	59,05	<0,001	0,903
Cresc. aéreo (mm)	8	51	21,78	0,35	62,61	<0,001	0,908
IVG	8	51	110,53	1,43	77,34	<0,001	0,924

GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; Eta² = tamanho de efeito. Fonte: elaborado pelos autores.

De forma geral, o hidrolato do material fresco apresentou efeito alelopático moderado e dose-dependente: mesmo na concentração de 100%, a germinação permaneceu elevada (cerca de 98%), e o crescimento radicular e aéreo, embora reduzidos em relação às diluições menores, mantiveram-se em níveis próximos ou superiores aos do controle com Glifosato. Já o hidrolato do material seco apresentou efeito alelopático muito mais acentuado: a germinação caiu para cerca de 35% na concentração de 100%, e o crescimento radicular e aéreo foram quase totalmente suprimidos já a partir da concentração de 50%, aproximando-se do efeito do 2,4-D em algumas variáveis. Esse padrão indica que o processo de secagem do material vegetal concentrou ou alterou os compostos alelopáticos presentes no hidrolato, tornando-o mais fitotóxico do que o hidrolato extraído do material fresco (Figura 1).

Figura 1 - Germinação (%) (a), Índice de Velocidade de Germinação - IVG (b), crescimento radicular (c) e crescimento aéreo (d) de plântulas de alface expostas à água, Glifosato, 2,4-D e ao hidrolato de material de tiririca fresco e seco (25%, 50% e 100%). Barras representam a média ± erro padrão. Letras minúsculas indicam agrupamento pelo teste de Tukey (5%). Os símbolos †, ‡ e § indicam ausência de diferença estatística (Dunnett, 5%) em relação à água, ao Glifosato e ao 2,4-D, respectivamente.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os contrastes de Dunnett reforçam essa diferença de comportamento entre as duas formas de preparo. O hidrolato extraídp de material fresco, em todas as concentrações, foi estatisticamente equivalente à água em germinação e permaneceu equivalente ao Glifosato na maior parte das variáveis, indicando efeito alelopático brando, comparável ao de um herbicida de baixo impacto sobre a germinação. Já o hidrolato extraído de material seco não se equiparou a nenhum dos controles em germinação e IVG, diferindo simultaneamente de água, Glifosato e 2,4-D na maioria das concentrações; em crescimento radicular e aéreo, nas concentrações de 50% e 100%, tornou-se estatisticamente equivalente ao 2,4-D, atingindo nível de inibição comparável ao do herbicida de ação mais drástica testado.

Para testar formalmente se a resposta à concentração do hidrolato depende da forma de preparo, os seis tratamentos de hidrolato foram analisados por ANOVA fatorial (forma de preparo × concentração; Tabela 2). O fator forma de preparo foi altamente significativo para todas as variáveis ($p < 0,001$), confirmando que o hidrolato do material seco é consistentemente mais fitotóxico que o fresco. O fator concentração também foi significativo em todas as variáveis ($p < 0,001$ a $p = 0,005$). Houve interação significativa entre os dois fatores para germinação ($p = 0,006$), crescimento radicular ($p < 0,001$) e IVG ($p = 0,016$), isto é, o efeito de aumentar a concentração não é o mesmo nas duas formas de preparo: no hidrolato do material seco a resposta à concentração é mais acentuada e não segue um padrão estritamente linear, enquanto no hidrolato do material fresco a redução é mais suave e gradual. A única variável sem interação significativa foi o crescimento aéreo ($p = 0,254$), sugerindo que, nessa variável, o efeito da concentração é proporcionalmente semelhante entre as duas formas de preparo.

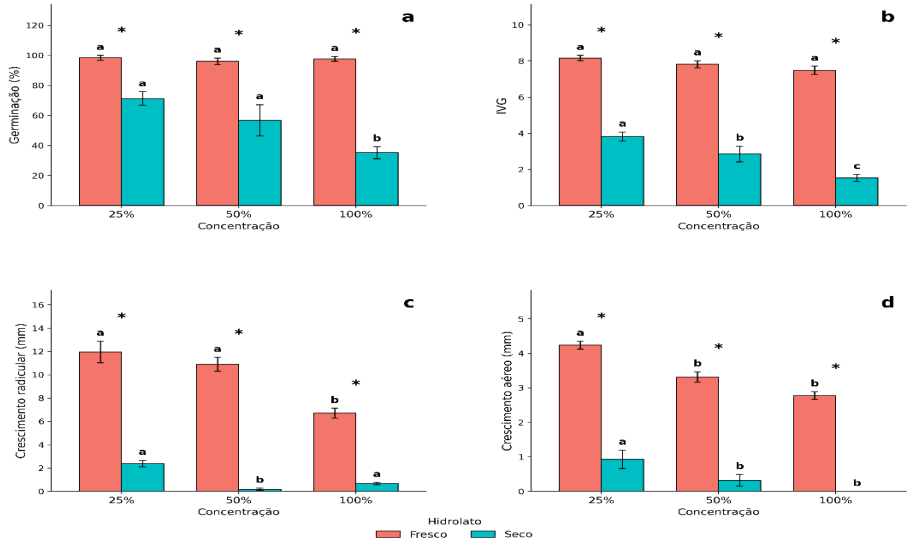
Tabela 2 - Quadro-resumo da ANOVA fatorial (forma de preparo × concentração) para os tratamentos de hidrolato.

