



POTENCIAL DE ESPÉCIES DE COBERTURA NA DESPOLUIÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM HERBICIDAS

Tailana Iager

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) e bolsista da CAPES

Eduarda Batistelli Giacomolli

Discente de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Otávio Augusto Dassoler

Discente de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Ândrea Machado Pereira Franco

Técnica de Laboratório da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Leandro Galon

Professor do curso de Agronomia e do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

tailana.iager@uffs.edu.br

1. Introdução

A utilização de herbicidas é uma prática comum na agricultura visando o controle das plantas daninhas. No entanto, o uso frequente e indiscriminado desses produtos químicos tem ocasionado problemas ambientais, principalmente na contaminação do solo e recursos hídricos. O residual dos herbicidas pode afetar de forma negativa culturas semeadas em sucessão, a microbiota e a fertilidade do solo, além de representar um risco para a saúde humana e aos ecossistemas (Salomão et al., 2020).

Entre os herbicidas mais utilizados nas lavouras do Brasil, encontra-se o diuron e o sulfentrazone. O diuron atua no controle de mono e dicotiledôneas, inibindo o Fotossistema II das plantas tratadas e sensíveis (Tandon et al., 2019). Ele é pouco lixiviável e apresenta elevada persistência na camada de 0 a 10 cm (Li et al., 2021). Já o sulfentrazone é um herbicida inibidor de protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), utilizado nas culturas de café, cana-de-açúcar, citrus, eucalipto, soja e em áreas não agrícolas (AGROFIT, 2025). Esse herbicida apresenta longo efeito residual no solo, inviabilizando o cultivo de plantas sensíveis em sucessão à sua aplicação (Ferraço et al., 2019).

Diante do impacto que a contaminação do solo pelos herbicidas pode ocasionar, alternativas de despoluição vem ganhando destaque, como é o caso da utilização da técnica de fitorremediação (Barroso et al., 2023), com uso de adubos verdes. Essas espécies são cultivadas a fim de cobrir o solo e melhorar as características químicas, físicas



e biológicas, além de apresentar potencial de extração de resíduos de herbicidas.

Deste modo, objetivou-se com o trabalho avaliar o potencial de adubos verdes semeados no inverno para fitorremediação do solo tratado com os herbicidas diuron, sulfentrazone e diuron + sulfentrazone.

2. Metodologia

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico (Streck et al., 2018). O delineamento utilizado foi de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial 3 x 9, com 4 repetições. O primeiro fator foi constituído pelas espécies vegetais; *Avena strigosa*, *Vicia sativa*, *Secale cereale*, *Raphanus sativus*, *Fagopyrum esculentum*, *Lolium multiflorum*, *Lupinus albus*, mix de *A. strigosa* + *V. sativa* + *S. cereale* + *R. sativus* + *L. multiflorum* e solo sem cultivo de nenhuma espécie. O segundo fator foi constituído pelos herbicidas diuron (Di) (490 g ha⁻¹), sulfentrazone (Su) (245 g ha⁻¹) e a mistura comercial composta por diuron + sulfentrazone (DS) (490 + 245 g ha⁻¹), respectivamente.

A semeadura das espécies com potencial fitorremediador foi realizada em parcela com área de 3 x 6 m, sendo a correção da fertilidade do solo efetuada conforme as recomendações técnicas para as espécies (CQFS-RS/SC, 2016). Os herbicidas foram aplicados um dia após a semeadura para todas as espécies com um pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO₂, com vazão de 150 L ha⁻¹ de calda. Aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a emergência (DAE) foram realizadas as avaliações de fitotoxicidade das espécies com potencial fitorremediador, atribuindo-se notas de zero para ausência de injúria e de 100% para morte das plantas.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias e posteriormente à análise de variância pelo teste F. Quando significativas, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott para o fator espécies e teste de Tukey para o fator herbicidas. Todos os testes foram efetuados a $p \leq 0,05$.

3. Resultados e discussão

O uso de diuron (Di) avaliado aos 7 dias após emergência (DAE) não ocasionou fitotoxicidade em nenhuma das espécies vegetais (Tabela 1). Aos 14 DAE, as menores



incidências de fitotoxicidades foram registradas em *F. esculentum*, enquanto que aos 21 DAE, ocorreram nos adubos verdes, *F. esculentum* e *L. albus*. Aos 28 e 35 DAE, não foram observadas ocorrências de fitotoxicidades causada pelo herbicida Di em nenhuma das espécies em que esse foi aplicado (Tabela 1).

