

EFEITO ALELOPÁTICO DE RESÍDUOS CULTURAIS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE MILHO E SOJA¹

ALLELOPATHY EFFECT OF CROP RESIDUES ON SEED GERMINATION AND SEEDLING GROWTH OF CORN AND SOYBEAN

Marciel Redin² e Magnos Alencar Seidel³

RESUMO

O objetivo foi avaliar os efeitos alelopáticos de extratos aquosos da parte aérea de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), canola (*Brassica napus* L.), azevém (*Lolium multiflorum* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiferus* L.) na germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e milho (*Zea mays* L.). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições cada tratamento e unidade experimental constituída por 50 sementes. As sementes de soja e milho foram dispostas em bandejas contendo folhas de papel absorvente embebidas em 15 mL do extrato, fechadas e incubadas com fotoperíodo de 12 horas a 25°C, por sete dias. Foi avaliado a germinação das sementes, plântulas normais, anormais, massas frescas e secas, comprimento da parte aérea e raízes, além da condutividade elétrica das sementes expostas aos extratos por 24, 48 e 96 horas. O extrato aquoso de nabo reduziu 27,3% a germinação de sementes de soja, os extratos de azevém e nabo reduziram mais de 65% a germinação de milho. Extratos de canola e azevém reduziram a massa fresca e seca da parte aérea e comprimento de plântulas de soja e milho. A condutividade elétrica não variou entre extratos e culturas, porém houve diferença com o tempo de contato, 96>48>24 horas. Na soja, o extrato de nabo apresenta os efeitos mais acentuados, impactando negativamente a germinação, desenvolvimento radicular, comprimento da parte aérea e a massa total das plântulas. Extratos de azevém e nabo apresentam maior potencial para reduzir a germinação de milho, o crescimento, desenvolvimento radicular e massa seca de plântulas.

Palavras-chave: Alelopatia; Crescimento inicial; Extratos aquosos; Resíduos culturais.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the allelopathic effects of aqueous extracts of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), canola (*Brassica napus* L.), ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) and turnip (*Raphanus sativus* var. *oleiferus* L.) on seed germination and seedling growth of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and corn (*Zea mays* L.). The experimental design was completely randomized with four replicates per treatment and an experimental unit consisting of 50 seeds. The soybean and corn seeds were placed on trays containing sheets of absorbent paper soaked in 15 ml of the extract, closed and incubated with a 12-hour photoperiod at 25°C for seven days. Seed germination, normal and abnormal seedlings, fresh and dry matter, length of the aerial part and roots, and electrical conductivity of the seeds exposed to the extracts for 24, 48 and 96 hours were evaluated. The aqueous extract of turnip reduced soybean seed germination by 27.3%, while ryegrass and turnip extracts reduced corn germination by more than 65%. Canola and ryegrass extracts reduced fresh and dry matter of shoots and seedling length of soybean and corn. Electrical conductivity did not vary

1 Trabalho do Curso de Agronomia na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS, Unidade em Três Passos.

2 Professor do Curso de Agronomia da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade Três Passos.

Orientador. E-mail: marciel-redin@uergs.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4142-0522>

3 Estudante do Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Três Passos (UERGS).

E-mail: magnos-seidel@uergs.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9116-3746>

between extracts and crops, but there was a difference with contact time, 96>48>24 hours. In soybean, turnip extract had the most pronounced effects, negatively impacting germination, root development, shoot length and total seedling mass. Ryegrass and turnip extracts had the greatest potential to reduce corn germination, growth, root development and seedling dry matter.

Keywords: Allelopathy; Initial growth; Aqueous extracts; Crop residues.

INTRODUÇÃO

A alelopatia é um termo que deriva de duas palavras gregas: *Alleton* (mútuo) e *pathos* (prejuízo), que compreende a capacidade de um organismo afetar o desenvolvimento de outro, de mesma ou diferentes espécies, sendo essa interferência devido a liberação de compostos alelopáticos no ambiente que podem inibir a germinação e o crescimento das plântulas (FRITZ *et al.*, 2007). Segundo Bruxel *et al.* (2022), a alelopatia consiste na liberação de substâncias químicas produzidas pelo metabolismo secundário, os aleloquímicos, que afetam diferentes estágios do desenvolvimento das plantas, interferem no crescimento, germinação, respiração, processo de fotossíntese, atividade de enzimas, absorção de água e nutrientes, além de modificar a microbiota do solo.

