AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE FITOTÓXICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE AROEIRA

Ana Julia Seixas Cortez, Carolyn Cristina Vale da Silva, Letícia Lima de Paula, Fernanda Raquel Pedroso Spavier, Eliane Valeria de Barros, Tércio da Silva de Souza.

Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) /Campus Vitória, Avenida Vitória, 1729, Jucutuquara - 29040 780 - Vitória-ES, Brasil, anajscortez@gmail.com, crlyncris.2007@gmail.com, leticialima2863@gmail.com, fr.pedrososp@gmail.com, ebarros@ifes.edu.br, tssouza@ifes.edu.br

Resumo
O estudo avaliou o efeito fitotóxico do óleo essencial de aroeira sobre sementes de *Lactuca sativa* e *Allium cepa*, além das plantas daninhas, *Bidens pilosa* e *Lollium multiflorum*, em ensaios de germinação. O óleo essencial de aroeira (OE-Aro), adquirido da Harmonia Natural - Produtos Naturais Ltda – ME foi caracterizado quimicamente e apresentou 16 compostos com área relativa superior 1%, com predominância de monoterpenos hidrocarbonetos, sendo majoritários o α-pineno (40,80%) e o β o-cimeno (23,16%). No ensaio de fitotoxicidade observou-se maior sensibilidade de *Lolium multiflorum* (CI_{50} = 435,2 mg L^{-1}; CI_{90} = 1445,6 mg L^{-1}), seguido por *Bidens pilosa* (CI50 = 557,4 mg L^{-1}; CI_{90} = 3006,6 mg L^{-1}). *Lactuca sativa* obteve sensibilidade intermédiaria (CI_{50} = 696,7 mg L^{-1}; CI90 = 2907,6 mg L^{-1}), enquanto *Allium cepa* apresentou a maior resistência dentre as espécies tratadas (CI_{90} = 4168,4 mg L-1; CI90 = 8928,4 mg L^{-1}).

.
Palavras-chave: Óleo de aroeira, bioherbicida, fitotoxicidade, concentração letal.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra

Introdução

A agricultura brasileira desempenha papel estratégico na economia nacional, contribuindo para geração de empregos e segurança alimentar (Procópio, Binotto e Pereira, 2024). Para aumentar a eficiência produtiva, a principal ferramenta de manejo utilizada são os herbicidas sintéticos, por sua elevada eficácia e praticidade operacional. (Duke e Dayan, 2022; Hazrati *et al*., 2017). No entanto, seu uso exacerbado tem gerado persistência ambiental, acúmulo de resíduos tóxicos e efeitos adversos sobre organismos não alvo. Além disso, a pressão seletiva exercida por aplicações repetidas tem favorecido a rápida evolução de populações resistentes, comprometendo a eficácia desses insumos ao longo do tempo (NATH et al., 2024; PARVEN et al., 2025).

Dessa forma, torna-se de grande necessidade o desenvolvimento de alternativas sustentáveis. Os oléos essenciais (OEs) emergem como uma abordagem promissora para serem utilizados como bioherbicidas, vista sua diversidade química, biodegradabilidade e múltiplos mecanismos de ação, como desorganização de membranas celulares, estresse oxidativo, inibição da atividade enzimática e apoptose (EL KHETABI et al., 2022; LI, QIAO e ZHANG, 2025).

Dentre os óleos essenciais promissores no manejo de plantas daninhas, destaca-se o óleo de *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-vermelha). Seu óleo essencial (OE-Aro) apresenta composição rica em monoterpenos e sesquiterpenos, incluindo α-pineno, β-pineno, limoneno e β-cariofileno, compostos frequentemente associados à atividade fitotóxica (BERNARDI et al. 2025; DA SILVA et al. 2023; MAGALHÃES et al. 2021 e MARTINI et al. 2021).

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial fitotóxico do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius*, contribuindo para a compreensão de seu uso como bioherbicida e para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis no manejo de plantas daninhas.

Metodologia

A caracterização qualitativa e semiquantitativa do óleo essencial (OE) foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS, modelo Shimadzu GC-MS-2010), conforme descrito por De Souza et al. (2017), com adaptações. A identificação dos compostos presentes no OE foi baseada na comparação dos espectros de massa obtidos com as bibliotecas espectrais Wiley (Registry of Mass Spectral Data) e NIST (Mass Spectrometry Data Center), bem como na comparação dos índices de retenção linear calculados (LTPRI).

O preparo das emulsões baseou-se na metodologia de Hazrati et al. (2017), com modificações, utilizando-se 90% de água destilada, 5% (m v-1) de OE-Aro e 5% (m v-1) de Tween 80, sob agitação ultrassônica.

