

BIORREMEDIAÇÃO DE SOLO AGRÍCOLA POLUÍDO COM HERBICIDAS DE LONGA PERSISTÊNCIA

**EDUARDA BATISTELLI GIACOMOLLI^{1,2*}, DOUGLAS ALESSANDRO
HABOSKI^{1,2}, OTÁVIO AUGUSTO DASSOLER^{1,2}, LUCAS TEDESCO^{1,2}, AMANDA
BERNARDI REMPEL^{1,2}, TAILANA IAGER^{2,3}, LEANDRO GALON^{2,4*}**

1 Introdução

O controle de plantas daninhas na agricultura atualmente é realizado principalmente através do método químico, por ser eficiente, prático e apresentar menor custo ao se comparar com outras formas de manejo (BARROSO et al., 2023). No entanto, o uso indiscriminado e incorreto dos herbicidas tem ocasionado graves problemas ambientais, bem como para os seres humanos. Esses produtos podem apresentar elevada persistência no solo e ocasionar vários efeitos, dentre eles destaca-se o *carryover* que prejudica as culturas semeadas em sucessão as aplicações (BARROSO et al., 2023).

A utilização de plantas de cobertura para a biorremediação de solos contaminados vem ganhando destaque como uma tecnologia sustentável, visto que é um método de despoluição eficaz e de baixo custo. Para avaliar a eficácia dessas plantas na remoção do herbicida no solo pode-se usar uma planta bioindicadora de resíduo, que seja sensível aos produtos aplicados e de crescimento rápido (SILVA et al. 2021).

2 Objetivos

Avaliar o potencial biorremediador das espécies vegetais utilizadas como pastagens, cobertura do solo ou para a produção de grãos após aplicação de diuron, sulfentrazone e diuron+sulfentrazone.

3 Metodologia

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sendo as unidades experimentais constituídas por vasos plásticos com capacidade para 8 dm³, preenchidos com solo de lavoura livre de qualquer contaminante. O solo foi previamente corrigido e adubado de acordo com as

¹ Acadêmica do curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Erechim, contato: eduarda.giacomolli@estudante.uffs.edu.br

² Grupo de Pesquisa: Manejo Sustentável dos Sistemas Agrícolas (MASSA).

³ Discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Erechim.

⁴ Professor Doutor, Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Erechim, *Orientador.

recomendações técnicas para cada cultura (SBCS, 2016). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial $3 \times 3 \times 8+1$, com quatro repetições. No fator A alocou-se os herbicidas, diuron, sulfentrazone e diuron+sulfentrazone aplicados em pré-emergência das espécies com potencial biorremediador. No fator B distribuiu-se as doses dos herbicidas: diuron (0, 490 e 980 g i.a ha⁻¹), sulfentrazone (0, 245 e 490 g i.a ha⁻¹), e diuron + sulfentrazone (0, 490+245 e 980+490 g i.a ha⁻¹). E no fator C foram dispostas as espécies com potencial biorremediador: aveia preta (*Avena strigosa*), ervilhaca (*Vicia sativa*), centeio (*Secale cereale*), nabo (*Raphanus sativus*), trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*), azevém (*Lolium multiflorum*), tremoço (*Lupinus albus*) e a mistura dessas (Mix). Adicionalmente aos tratamentos foi alocada uma testemunha sem cultivo de plantas de cobertura.

A semeadura de dez sementes das espécies com potencial biorremediador foi realizada um dia antes da aplicação dos herbicidas e, após a germinação, foram mantidas duas plantas por vaso. Aos 45 dias após a emergência (DAE) das espécies biorremediadoras, essas foram seccionadas rente ao solo para determinação da massa seca da parte aérea (MS – g vaso⁻¹). As plantas foram acondicionadas em sacos de papel *kraft* e postas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 60±5°C.

Para segunda etapa do experimento realizou-se a coleta do solo o qual foi cultivado as espécies com potencial biorremediador, peneirado e alocado em vasos plásticos com capacidade volumétrica de 5 dm³. Efetuou-se a adubação desse solo de acordo com a análise físico-química e semeou-se como espécie bioindicadora da despoluição do solo, a cultura do pepino (*Cucumis sativus* L.). Esse experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados, semeando-se 12 sementes de pepino por vaso, sendo que após a emergência das plântulas foi efetuado o desbaste, deixando-se 5 plantas por vaso.