A busca de maiores produtividades em culturas de grãos está relacionada, entre outros fatores, com a uniformidade de germinação das sementes em uma lavoura que poder ser afeta pela presença de compostos alelopáticos provenientes de resíduos culturais da cultura anterior (POHLMANN *et al.*, 2021). Estudos recentes demonstram que a persistência e a atividade desses compostos variam conforme as condições edafoclimáticas, a composição da matéria orgânica e a interação com microrganismos do solo (POHLMANN *et al.*, 2021). No entanto, Santos *et al.* (2012), traz a alelopatia com viés na aplicabilidade para controle plantas daninhas, propiciando a redução do uso de produtos químicos favorecendo a produção agrosustentável.

A alelopatia pode ser utilizada de diversas formas, em cultivos orgânicos de grãos, por exemplo, um dos principais métodos de controle de plantas daninhas é o uso de plantas de cobertura de solo, por apresentarem efeito físico, bem como também seu efeito alelopático na germinação das plantas daninhas. No entanto, o efeito alelopático de resíduos culturais pode afetar a germinação e emergência das plantas de interesse agrícola em sucessão, como milho e soja. Extratos aquosos de capimannoni (*Eragrostis plana* Nees) apresentam influência negativa na germinação e desenvolvimento de plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.), aveia branca (*Avena sativa* L.) e trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) (QUATRIN *et al.*, 2025). O percentual de germinação de sementes e o crescimento inicial de espécies olerícolas foram inibidos na presença de extratos aquosos de picão preto (*Bidens pilosa* L.) (RABÊLO *et al.*, 2008). Extratos aquosos de *Cardaria draba* (L.) e *Salvia syriaca* (L.) retardaram a germinação das sementes e reduziram o crescimento das plântulas, especialmente de cenoura (*Daucus carota* subsp. *sativus*), cebola (*Allium cepa* L.) e tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (QASEM, 2001).

Dentre as culturas com potencial alelopático, destacam-se o sorgo, cuja liberação de sorgo-leone afeta o crescimento de espécies vizinhas e/ou pode comprometer a germinação de culturas comerciais em sucessão (SANTOS *et al.*, 2012); a canola, que libera glucosinolatos passíveis de conversão em isotiocianatos, compostos altamente fitotóxicos para muitas espécies cultivadas (NEVES, 2005; RATHKE; FILHO, 2020); o azevém, cujos compostos alelopáticos são liberados de forma gradual durante sua decomposição, podendo interferir no estabelecimento de culturas como o milho (BALBINOT JÚNIOR; MORAES; BACKES, 2007; POHLMANN *et al.*, 2021); e o nabo forrageiro, rico em fenóis e glucosinolatos, que podem afetar negativamente a germinação e crescimento de espécies sucessoras (DA SILVA *et al.*, 2011). Além disso, estudos indicam que espécies daninhas como a carqueja (*Baccharis trimera* Lees) e o leiteiro (*Euphorbia heterophylla* L.) apresentam efeitos inibitórios sobre a germinação de gramíneas forrageiras, como o azevém e a aveia preta (*Avena sativa* L.), evidenciando também o potencial de exploração desses compostos em estratégias de controle biológico (POHLMANN *et al.*, 2021).

A interação entre esses metabólitos secundários alelopáticos e as espécies vegetais pode impactar não apenas a produtividade das culturas subsequentes, mas também a composição da comunidade de plantas daninhas e a biodiversidade do solo, afetando a supressão natural de plantas invasoras e contribuindo para o manejo integrado de culturas (RATHKE; FILHO, 2020). O impacto da alelopatia é uma questão crítica na rotação e sucessão de culturas, pois os compostos aleloquímicos podem persistir no solo e comprometer o desempenho das culturas subsequentes, como milho e soja. Algumas substâncias podem sofrer degradação rápida por microrganismos, enquanto outras podem permanecer ativas por longos períodos, afetando a produtividade das culturas subsequentes (POHLMANN *et al.*, 2021). Pesquisas indicam que bioherbicidas à base de extratos naturais, como os desenvolvidos a partir de plantas com potencial alelopático, podem oferecer alternativas viáveis para reduzir a dependência de herbicidas sintéticos e minimizar impactos ambientais (RATHKE; FILHO, 2020).