O potencial fitotóxico do óleo essencial de aroeira (OE-Aro) foi avaliado por meio de bioensaios de germinação de sementes *in vitro*, visando determinar as concentrações inibitórias responsáveis por 50% e 90% da inibição da germinação (CI_{50} e CI_{90}). Esses parâmetros foram estimados com base no crescimento das radículas, a partir de curvas dose–resposta. Como organismos-teste, foram utilizadas sementes de *Lactuca sativa* L. (alface), *Allium cepa* L. (cebola) e das espécies daninhas *Bidens pilosa* L. (picão-preto) e *Lolium multiflorum* Lm. (azevém).

Com base nos resultados preliminares, foram estabelecidas sete concentrações para o ensaio dose–resposta: 0,0; 17,10; 292,40; 1209,14; 5000,00; 14.086,00 e 50.000,00 mg L^{-1}. Nessa etapa, o número de sementes foi ampliado para 16 por repetição, mantendo-se três repetições por tratamento. O controle negativo (C−) consistiu de água destilada contendo 5% de Tween 80. Após 168 h de incubação, a germinação foi avaliada pela contagem das sementes que apresentaram protrusão radicular ≥ 1 mm, critério adotado para germinação.

Os dados de inibição obtidos em cada concentração foram submetidos à análise de regressão pelo modelo probabilístico PROBIT, com o objetivo de estabelecer a relação dose–resposta e estimar os valores de CI_{50} e CI_{90}, conforme a abordagem descrita por De Carvalho et al. (2017).

Resultados

Tabela 1 - Análise cromatográfica do óleo essencial de aroeira (*Schinus terebinthifolius*).

Peak	RT (min)	$LTPRI_{Cal}$	$LTPRI_{Tab}$	Compound	Identification	Relative Area %
1	10.451	930	932	alpha-Pinene	LTPRI/MS	40.80
2	12.162	1003	1005	alpha-Phellandrene	LTPRI/MS	1.57
3	12.292	975	974	beta-Pinene	LTPRI/MS	5.18
4	12.955	988	988	beta-Myrcene	LTPRI/MS	1.36
5	14.499	1020	1022	o-Cymene	LTPRI/MS	23.16
6	14.703	1025	1025	beta-Phellandrene	LTPRI/MS	11.71
7	14.806	1033	1031	Eucalyptol	LTPRI/MS	0.97
8	28.224	1316	1315	2,3-Pinanediol	LTPRI/MS	1.71
9	30.851	1375	1376	Copaene	LTPRI/MS	1.83
10	31.543	1390	1389	beta-Elemene	LTPRI/MS	0.58
11	34.210	1456	1456	beta-Farnesene	LTPRI/MS	1.55
12	35.904	1590	1493	Viridiflorene	LTPRI/MS	0.69
13	36.094	1500	1499	alpha-Muurolene	LTPRI/MS	2.12
14	37.026	1524	1524	delta-Cadinene	LTPRI/MS	5.20
15	39.206	1576	1576	(-)-Spathulenol	LTPRI/MS	0.82
16	39.436	1582	1581	Caryophyllene oxide	LTPRI/MS	0.74
Monoterpeno hidrocarboneto - *alpha-pinene; alpha-phellandrene, beta-pinene, beta-myrcene, o-cymene, beta-phellandrene.*						83,78
Monoterpeno oxigenado – *eucalyptol, 2,3-pinanediol*.						2,68
Sesquiterpeno hidrocarboneto – *copaene, beta-elemene, beta-farnesene, varidiflorene, alpha-muurolene, delta-cadinene*.						12,97
Sesquiterpeno oxigenado - *(-)-spathulenol, caryophyllene oxide*						1,56
Total						100,00

RT (Tempo de retenção – minutos); Relative Area % (área relativa); Area Adjusted % (área relativa corrigida pelo RRF); IR_{Cal} (Índice de Retenção Calculado); IR_{Tab} (Índice de Retenção tabelado); MS (Espectrometria das massas).

Tabela 2. Parâmetros de concentração-resposta (CI_{50} e CI_{90}) da fitotoxicidade do OE-Aro sobre a germinação de espécies-modelo e plantas daninhas.