Tabela 1. Fitotoxicidade (%) de *Avena strigosa* (1), *Fagopyrum esculentum* (2), *Lolium multiflorum* (3), *Lupinus albus* (4), *Raphanus sativus* (5), *Secale cereale* (6), *Vicia sativa* (7) e Mix (8), submetidas aos tratamentos com diuron (Di), sulfentrazone (Su) e diuron+sulfentrazone (DS), avaliadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a emergência (DAE).

Tratamentos	Espécies vegetais							
	Fitotoxicidade aos 7 DAE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Controle	0,0 B ^{ns}	0,0 C	0,0 C	0,0 A	0,0 C	0,0 C	0,0 A	0,0 B
Diuron	0,0 B ^{ns}	0,0 C	0,0 C	0,0 A	0,0 C	0,0 C	0,0 A	0,0 B
Sulfentrazone	13,0 Ac	38,6 Aa	15,0 Ab	0,0 Af	6,0 Be	13,6 Ac	0,0 Af	10,0 Ad
Diuron+sulfentrazone	14,2 Ab	31,4 Ba	10,7 Bc	0,0 Ae	9,3 Ac	7,7 Bd	0,0 Ae	10,0 Ac
Tratamentos	Fitotoxicidade aos 14 DAE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7	8
Controle	0,0 D ^{ns}	0,0 C	0,0 D	0,0 C	0,0 D	0,0 D	0,0 C	0,0 D
Diuron	10,0 Ca	1,7 Bc	10,0 Ca	5,7 Bb	6,0 Cb	5,0 Cb	8,7 Aa	5,8 Cb
Sulfentrazone	21,0 Bc	60,0 Aa	23,6 Ab	11,0 Ae	12,3 Be	16,0 Bd	5,0 Bf	20,8 Ac
Diuron+sulfentrazone	29,0 Ab	59,0 Aa	19,3 Bc	11,0 Ae	19,0 Ac	17,7 Ad	5,0 Bf	19,3 Bc
Tratamentos	Fitotoxicidade aos 21 DAE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7	8
Controle	0,0 C ^{ns}	0,0 B	0,0 C	0,0 C	0,0 C	0,0 D	0,0 B	0,0 C
Diuron	1,5 Cb	0,0 Bc	5,0 Ba	0,0 Cc	1,7 Cb	5,4 Ca	5,0 Aa	1,5 Cb
Sulfentrazone	21,4 Bb	58,6 Aa	19,6 Ac	8,7 Ae	10,7 Bd	18,6 Ac	0,0 Bf	18,6 Ac
Diuron+sulfentrazone	24,4 Ab	58,9 Aa	18,6 Ac	6,5 Bg	14,4 Ae	12,7 Bf	0,0 Bh	16,2 Bd
Tratamentos	Fitotoxicidade aos 28 DAE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7	8
Controle	0,0 B ^{ns}	0,0 C	0,0 B	0,0 B	0,0 C	0,0 C	0,0 A	0,0 B
Diuron	1,5 B ^{ns}	0,0 C	0,0 B	0,0 a	0,8 C	1,5 C	0,0 A	0,0 B
Sulfentrazone	18,6 Ab	48,6 Ba	18,0 Ab	4,4 Ae	9,3 Be	14,4 Ac	0,0 Af	12,3 Ad
Diuron+sulfentrazone	19,3 Ab	50,6 Aa	17,7 Ac	0,0 Be	13,0 Ad	12,3 Bd	0,0 Ae	11,3 Ad
Tratamentos	Fitotoxicidade aos 35 DAE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7	8
Controle	0,0 B ^{ns}	0,0 C	0,0 C	0,0 A	0,0 C	0,0 C	0,0 A	0,0 B
Diuron	0,0 B ^{ns}	0,0 C	0,0 C	0,0 A	0,0 C	0,0 C	0,0 A	0,0 B
Sulfentrazone	13,0 Ac	38,6 Aa	15,0 Ab	0,0 Af	6,0 Be	13,6 Ac	0,0 Af	10,0 Ad
Diuron+sulfentrazone	14,2 Ab	31,4 Ba	10,7 Bc	0,0 Ae	9,3 Ac	7,7 Bd	0,0 Ae	10,0 Ac

As doses aplicadas dos herbicidas foram; diuron 490 g ha⁻¹, sulfentrazone 245 g ha⁻¹ e diuron + sulfentrazone 490 + 245 g ha⁻¹. As médias seguidas por diferentes letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem significativamente pelos testes de Scott-Knott e Tukey, respectivamente, a p≤0,05. ^{ns} Não significativo a p≤0,05.