Embora o assunto alelopatia desperte muita atenção por produtores rurais, no entanto, ainda pouco conhecido, de forma especial os efeitos de resíduos de culturas de grãos, forrageiras e plantas de cobertura de solo em culturas em sucessão como a soja e o milho na safra de verão, amplamente cultivadas no Brasil. Ainda, pode ser utilizado como estratégias em esquemas de rotação e sucessão de culturas para definição do tempo adequado de intervalo entressafras com vistas na redução dos efeitos negativos dos compostos alelopáticos na cultura em sucessão. Também, o uso de extratos provenientes de plantas de interesse agrícola como matéria prima para a elaboração de produtos alelopáticos, com potencial de bioherbicidas, pode ser uma estratégia agroecológica e sustentável, além de otimizar os recursos disponíveis nas propriedades (POHLMANN *et al.*, 2021).

Assim, o objetivo foi avaliar os efeitos alelopáticos de extratos aquosos de sorgo granífero, canola, azevém e nabo forrageiro na germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja e milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições controladas de laboratório de ciências na Unidade da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), unidade em Três Passos, RS. Para a realização do experimento foram utilizadas sementes de soja, cultivar TMG 7062 e milho MORGAN MG 300, sem tratamento químico advindas de um produtor local de sementes. Para o preparo dos extratos aquosos alelopáticos foram coletadas as plantas em estágio de pleno florescimento para a espécie forrageira (azevém) e planta de cobertura de solo (nabo), já para as espécies graníferas, canola e sorgo granífero no estágio de maturação fisiológica (colheita): assim, melhor representando a prática adotada em situação de campo, além desses estágios apresentarem pelas plantas maior acúmulo de matéria seca, acúmulo de nutrientes e compostos celulares como os alelopáticos. A parte aérea, mistura de folhas e talos de sorgo, canola, azevém e nabo forrageiro foram secas em estufa a 40 °C. A preparação dos extratos foi a partir de 10 g de material seco e triturado em 500 mL de água destilada, sendo essa a concentração utilizada no experimento. Os extratos foram deixados em repouso por 24 horas em condições naturais e, posteriormente filtrados e repassados para frasco de vidro âmbar mantido em geladeira até sua utilização no dia seguinte (SOUZA *et al.*, 2002).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, esquema bifatorial sendo quatro extratos e sementes de duas espécies de culturas graníferas, soja e milho, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por 50 sementes. Inicialmente, as sementes foram previamente desinfestadas com hipoclorito de sódio a 1% por dois minutos e em seguida enxaguadas em água destilada. As sementes de soja e milho foram dispostas em bandejas de alumínio de 300 cm², contendo papel toalha absorvente embebidas em 15 mL do extrato. Para cada espécie foi utilizada uma testemunha, consistindo somente de água destilada. As bandejas foram fechadas com saco plástico e alojadas em uma incubadora de fotoperíodo por 12 horas a 25 °C, por sete dias.

Avaliou-se a germinação, plântulas normais, anormais, massas frescas e seca, comprimento da parte aérea e raízes, e condutividade elétrica. A avaliação de sementes germinadas, normais ou anormais foram de acordo com as regras para análise de sementes (BRASIL, 2019). O comprimento foi realizado com régua milimetrada. As plântulas verdes foram pesadas separadamente e em seguida colocadas em estufa à 65 °C por 48 horas, para posteriormente determinar a massa seca. Para avaliação da condutividade elétrica foram utilizadas quatro repetições de 10 sementes de soja ou milho. As sementes foram dispostas em bécher e adicionado 75 mL de cada extrato aquoso. Ainda, foi realizado um tratamento testemunha somente com água destilada. Avaliou-se a degradação das sementes sob exposição aos extratos aquosos de 24, 48 e 96 horas com o auxílio de condutivímetro.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), seguido por teste de médias de Tukey ($p < 0,05$) utilizando-se dos procedimentos disponíveis no pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas duas espécies, a análise de variância mostrou diferenças significativas ($p < 0,05$) dependendo dos diferentes extratos aquosos para todas as variáveis analisadas, exceto para a condutividade elétrica das sementes (Tabelas 1, 2, 3 e 4). O número de sementes germinadas e plântulas anormais variou conforme os tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Percentual médio de germinação e plântulas anormais de soja e milho e seus respectivos erros padrões (\pm) em função da aplicação de extratos aquosos de sorgo, canola, azevém e nabo forrageiro.