Espécie	N	CI_{50} (mg L^{-1}) (IC 95%)	CI_{90} (mg L^{-1}) (IC 95%)	χ^2	GL	p-valor
Alface	36	696,7 (509,7 – 952,4)	2907,6 (1860,1 – 4545,1)	1,70	5	0,8888
Cebola	36	4168,4 (3292,3 – 5277,5)	8928,4 (6487,8 – 12287,0)	0,50	5	0,9922
Picão	36	557,4 (372,5 – 834,1)	3006,6 (1758,7 – 5140,1)	2,64	5	0,7547
Azevém	36	435,2 (301,3 – 628,5)	1445,6 (852,4 – 2451,5)	0,02	5	1,0000

Legenda: N: Número de sementes utilizadas; CL_{50}: Concentração Letal/Inibidora para 50% da população; CL_{90}: Concentração Letal/Inibidora para 90% da população; χ^2: Qui-quadrado de Pearson; GL: Graus de liberdade.[a]IC_{95}: Intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

Discussão

A densidade obtida para o OE-Aro (0,9221 ± 0,0116 g cm^{-3}) permite o dimensionamento de recipientes de comercialização, bem como para o cálculo exato da dosagem de utilização do produto em sistemas emulsionados. Sobre os atributos sensoriais, à análise revelou que o OE-Aro apresenta aroma forte, amadeirado e levemente apimentado, levemente amarelo e translúcido.

A análise do óleo essencial de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) permitiu a identificação e quantificação de seus constituintes voláteis (Tabela 1), com uma predominância de monoterpenos hidrocarbonetos, caracterizada principalmente pela presença de alfa-pineno (40,80%), acompanhado por o-cimeno (Pico 5; 23,16%) e beta-felandreno (11,71%), além de contribuições menores de sesquiterpenos hidrocarbonetos e traços de compostos oxigenados.

A arquitetura molecular e o sinergismo entre os componentes majoritários do OE-Aro são fundamentais para seu potencial fitotóxico. A elevada lipofilicidade dos monoterpenos favorece sua permeação pelas cutículas e membranas celulares, promovendo alterações na homeostase e no equilíbrio osmótico. Esses efeitos desencadeiam estresse oxidativo pela geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), comprometendo os sistemas de defesa e processos metabólicos essenciais e, consequentemente, inibindo o desenvolvimento das plantas-alvo (BACCOURI, RAJHI, 2021).

O óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* demonstrou atividade fitotóxica consistente sobre a germinação de todas as espécies avaliadas (Tabela 2). As curvas dose–resposta evidenciaram diferenças significativas na sensibilidade interespecífica. Entre as plantas daninhas, *Lolium multiflorum* apresentou maior suscetibilidade (CI_{50} = 435,2 mg L^{-1}; CI_{90} = 1445,6 mg L^{-1}), seguido por *Bidens pilosa* (CI_{50} 557,4 mg L^{-1}; CI90 = 3006,6 mg L^{-1}), corroborando o potencial bioherbicida do óleo essencial sobre plantas daninhas com histórico de resistência contra herbicidas sintéticos (HEAP, 2026). *Lactuca sativa* apresentou sensibilidade intermediária (CI_{50} = 696,7 mg L^{-1}; CI90 = 2907,6 mg L^{-1}), enquanto *Allium cepa* foi a espécie mais tolerante (CI_{50} = 4168,4 mg L^{-1}; CI_{90} = 8928,4 mg L^{-1}).

A atividade fitotóxica pode estar relacionada, além do fator composição, ao reduzido diâmetro das gotículas (~216 nm), que favorece a deposição e penetração dos monoterpenos nos tecidos vegetais, promovendo alterações de membranas e estresse oxidativo (MAGALHÃES et al., 2021). Ademais, a sinergia entre os constituintes terpênicos também contribui para a intensificação desses

efeitos, afetando processos como a respiração mitocondrial e a mobilização de reservas (MEKKY et al., 2019). A variação de sensibilidade entre as espécies evidencia uma possível janela de seletividade ecológica, indicando potencial para aplicações no manejo pré-emergente e nos estádios iniciais de desenvolvimento.

Conclusão

A caracterização química do óleo essencial de aroeira evidenciou uma composição predominantemente constituída por monoterpenos hidrocarbonetos, compostos reconhecidos por seu caráter altamente lipofílico, característica que pode estar associada à atividade fitotóxica observada. Nos ensaios biológicos, o OE-Aro apresentou efeito inibitório sobre a germinação das espécies avaliadas, sendo o azevém a espécie mais sensível, seguido pelo picão-preto e pela alface, enquanto a cebola apresentou maior tolerância ao tratamento. Esses resultados demonstram o potencial fitotóxico do óleo essencial de aroeira e indicam sua possibilidade de aplicação como fonte de compostos para o desenvolvimento de bioherbicidas. Entretanto, por se tratar de ensaios realizados em condições controladas, são necessários estudos complementares para avaliar seus mecanismos de ação, efeitos sobre espécies não-alvo, estabilidade e eficácia em diferentes condições, especialmente por meio de ensaios em condições de campo, antes de considerar sua aplicação como alternativa aos herbicidas sintéticos convencionais.