Variável resposta	Fonte de variação	GL	F	p
Germinação (%)	Forma de preparo	1	108,68	<0,001
	Concentração	2	6,67	0,005
	Interação	2	6,29	0,006
Cresc. radicular (mm)	Forma de preparo	1	470,89	<0,001
	Concentração	2	24,75	<0,001
	Interação	2	12,08	<0,001
Cresc. aéreo (mm)	Forma de preparo	1	555,93	<0,001
	Concentração	2	29,53	<0,001
	Interação	2	1,45	0,254
IVG	Forma de preparo	1	586,83	<0,001
	Concentração	2	16,72	<0,001
	Interação	2	4,95	0,016

GL = graus de liberdade; soma de quadrados do Tipo II; resíduo com 24 graus de liberdade em todos os modelos. Fonte: elaborado pelos autores.

Como o hidrolato extraído de material fresco e o seco constituem experimentos de natureza distinta dentro do fator concentração, as comparações múltiplas foram conduzidas em duas famílias separadas: (i) dentro de cada forma de preparo, comparando as três concentrações entre si (Tukey, 5%); e (ii) dentro de cada concentração, comparando fresco versus seco (teste t com correção de Holm). Em todas as quatro variáveis e nas três concentrações, o hidrolato do material fresco diferiu significativamente do seco ($p < 0,001$ em todos os casos; Figura 2). Dentro de cada forma de preparo, o padrão de resposta à concentração também difere: no hidrolato do material fresco, a germinação e o IVG não variaram significativamente entre 25%, 50% e 100%, enquanto o crescimento radicular caiu apenas na concentração de 100%. Já no hidrolato do material seco, um resultado que chama atenção aparece no crescimento radicular: a concentração de 50% diferiu tanto da de 25% quanto da de 100%, em um padrão não monotônico (queda seguida de leve recuperação), coerente com a interação significativa detectada para essa variável.

Figura 2 - Comparação entre as concentrações de hidrolato extraído de material fresco e seco (25%, 50% e 100%) sobre germinação (%) (a), IVG (b), crescimento radicular (c) e crescimento aéreo (d) de plântulas de alface. Barras representam a média ± erro padrão. Letras indicam o teste de Tukey (5%) entre concentrações, separadamente para cada forma de preparo. Asteriscos (*) indicam diferença significativa entre fresco e seco naquela concentração (teste t com correção de Holm, 5%).



Fonte: elaborado pelos autores.

Discussão

Os resultados confirmam o potencial alelopático de *C. rotundus* já relatado na literatura (Andrade; Bittencourt; Vestena, 2009) e evidenciam que a forma de preparo do material vegetal é determinante da intensidade desse efeito. O hidrolato fresco comportou-se como alelopático brando, sem comprometer a germinação e com crescimento próximo ao do controle com Glifosato, mesmo na maior concentração. Esse padrão é compatível com relatos de que a germinação de *L. sativa* é pouco sensível a extratos de *C. rotundus*, sendo o crescimento radicular o parâmetro mais responsivo (Andrade; Bittencourt; Vestena, 2009), o que também se observou aqui em ambas as formas de preparo.

O agravamento do efeito fitotóxico no hidrolato seco, aproximando-se estatisticamente do 2,4-D em crescimento radicular e aéreo a partir de 50%, sugere que a secagem a 60 °C não apenas concentrou, mas pode ter alterado qualitativamente os compostos voláteis extraídos. Os sesquiterpenos majoritários do óleo essencial de *C. rotundus*, como α-cyperona, ciperene, óxido de cariofileno e α-selineno (Bezerra, 2021), são termolábeis e sujeitos a oxidação e volatilização diferencial durante a secagem, o que pode ter favorecido frações mais fitotóxicas no hidrolato seco. Essa hipótese é reforçada pela interação significativa entre forma de preparo e concentração (Tabela 2), e consistente com relatos de que a secagem altera qualitativamente a composição química de óleos voláteis, não apenas seu rendimento (Machado *et al.*, 2013).

O padrão não monotônico observado no crescimento radicular do hidrolato seco, com a concentração de 50% diferindo de 25% quanto e de 100%, merece investigação adicional, podendo refletir hormese em baixas doses seguidas de inibição mais acentuada. Do ponto de vista prático, os resultados reforçam a proposta de reaproveitar o hidrolato, subproduto normalmente descartado como insumo bioherbicida (Silveira *et al.*, 2010), o do material seco reproduz, em grandezas comparáveis, o efeito de herbicida como o 2,4-D, enquanto o fresco representa alternativa de menor impacto , com efeito seletivo sobre o crescimento sem inibir a germinação, reforçando o potencial de valorização de hidrolatos como insumos de baixo custo dentro de uma perspectiva de economia circular (Almeida *et al.*, 2024).