Aos 26 DAE foram avaliadas a AF (cm² vaso⁻²) e MS (g vaso⁻²) da planta bioindicadora. Para a aferição da AF utilizou-se um medidor eletrônico de área foliar (LICOR-3100) e na sequência as plantas foram acondicionadas em sacos de papel *kraft* e postas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de 60±5°C, para realizar a determinação da MS. Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, em havendo significância as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4 Resultados e Discussão

Observou-se os maiores acúmulos de massa seca da parte aérea da ervilhaca ao se

aplicar as três doses de diuron e de diuron + sulfentrazone (Tabela 1). De maneira geral ao se comparar as doses de cada herbicida entre si (diuron, sulfentrazone e diuron+sulfentrazone), os resultados demonstram que as testemunhas apresentaram melhor desempenho quanto a MS para todas as espécies avaliadas. SOUTO et al., (2020) observaram que a ervilhaca quando usada como cobertura biorremediadora conseguiu degradar em média 94% dos herbicidas do grupo das imidazolinonas (imazethapyr, imazapic e imazapyr).

Tabela 1. Massa seca da parte aérea das espécies com potencial fitorremediador cultivada por 45 dias, submetidas à aplicação de doses de diuron (0,0; 1x - 490 e 2x - 980 g ha⁻¹), sulfentrazone (0,0; 1x - 245; 2x - 490 g ha⁻¹) e diuron + sulfentrazone (0,0; 1x - 490+245; 2x - 980+490 g ha⁻¹) aplicados em pré-emergência.

Coberturas	Herbicidas								
	Diuron			sulfentrazone			diuron + sulfentrazone		
	0	1x	2x	0	1x	2x	0	1x	2x
	Massa seca (g vaso ⁻¹)								
Aveia preta	4,0 b A	1,1 a B	1,0 a B	3,8 b A	2,3 a AB	0,5 a B	6,3 a A	1,5 a B	1,8 a B
Ervilhaca	1,6 c A	0,0 b A	0,0 b A	12,6 a A	2,5 a B	4,5 a B	5,4 b A	3,8 a A	4,8 a A
Centeio	3,0 b A	1,6 c AB	0,0 b B	11,1 a A	12,2 a A	2,4 a B	10,6 a A	3,8 b B	2,7 a B
Nabo	16,4 c A	17,1 c A	0,0 b B	41,0 a B	46,2 a A	9,9 a C	31,4 b A	28,3 b B	1,0 b C
Mourisco	9,7 c A	2,8 a B	0,7 a C	29,2 a A	0,0 b B	0,0 a B	25,3 b A	0,5 b B	0,0 a B
Azevém	5,5 a A	2,7 a B	0,6 a C	4,6 a A	2,9 a AB	1,3 a B	6,3 a A	1,5 a B	2,4 a B
Mix	26,9 b A	13,6 b C	20,3 a B	37,1 a A	21,1 a B	7,4 b C	18,4 c A	8,3 c B	6,6 b B
Tremoço	2,6 a A	3,0 a A	0,0 b B	2,8 a C	3,8 a B	6,2 a A	3,0 a A	2,3 a A	0,0 b B
Média Geral	7,95								
C.V. (%)	15,43								

Média seguida por letra maiúscula na linha compara as doses para cada herbicida e cobertura; média seguida de letra minúscula compara as coberturas entre si na coluna para cada dose de herbicida. Todas as comparações foram efetuadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

Ao se comparar os herbicidas entre si, observou-se, em geral que a aplicação de 245 g ha⁻¹ (1x) de sulfentrazone demonstrou a maior produção de MS de todas as espécies, exceto para o trigo mourisco que o diuron apresentou maior desempenho nessa dose (Tabela 1). A aplicação de duas vezes a dose de diuron (2x - 490 g ha⁻¹), sulfentrazone (2x - 245 g ha⁻¹) e diuron+sulfentrazone (2x - 490+490 g ha⁻¹) nas espécies, aveia preta, trigo mourisco e azevém foram as que tiveram o maior acúmulo de MS.

O uso do trigo mourisco, do mix de cobertura e do nabo como espécies fitorremediadoras ocasionaram os maiores índices de área foliar (AF) das plantas de pepino ao se aplicar diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone, respectivamente, na dose e no dobro das doses (Tabela 2). Ocorreu maior AF do pepino ao se usar como plantas de cobertura o mix de espécies e se comparar os herbicidas entre si (diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone), nas três doses aplicadas dos produtos (Tabela 2).

Em geral o uso de aveia e de ervilhaca demonstram as maiores AF (Tabela 2) do pepino ao se comparar as três doses (0x, 1x e 2x) dentro de cada herbicida (diuron, sulfentrazone e diuron+sulfentrazone). Como já observado anteriormente a ervilhaca possui grande potencial de biorremediar solos contaminados com herbicidas aumentando a capacidade da produção de

AF e da MS das culturas subsequentes, como observado para pepino. ALVES et al., (2019) observaram que a aveia preta possui grande potencial para biorremediar solo contaminado com sulfentrazone.