Culturas	Extratos	Germinação (%)	Plântulas anormais (%)
Soja	Testemunha	88,3 \pm 5,2 a*	2,1 \pm 1,1 d
	Sorgo	82,5 \pm 4,7 b	20,4 \pm 4,3 b
	Canola	71,7 \pm 6,1 c	32,5 \pm 8,2 a
	Azevém	72,5 \pm 10,4 c	7,9 \pm 4,9 c
	Nabo forrageiro	64,2 \pm 5,9 d	15,3 \pm 15,2 bc
	CV (%)	6,1	10,1
Milho	Testemunha	92,5 \pm 8,1 a	1,8 \pm 0,7 d
	Sorgo	82,5 \pm 9,3 b	26,2 \pm 11,1 a
	Canola	70,8 \pm 11,4 bc	14,5 \pm 5,4 b
	Azevém	66,7 \pm 6,6 c	5,9 \pm 5,6 c
	Nabo forrageiro	67,5 \pm 7,2 c	10,3 \pm 7,4 bc
	CV (%)	8,3	7,9

*Letras minúsculas comparando os tratamentos em cada coluna e culturas.

Letras iguais não diferem estatisticamente (Tukey, $p < 0,05$).

Fonte: Autores (2025).

A presença da solução com extrato aquoso de nabo forrageiro apresentou maior efeito na germinação de sementes de soja, com redução de 27,3% em relação à testemunha (88,3% para 64,2%). Já para a cultura do milho, os maiores efeitos foram observados com os extratos de azevém e nabo, que reduziram a germinação para 66,7% e 67,5%, respectivamente, em comparação aos 92,5% da testemunha.

Esses resultados indicam que os compostos alelopáticos presentes nos extratos de nabo e azevém têm ação significativa sobre a capacidade germinativa das sementes. Para a soja, os aleloquímicos presentes no nabo, como os glucosinolatos, podem ter causado alterações fisiológicas, dificultando os processos de embebição e início da germinação. No milho, embora a germinação tenha sido menos afetada que na soja, o azevém também apresentou potencial tóxico, contribuindo para a redução observada. Além disso, os extratos impactaram a proporção de plântulas anormais. Na soja, quando as sementes expostas ao extrato de canola, apresentou a maior quantidade de plântulas anormais (32,5%), enquanto o nabo apresentou apenas 15,3%, valores superiores ao observado na testemunha (2,1%). No milho, o extrato de sorgo apresentou o maior percentual de plântulas anormais (26,2%), seguido pela canola (14,5%) e pelo nabo (10,3%), em contraste com os 1,8% da testemunha.

A maior presença de plântulas anormais com extratos de canola em sementes de soja e sorgo em milho, pode ser atribuída à ação direta dos aleloquímicos nos tecidos em desenvolvimento, resultando em deformidades radiculares, atrofiamento da parte aérea e clorose. Esses sintomas já foram descritos por Oliveira Júnior *et al.* (2014) em experimentos com sorgo e são consistentes com os efeitos observados em nosso estudo. Estudos realizados em condições de casa de vegetação indicam que a presença de resíduos de sorgo, pode reduzir significativamente o crescimento e a produtividade da soja em solos de textura média, como o Latossolo Vermelho distrófico (MURAISHI *et al.*, 2005; OLIBONE *et al.*, 2006; NÓBREGA *et al.*, 2009). Esses efeitos podem ser atribuídos à liberação de compostos alelopáticos durante a decomposição dos resíduos de sorgo, que afetam processos fisiológicos essenciais no desenvolvimento inicial das culturas.