Referências

BACCOURI, B.; RAJHI, I. Potential antioxidant activity of terpenes. In: BIOCHEMISTRY. [S. l.]: IntechOpen, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5772/intechopen.96638.

BERNARDI, J. L. et al. Exploring the essential oil of Aroeira (Schinus terebinthifolius Raddi): chemical composition, biological potentials, and future directions. Food Bioscience, v. 68, p. 106670, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106670.

CARVALHO, J. R.; PRATISSOLI, D.; VIANNA, U. R.; HOLTZ, A. M. Análise de probit aplicada a bioensaios com insetos. Colatina: IFES, 2017. 102 p. ISBN 978-85-64937-08-6. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317994149_ANALISE_DE_PROBIT_APLICADA_A_BIOENSAIOS_COM_INSETOS.

DA SILVA, M. M. C. et al. Antibiotic-potentiating activity of the Schinus terebinthifolius Raddi essential oil against MDR bacterial strains. Plants, v. 12, n. 8, p. 1587, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/plants12081587.

DE JESUS, V. L. B.; PALMA, D. A. Medição da densidade do óleo: uma discussão sobre sua otimização e diminuição dos custos via incerteza relativa da medição. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 3, p. 3302.1–3302.6, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1806-11172008005000002.

DE SOUZA, T. S. et al. Essential oil of Psidium guajava: influence of genotypes and environment. Scientia Horticulturae, v. 216, p. 38–44, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.026.

DUKE, S. O.; DAYAN, F. E. The search for new herbicide mechanisms of action: is there a 'holy grail'? Pest Management Science, v. 78, n. 4, p. 1303–1313, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ps.6726.

EL KHETABI, A. et al. Role of plant extracts and essential oils in fighting against postharvest fruit pathogens and extending fruit shelf life: a review. Trends in Food Science & Technology, v. 120, p. 402–417, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.009.

HAZRATI, H.; SAHARKHIZ, M. J.; NIAKOUSARI, M.; MOEIN, M. Natural herbicide activity of Satureja hortensis L. essential oil nanoemulsion on the seed germination and morphophysiological features of two important weed species. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 142, p. 423–430, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.041.

HEAP, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. [S. l.]: WeedScience, 2026. Disponível em: https://www.weedscience.org.

LI, H.; QIAO, S.; ZHANG, S. Essential oils in grain storage: a comprehensive review of insecticidal and antimicrobial constituents, mechanisms, and applications for grain security. Journal of Stored Products Research, v. 111, p. 102537, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102537.

MAGALHÃES, M. L. et al. Genotoxic, cytotoxic and fungicidal activity of the essential oil extracted from the leaves and fruits of the pink pepper (Schinus terebinthifolius Raddi). Australian Journal of Crop Science, v. 15, n. 7, p. 997–1004, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.07.p2962.

MARTINI, S.; CATTIVELLI, A.; CONTE, A.; TAGLIAZUCCHI, D. Black, green, and pink pepper affect differently lipid oxidation during cooking and in vitro digestion of meat. Food Chemistry, v. 350, p. 129246, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129246.

MEKKY, M. S. et al. Allelopathic effect of Ocimum basilicum L. extracts on weeds and some crops and its possible use as new crude bio-herbicide. Annals of Agricultural Sciences, v. 64, n. 2, p. 211–221, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aoas.2019.12.005.

NATH, C. P. et al. Challenges and alternatives of herbicide-based weed management. Agronomy, v. 14, n. 1, p. 126, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agronomy14010126.

PARVEN, A.; MEFTAUL, I. M.; VENKATESWARLU, K.; MEGHARAJ, M. Herbicides in modern sustainable agriculture: environmental fate, ecological implications, and human health concerns. International Journal of Environmental Science and Technology, v. 22, p. 1181–1202, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s13762-024-05818-y.

PROCÓPIO, D. P.; BINOTTO, E.; PEREIRA, M. W. G. Fatores associados à adoção de tecnologia no setor agropecuário. REAd. Revista Eletrônica de Administração, Porto Alegre, v. 30, n. 1, p. 844–874, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1413-2311.396.127244.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória, pela infraestrutura e disponibilização de equipamentos. E ao Laboratório de Química Aplicada – Ifes/Alegre.