Tabela 2. Área foliar das plantas de pepino cultivadas por 26 dias em sucessão as espécies com potencial fitorremediador após aplicação de doses de diuron (0.0; 1x - 490 e 2x - 980 g ha⁻¹), sulfentrazone (0.0; 1x - 245; 2x - 490 g ha⁻¹) e diuron + sulfentrazone (0.0; 1x - 490+245; 2x - 980+490 g ha⁻¹) aplicados em pré-emergência.

Cobertura	Herbicidas								
	diuron			sulfentrazone			diuron + sulfentrazone		
	0	1x	2x	0	1x	2x	0	1x	2x
	Área foliar (cm ² vaso ⁻¹)								
Aveia preta	e916,2aA	b1.148,64cdA	a966,6cdA	b1.615,4aA	a1.726,5bA	b684,8cdB	a2.788,9aA	b1.232,5deB	ab834,8abC
Ervilhaca	e916,2aB	b1.338,6bcdA	a1.313,7bcA	b1.615,4aA	a1.813,4bA	ab1.061,1bB	a2.788,9aA	b1.136,2eB	b820,5abcC
Centeio	e916,2aC	b1.475,9bcA	a1.204,5cdB	b1.615,4aA	a1.850,2bA	b774,0bcdB	a2.788,9aA	b1.502,8cdB	b691,7abcdC
Nabo	e916,2aC	b1.334,0bcdB	a1.819,6aA	b1.615,4aA	c888,3cB	c476,8dC	a2.788,9aA	a1.933,5bB	b906,0aC
Mourisco	e916,2aC	a2.205,8aA	a1.699,0aB	b1.615,4aA	c1.202,4cB	b779,6bcdC	a2.788,9aA	b1.597,0cbB	c505,1bcdC
Azevém	e916,2aB	b1.464,0bcA	ab897,4dB	b1.615,4aB	a1.808,9bA	a1.006,1bcC	a2.788,9aA	b1.363,8cdeB	b673,6abcdC
Mix	e916,2aB	b1.109,2dB	a1.593,6abA	b1.615,4aB	a2.374,0aA	a1.541,6aB	a2.788,9aA	a2.330,2aB	b442,6dC
Tremoço	e916,2aAB	c739,6eB	b1.005,1cdA	b1.615,4aB	a1.925,4bA	a1.617,1aB	a2.788,9aA	b1.081,2eB	c0,0eC
Sem cultivo	e916,2aB	b1.560,4bA	a864,6dB	b1.615,4aB	a2.319,5aA	a1.035,1bcC	a2.788,9aA	b1.425,6cdeB	b481,7cdC
Média	1.426,42								
C.V. (%)	11,11								

Letra antecedendo a média compara os herbicidas entre si para cada cobertura e dose; média seguida por letra maiúscula na linha compara as doses para cada herbicida dentro de cada cobertura; média seguida de letra minúscula compara as coberturas entre si na coluna para cada dose dentro de cada herbicida. Todas as comparações foram efetuadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

Ao se comparar as coberturas entre si, observou-se que o mix de espécies de cobertura proporcionou os maiores acúmulos de MS do pepino, ao se aplicar as três doses (0, 1x e 2x) de diuron, sulfentrazone e diuron+sulfentrazone (Tabela 3). Os resultados demonstram levando-se em conta os herbicidas que o cultivo do azevém demonstrou o melhor desempenho para MS do pepino (Tabela 3).

Tabela 3. Massa seca da parte aérea das plantas de pepino cultivadas por 26 dias em sucessão as espécies com potencial fitorremediador após aplicação de doses de diuron (0.0; 1x - 490 e 2x - 980 g ha⁻¹), sulfentrazone (0.0; 1x - 245; 2x - 490 g ha⁻¹) e diuron + sulfentrazone (0.0; 1x - 490+245; 2x - 980+490 g ha⁻¹) aplicados em pré-emergência.