Do ponto de vista agrônomo, os resultados sugerem que o uso de nabo como planta de cobertura de solo deve ser manejado com cautela em sistemas que envolvem a sucessão com culturas como a soja, devido ao seu impacto negativo na germinação e no desenvolvimento inicial de plântulas. Ainda, porém para a cultura do milho, a presença de resíduos culturais de azevém também pode comprometer o estabelecimento inicial, especialmente quando o manejo desses resíduos não é realizado com antecedência suficiente para reduzir a liberação e degradação de compostos alelopáticos.

Esses resultados corroboram com estudos anteriores que destacam o impacto de compostos alelopáticos em sistemas agrícolas. Por exemplo, Quatrin *et al.* (2025), observaram redução de germinação de sementes acima de 30, 40 e 80% para as culturas de arroz, aveia e trevo persa, quando expostas a extratos aquosos de capim-annoni. De forma semelhante, Muraishi *et al.* (2005) observaram redução no crescimento e produtividade na soja em solos contendo resíduos culturais de sorgo.

Em relação as massas frescas e seca da parte aérea de plântulas, houve variação estatística (Tabela 2). A massa fresca da parte aérea foi a que apresentou maior efeito alelopático com extratos de canola, azevém e nabo, para ambas as culturas, soja e milho.

Tabela 2 - Massas frescas e seca total de plântulas normais e anormais de soja e milho em função da aplicação de extratos aquosos de sorgo, canola, azevém e nabo forrageiro.

Culturas	Extratos	Plântulas normais (g)		Plântulas anormais (g)	
		Massa fresca	Massa seca	Massa fresca	Massa seca
Soja	Testemunha	22,68 a	3,00 a*	1,53 b	0,51 b
	Sorgo	21,03 a	2,81 a	3,06 ab	0,83 a
	Canola	12,71 b	2,29 b	3,94 a	0,91 a
	Azevém	13,26 b	2,73 ab	3,76 a	1,09 a
	Nabo forrageiro	14,29 b	2,69 a	2,69 a	0,42 b
	CV (%)	5,7	8,9	5,7	12,4
Milho	Testemunha	9,27 a	1,87 a	1,20 b	0,11 c
	Sorgo	8,34 ab	1,80 a	1,79 ab	0,70 a
	Canola	5,29 b	1,71 a	1,50 b	0,30 ab
	Azevém	6,51 b	1,72 a	2,19 a	0,23 bc
	Nabo forrageiro	5,86 b	1,69 a	1,99 a	0,42 b
	CV (%)	14,4	10,2	7,6	4,9

*Letras minúsculas comparando os tratamentos em cada coluna e culturas.

Letras iguais não diferem estatisticamente (Tukey, $p < 0,05$).

Fonte: Autores (2025).

Na cultura do milho, os extratos de nabo, azevém e canola destacaram-se como os principais responsáveis pela redução na massa fresca das plântulas, porém sem diferença na massa seca. Esses extratos, em particular, apresentaram uma ação mais pronunciada, possivelmente devido à liberação de compostos alelopáticos em concentrações que impactaram negativamente o crescimento celular e a expansão dos tecidos, reduzindo significativamente o acúmulo de biomassa. Estudos como o de Pohlmann *et al.* (2021) demonstraram que extratos de plantas como azevém podem influenciar negativamente a germinação e o desenvolvimento inicial de plantas devido à presença de compostos aleloquímicos específicos.

Para a soja, os extratos de canola e nabo apresentaram os maiores impactos negativos, especialmente para a massa seca das plântulas. Compostos como os glucosinolatos presentes na canola e seus metabólitos, incluindo os isotiocianatos, têm sido amplamente associados a efeitos tóxicos em processos fisiológicos essenciais, como divisão celular e transporte de nutrientes (RATHKE; FILHO, 2020). No caso do nabo, os efeitos podem ser atribuídos a compostos secundários, como fenóis e ácidos orgânicos, que comprometem a respiração celular e a síntese de proteínas, resultando em plantas com menor vigor. Os efeitos observados confirmam a sensibilidade diferencial das culturas aos compostos alelopáticos. O milho apresentou maior tolerância em relação aos resíduos de nabo, enquanto a soja se mostrou mais suscetível. Essa diferença pode estar relacionada à composição química das sementes, tipo de tegumento e ao metabolismo inicial de cada cultura, aspectos que afetam sua capacidade de absorção, metabolismo ou resistência aos aleloquímicos presentes.