Conclusão

O hidrolato de *Cyperus rotundus L.* apresentou efeito alelopático sobre a germinação e o crescimento inicial de *Lactuca sativa L.* fortemente dependente do estado do material vegetal utilizado na sua obtenção. O hidrolato extraídp de material fresco exerceu efeito moderado, sem redução relevante da germinação, enquanto o hidrolato extraídp de material seco apresentou efeito muito mais acentuado sobre germinação, IVG e, principalmente, sobre o crescimento radicular e aéreo, aproximando-se estatisticamente do controle positivo 2,4-D nas maiores concentrações. O sistema radicular confirmou-se como a estrutura mais sensível aos efeitos fitotóxicos em ambas as formas de preparo. Esses resultados indicam que o processo de secagem do material vegetal antes da hidrodestilação potencializa o efeito fitotóxico do hidrolato de tiririca, sinalizando seu potencial como subproduto bioherbicida de baixo custo e menor impacto ambiental, sendo recomendável a continuidade dos estudos para identificação dos compostos responsáveis por esse efeito e para avaliação da seletividade do hidrolato sobre culturas de interesse agrícola.

Referências

ALMEIDA, H. H. S.; FERNANDES, I. P.; AMARAL, J. S.; RODRIGUES, A. E.; BARREIRO, M. F. Unlocking the potential of hydrosols: transforming essential oil byproducts into valuable resources. **Molecules**, v. 29, n. 19, p. 4660, 2024.

ANDRADE, H. M.; BITTENCOURT, A. H. C.; VESTENA, S. Potencial alelopático de *Cyperus rotundus L.* sobre espécies cultivadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. especial, p. 1984-1990, 2009.

BEZERRA, J. J. L. Compostos químicos e atividades biológicas do óleo essencial de *Cyperus rotundus L.* (Cyperaceae): uma revisão bibliográfica. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 2, p. 1544-1560, 2021.

HOLM, L. G.; PLUCKNETT, D. L.; PANCHO, J. V.; HERBERGER, J. P. **The world's worst weeds: distribution and biology.** Honolulu: University Press of Hawaii, 1977. 609 p.

LE, D.; MORELL, M. Influence of water regimes and herbicides for control of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). **Advances in Weed Science**, v. 39, e20210085, 2021.

MACHADO, M. P.; BERGO, C. L.; DESCHAMPS, C.; BIZZO, H. R.; BIASI, L. A. Efeito da secagem natural e artificial da biomassa foliar de Piper hispidinervum na composição química do óleo essencial. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 265-270, 2013.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

PERVEEN, S.; YOUSAF, M.; MUSHTAQ, M. N.; SARWAR, N.; KHAN, M. Y.; MAHMOOD, S. Bioherbicidal potential of some allelopathic agroforestry and fruit plant species against Lepidium sativum. **Plant, Soil and Environment**, v. 38, p. 11-18, 2019.

QUAYYUM, H. A.; MALLIK, A. U.; LEACH, D. M.; GOTTARDO, C. Growth inhibitory effects of nutgrass (*Cyperus rotundus*) on rice (Oryza sativa) seedlings. **Journal of Chemical Ecology**, v. 26, n. 9, p. 2221-2231, 2000.

SILVEIRA, H. R. O.; FERRAZ, E. O.; MATOS, C. C.; ALVARENGA, I. C. A.; GUILHERME, D. O.; TUFFI SANTOS, L. D.; MARTINS, E. R. Alelopatia e homeopatia no manejo da tiririca (*Cyperus rotundus*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 499-506, 2010.

SIMÕES, M. S.; MADAIL, R. H.; BARBOSA, S.; NOGUEIRA, M. L. Padronização de bioensaios para detecção de compostos alelopáticos e toxicantes ambientais utilizando alface. **Biotemas**, Florianópolis, v. 26, n. 3, p. 29-36, 2013.

VARANASI, V.; BARARPOUR, T.; MUBVUMBA, P.; FLETCHER, R.; REDDY, K. Purple nutsedge (Cyperus rotundus) response to postemergence herbicides varies with mode of action and plant growth stage. Weed Technology, v. 39, e81, 2025.

VASCONCELOS, L. C.; SANTOS, E. S.; BERNARDES, C. O.; FERREIRA, M. F. S.; FERREIRA, A.; TULER, A. C.; PRAÇA-FONTES, M. M. Phytochemical analysis and effect of the essential oil of Psidium L. species on the initial development and mitotic activity of plants. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 26216-26228, 2019.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo suporte financeiro concedido, fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa, bem como ao Laboratório de Citogenética e Cultura de Tecidos Vegetais (LABCITO) pela infraestrutura disponibilizada e pelo acompanhamento técnico oferecido ao longo da execução do trabalho.