Cobertura	Herbicidas								
	diuron			sulfentrazone			diuron + sulfentrazone		
	0	1x	2x	0	1x	2x	0	1x	2x
	Massa seca (g vaso ⁻¹)								
Aveia preta	b 0,6 a A	b 1,3 cd A	a 1,0 c A	a 4,3 a A	a 3,8 ab A	a 0,5 a A	a 4,7 a A	b 2,0 cd B	a 0,3 a C
Ervilhaca	b 0,6 a B	b 1,8 bcd A	a 1,7 abc A	a 4,3 a A	a 2,9 bcd B	ab 1,0 a C	a 4,7 a A	ab 2,1 bcd B	b 0,2 a C
Centeio	b 0,6 a B	a 2,7 ab A	a 1,4 bc B	a 4,3 a A	a 2,7 bcde B	b 0,3 a C	a 4,7 a A	b 0,9 d B	b 0,3 a B
Nabo	b 0,6 a B	a 3,4 a A	a 2,7 a A	a 4,3 a A	b 1,8 cde B	b 0,5 a C	a 4,7 a A	a 3,4 ab B	b 0,6 a C
Mourisco	b 0,6 a B	ab 2,5 abc A	a 1,7 abc A	a 4,3 a A	b 1,6 e B	b 0,5 a C	a 4,7 a A	a 2,6 bc B	b 0,2 a C
Azevém	b 0,6 a A	a 1,4 cd A	a 0,6 c A	a 4,3 a A	a 1,7 de B	a 0,3 a C	a 4,7 a A	a 1,7 cd B	a 0,4 a C
Mix	b 0,6 a B	b 1,9 bcd A	a 2,5 ab A	a 4,3 a A	a 4,4 a A	b 0,9 a B	a 4,7 a A	a 4,1 a A	b 0,3 a B
Tremoço	b 0,6 a A	b 1,1 d A	a 1,3 bc A	a 4,3 a A	a 3,8 ab A	ab 0,5 a B	a 4,7 a A	b 1,5 cd B	b 0,0 a C
Sem cultivo	b 0,6 a B	a 3,6 a A	a 2,7 a A	a 4,3 a A	ab 3,0 bc B	b 0,6 a C	a 4,7 a A	b 2,2 bc B	b 0,2 a C
Média	2,17								
C.V. (%)	26,10								

Letra antecedendo a média compara os herbicidas entre si para cada cobertura e dose; média seguida por letra maiúscula na linha compara as doses para cada herbicida dentro de cada cobertura; média seguida de letra minúscula compara as coberturas entre si na coluna para cada dose dentro de cada herbicida. Todas as comparações foram efetuadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

Ao se comparar as doses entre si, dentro de cada cobertura observou-se que a aplicação de diuron em 1x e 2x proporcionou maior acúmulo de MS do pepino do que a ausência de

aplicação, para todas as coberturas com potencial biorremediador e até o solo sem cultivo (Tabela 3). Levando-se em conta a mesma comparação entre doses, o cultivo de aveia preta não demonstrou diferença entre as doses para o herbicida sulfentrazone. E na mistura dos herbicidas (diuron+sulfentrazone) a testemunha sem produtos (doses 0 g ha⁻¹) apresentou a maior produção de MS do pepino, em comparação as demais doses.

5 Conclusão

A aplicação de 245 g ha⁻¹ de sulfentrazone demonstra a maior produção de MS de todas as espécies com potencial biorremediador de solo, exceto para o trigo mourisco que o diuron apresenta maior desempenho ao se usar 490 g ha⁻¹. A aveia preta, trigo mourisco e azevém apresentam maior acumulo de MS ao se aplicar 980 g ha⁻¹ de diuron, 490 g ha⁻¹ de sulfentrazone e 980+490 g ha⁻¹ de diuron+sulfentrazone. O mix de espécies proporciona os maiores índices de AF e de MS das plantas de pepino ao se aplicar diuron, sulfentrazone e diuron+sulfentrazone, respectivamente, na dose (1x) e no dobro das doses (2x), demonstrando assim potencial de biorremediar o solo contaminado com esses herbicidas.

Referências Bibliográficas

ALVES, C. et al. Winter species promote phytoremediation of soil contaminated with protox-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, v. 37, e019184783, 2019.

BARROSO, G.M. et al. Phytoremediation: A green and low-cost technology to remediate herbicides in the environment. **Chemosphere**, v.334, p.138943, 2023.

SILVA, C.T. et al. Remedial capacity of diclosulam by cover plants in different edaphoclimatic conditions. **International Journal of Phytoremediation**, v.23, n.6, p.609-618, 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - SBCS. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre-RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376 p.

SOUTO, K.M. et al. Fitoestimulação de solo de várzea contaminado com herbicidas imidazolinonas. **International Journal of Phytoremediation**, v. 22, n. 7, p. 774-780, 2020.

Palavras-chave: despolição de solo; herbicidas; produção sustentável.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2024-0278

Financiamento: PROBIC/FAPERGS/UFFS