Os resultados indicam que os extratos aquosos de canola, azevém e nabo exerceram efeitos alelopáticos significativos sobre as massas frescas e seca da parte aérea de plântulas de soja e milho. Esses efeitos são atribuídos à presença de compostos aleloquímicos, como glucosinolatos e fenóis, que possuem atividade biocida comprovada. Estudos anteriores, como o de Pohlmann *et al.* (2021), corroboram a influência de compostos alelopáticos na inibição do crescimento de plântulas e na redução da germinação, destacando a importância do manejo criterioso desses resíduos no contexto agrícola.

A intensidade dos efeitos alelopáticos varia conforme a espécie vegetal e as condições ambientais, influenciando diretamente a dinâmica das comunidades vegetais em agroecossistemas. Práticas de manejo, como a definição adequada do intervalo entre a dessecação das plantas de cobertura e a semeadura das culturas comerciais, podem reduzir os efeitos negativos, promovendo um ambiente mais favorável ao desenvolvimento das plantas. Esses achados reforçam a relevância de estratégias sustentáveis na agricultura, como o uso planejado de resíduos culturais e a busca por alternativas naturais aos herbicidas sintéticos. A utilização de extratos vegetais com propriedades alelopáticas controladas pode contribuir para uma agricultura mais sustentável e integrada, atendendo às demandas por sistemas de produção que minimizem os impactos ambientais e promovam a saúde do solo e das culturas.

Os resultados obtidos para a variável massa seca da parte aérea de plântulas normais evidenciam que, para a cultura da soja, os extratos de canola e azevém tiveram os maiores efeitos alelopáticos,

reduzindo significativamente a massa seca em comparação aos demais tratamentos. Estudos como o de Rathke e Filho (2020) destacam que os glucosinolatos presentes na canola são metabolizados em compostos tóxicos, como os isotiocianatos, que interferem em processos fisiológicos essenciais, incluindo a divisão celular e o transporte de nutrientes. Além disso, o azevém é conhecido por liberar compostos alelopáticos gradualmente durante sua decomposição, causando efeitos cumulativos no desenvolvimento das plantas vizinhas (POHLMANN *et al.*, 2021). Em contraste, para a cultura do milho, os tipos de extratos utilizados não apresentaram diferenças significativas na massa seca da parte aérea das plântulas normais, o que pode ser atribuído à maior tolerância do milho aos compostos alelopáticos devido às características químicas e metabólicas da espécie.

Nas plântulas anormais, os resultados indicaram que o extrato de canola foi o que causou a menor massa seca no milho, enquanto, para a soja, o de nabo apresentou os maiores efeitos inibitórios. Essa diferença pode estar relacionada à presença de compostos secundários, como ácidos orgânicos e fenóis, que são reconhecidos por interferirem em processos como a respiração celular e a síntese de proteínas (POHLMANN *et al.*, 2021). Esses compostos têm efeito mais pronunciado em plântulas com desenvolvimento comprometido, evidenciando a vulnerabilidade dessas plantas a estresses químicos.

Em relação ao comprimento das duas estruturas vegetativas (raiz e parte aérea) das plântulas, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para ambas as culturas (Tabela 3).

Tabela 3 - Comprimento de plântulas, parte aérea e raízes de soja e milho em função da aplicação de extratos aquosos de sorgo, canola, azevém e nabo forrageiro.

Culturas	Extratos	Parte aérea (cm)	Raízes (cm)
Soja	Testemunha	12,01 a*	5,42 a
	Sorgo	7,95 b	2,97 b
	Canola	5,31 c	1,34 c
	Azevém	8,37 ab	4,40 a
	Nabo forrageiro	4,12 c	2,01 b
	CV (%)	11,3	21,2
Milho	Testemunha	9,46 a	4,12 a
	Sorgo	8,87 a	3,78 a
	Canola	4,85 b	2,17 b
	Azevém	5,85 ab	1,98 b
	Nabo forrageiro	8,78 a	4,01 a
	CV (%)	7,8	9,4

*Letras minúsculas comparando os tratamentos em cada coluna e culturas.

Letras iguais não diferem estatisticamente (Tukey, $p < 0,05$).

Fonte: Autores (2025).

Para a soja tratada com os extratos aquosos de canola e nabo apresentaram as maiores reduções no comprimento médio de plântulas (4,72 cm), 255% inferior à testemunha, somente com água. Já para o milho, com extrato de canola apresentou um dos menores comprimento da parte aérea (4,85 cm). Para o comprimento de raízes, foi observado comportamento similar ao observado com a parte aérea, sendo os extratos de canola e azevém que apresentaram as maiores reduções, para as

plântulas de soja e milho. Esses resultados sugerem que, em determinadas condições, os compostos alelopáticos podem não apenas inibir, mas também favorecer o alongamento celular em concentrações mais baixas, o que é consistente com as observações de Rathke; Filho (2020).

A condutividade elétrica das sementes não variou para os tipos de extrato aquoso e dentro de cada tempo de exposição das sementes (Tabela 4).

Tabela 4 - Condutividade elétrica das sementes de soja e milho em função de extratos aquosos de sorgo, canola, azevém e nabo forrageiro.

Culturas	Extratos	Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}\text{g}^{-1}$)		
		24 horas	48 horas	96 horas
Soja	Testemunha	45,6 c ns	55,6 b ns	63,7 a ns
	Sorgo	44,5 c	52,9 b	74,5 a
	Canola	42,8 c	54,5 b	75,2 a
	Azevém	46,7 c	57,1 b	66,1 a
	Nabo forrageiro	43,9 c	55,5 b	65,0 a
Milho	Testemunha	44,7 c	58,2 b	72,9 a
	Sorgo	41,2 c	56,3 b	71,3 a
	Canola	46,9 c	57,9 b	80,6 a
	Azevém	40,3 c	51,6 b	64,8 a
	Nabo forrageiro	43,8 c	52,4 b	73,2 a

ns = Não significativo, comparado os tratamentos em cada coluna. Letras minúsculas iguais em cada linha não diferem estatisticamente entre os tempos de exposição das sementes (Tukey, $p < 0,05$).

Fonte: Autores (2025).

Verificou-se que, quando comparados os tempos de exposição, foram observadas diferenças, maior tempo de exposição, também maior condutividade elétrica, evidenciando que o tempo de contato entre os extratos e as sementes desempenha um papel relevante na dinâmica de liberação e absorção dos compostos alelopáticos. Estudos como o de Rathke; Filho (2020) sugerem que essa variação temporal pode estar associada à degradação dos compostos bioativos presentes nos extratos, alterando sua ação alelopática ao longo do tempo.

Nossos resultados mostram a complexidade das interações entre resíduos culturais e culturas comerciais. Enquanto o sorgo, canola e nabo são amplamente utilizados na agricultura devido aos seus benefícios econômicos, na supressão de plantas daninhas e melhoria da qualidade do solo, o manejo inadequado de seus resíduos pode comprometer a produtividade das culturas subsequentes. A soja, por exemplo, mostrou-se particularmente sensível aos compostos liberados por resíduos de canola e nabo, enquanto o milho apresentou maior resiliência, exceto em condições de maior vulnerabilidade, como observado nas plântulas anormais tratadas com extratos de canola.

Embora milho e soja apresentem respostas distintas aos compostos alelopáticos, existe a necessidade de estratégias de manejo para mitigar possíveis efeitos adversos de resíduos culturais nessas culturas em sucessão. A definição de intervalos entre a dessecação das plantas ou a colheita e a semeadura das culturas comerciais emerge como uma prática fundamental para reduzir o impacto

dos resíduos culturais sobre o desenvolvimento inicial das plantas. Portanto, o manejo criterioso dos resíduos culturais, incluindo a definição de intervalos adequados entre a colheita e/ou dessecação e o plantio, bem como a consideração dos volumes de biomassa incorporados ao solo, é fundamental para mitigar os impactos negativos dos compostos alelopáticos. Adicionalmente, estudos complementares, como por exemplo, de Pohlmann *et al.* (2021), Rathke; Filho, (2020) que investigaram a dinâmica temporal e a degradação dos compostos bioativos podem contribuir para estratégias mais eficazes no manejo sustentável de agroecossistemas.

CONCLUSÕES

Os extratos aquosos alelopáticos de sorgo, canola, azevém e nabo forrageiro interferem na germinação das sementes, comprimento de plântulas, massas frescas e seca de soja e milho. No entanto, são dependentes da espécie e do tipo de resíduo vegetal utilizado como extrato.

Na cultura da soja, o extrato de nabo forrageiro apresenta os efeitos mais acentuados, impactando negativamente a germinação de sementes, o comprimento da raiz e da parte aérea e, a massa total das plântulas.

Na cultura do milho, os extratos de azevém e nabo forrageiro apresentam maior potencial para reduzir germinação das sementes, o crescimento das plântulas, particularmente no desenvolvimento radicular e na massa seca.

No entanto, sugerimos a ampliação dos estudos, porém em condições de campo, situação que melhor reflete as reais condições edafoclimáticas, além de contemplar outros extratos aquosos e culturas de interesse agrícola.

REFERÊNCIAS

BALBINOT JÚNIOR.; A. A.; MORAES, A.; BACKES, R.L. Efeito de coberturas de inverno e sua época de manejo sobre a infestação de plantas daninhas na cultura de milho. **Planta daninha**, v. 25, n. 3, p. 473-480, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

BRUXEL, F. *et al.* Phytotoxicity of *Hesperozygis ringens* (Benth.) epling essential oil on *Eragrostis plana* Nees. **Flora**, v. 297, p. 152167, 2022.

DA SILVA, J. A. G *et al.* Alelopatia da canola sobre o desenvolvimento e produtividade da soja. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 17, n. 4, p. 428-437, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: Um sistema de análise estatísticas computacional. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FRITZ, D. *et al.* Germination and growth inhibitory effects of *Hypericum myrianthum* and *H. polyanthemum* extracts on *Lactuca sativa* L. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 17, n. 1, p. 44-48, 2007.

MURAISHI, T. C. *et al.* Manejo de espécies vegetais de cobertura de solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum**, v. 27, n. 2, p. 199-206, 2005.

NEVES, R. **Potencial alelopático da cultura da canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) na supressão de picão-preto (*Bidens* sp.) e soja.** 2005. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo.

NÓBREGA, L. H. P. *et al.* Germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja (*Glycine max* L. Merrill) sob cobertura vegetal. **Acta Scientiarum**, v. 31, n. 3, p. 461-465, 2009.

OLIVEIRA, J. *et al.* Avaliação de extratos das espécies *Helianthus annuus*, *Brachiaria brizanthae* e *Sorghum bicolor* com potencial alelopático para uso como herbicida natural. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 17, n. 3, p. 379-384, 2015.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. *et al.* Grass straw mulching to suppress emergence and early growth of weeds. **Planta Daninha**, v. 32, n. 1, p. 11-17, 2014.

OLIBONE, D. *et al.* Crescimento inicial da soja sob efeito de resíduos de sorgo. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 255-261, 2006.

POHLMANN, V. *et al.* Influência alelopática de carqueja e leiteiro na germinação e crescimento inicial de aveia preta e azevém. **Revista Cultivando o Saber**, v. 14, n. 1, p. 12-22, 2021.

QASEM, J. R. Allelopathic potential of white top and syrian sage on segetable crops. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 1, p. 64-71, 2001.

QUATRIN, M. *et al.* Allelopathic activity of *Eragrostis plana* Nees on the germination of persian clover, rice and white oats. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, v. 26, n. 1, p. 65-78, 2025.

RABÊLO, G. O. *et al.* Potencial alelopático de *Bidens pilosa* L. na germinação e no desenvolvimento de espécies cultivadas. **Revista Científica da Faminas**, v. 4, n. 1, p.33-43, 2008.

RATHKE, B.; FILHO, B. D. O. Impacto da utilização de bioherbicida na germinação de plantas cultivadas. **Revista Cultivando o Saber**, v. 13, n. 3, p. 1-13, 2020.

SANTOS, I. L. V. L. *et al.* Sorgoleone: Benzoquinona lipídica de sorgo com efeitos alelopáticos na agricultura como herbicida. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, p. 135-144, 2012.

SOUZA, J. R. P.; VIDAL, L. H. I.; VIANI, R. A. G. Ação de extratos aquoso e etanólico de espécies vegetais na germinação de sementes de *Brachiaria decumbens*. **Ciências Agrárias**, v. 23, n. 2, p. 197-202, 2002.