Os tratamentos envolvendo os herbicidas Su e DS, aos 7 DAE não foi registrada fitotoxicidade nas espécies *L. albus* e *V. sativa* (Tabela 1). Nas avaliações efetuadas aos



14, 21, 28 e 35 DAE, as espécies *L. albus* e *V. sativa* foram as menos afetadas pelos herbicidas Su e DS (Tabela 1). As espécies vegetais utilizadas neste estudo como fitorremediadoras foram tolerantes a molécula de Di, mesmo com uma leve incidência inicial de injúria (< 10%), desaparecendo por completo aos 35 DAE. Espécies de adubos verdes como *Crotalaria* sp., *L. albus*, *R. sativus* utilizadas como potenciais fitorremediadoras foram relatadas com baixa fitotoxicidade e injúrias quando expostas a molécula de Di (Teófilo et al., 2020). No presente estudo, a *F. esculentum* foi a mais tolerante ao ser exposta pelo Di.

A tolerância de espécies na presença do Su e na mistura de DS, as espécies *L. albus* e *V. sativa* foram as menos afetadas pelas moléculas (Tabela 1). Descrita como tolerante, a *V. sativa* tolera herbicida do grupo das imidazolinonas (imazethapyr, imazapic e imazapyr), chegando a degradar 94% do resíduo no solo (Souto et al., 2020). A capacidade de fitorremediação da *V. sativa* e *L. albus* da molécula de Di e DS ainda não havia sido descrita, como há relato para o sulfentrazone e fomesafen (Alves et al., 2019).

Os resultados sugerem que *V. sativa* e *L. albus* possuem a capacidade de descontaminação do solo do grupo de herbicida, inibidores de FS II (diuron) e de PROTOX (sulfentrazone). O comportamento de duas moléculas em sinergismo no solo pode gerar ações diferentes da aplicação dessas de modo individual. A *L. albus* possui capacidade de fitorremediar não só o Su, mas também a mistura DS (Tabela 1). No entanto, a fitotoxicidade pode alterar quando aplicado altas doses e diferentes moléculas dos herbicidas.

4. Considerações finais

O diuron causa menor fitotoxicidade a todas as espécies testadas como potenciais fitorremediadoras de solo. As espécies *L. albus* e *V. sativa* foram as menos afetadas pelos herbicidas Su e DS.

Referências

AGROFIT/MAPA. **Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários** - Consulta Aberta, 2025. Disponível em: www.agrofit.agricultura.gov.br/agrofit. Acesso em: 20 jun. 2025.

ALVES, C.; GALON, L.; WINTER, F. L.; BASSO, F. J. M.; HOLZ, C. M.; KAIZER, R. R.; PERIN, G. F. Winter species promote phytoremediation of soil contaminated with protox-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, v. 37, e. 019184783, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100020>



BARROSO, G. M.; SANTOS, E. A.; PIRES, F. R.; GALON, L.; CABRAL, C. M.; SANTOS, J. B. Phytoremediation: A green and low-cost technology to remediate herbicides in the environment. **Chemosphere**, v. 334, p. 138943, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138943>

CQFS-RS/SC. 2016. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11.ed. Porto Alegre. 376p.

FERRAÇO, M.; BELO, A. F.; PIRES, F. R.; BONONO, R.; FILHO, A. C. Phytoremediation of contaminated soil with sulfentrazone by different density of *Crotalaria juncea*. **Planta daninha**, v. 37, e. 019185323, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100008>

SALOMÃO, P. E. A.; FERRO, A. M. S.; RUAS, W. F. Herbicides in Brazil: a brief review. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, e. 32921990, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.1990>

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.; JACQUES, R. J. S.; ZANELLA, R.; MACHADO, S. L. O.; BALBINOT, A.; AVILA, L. A. Fitoestimulação de solo de várzea contaminado com herbicidas imidazolinonas. **International Journal of Phytoremediation**, v. 22, n. 7, p. 774-780, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1710814>

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR. p.252 ,2018.

TANDON, S.; PANT, R. Kinetics of diuron under aerobic condition and residue analysis in sugarcane under subtropical field conditions. **Environmental Technology**, v. 40, n. 1, p. 86-93, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1380709>

TEÓFILO, T. M. S.; MENDES, K. F.; FERNANDES, B. C. C.; OLIVEIRA, F. S.; SILVA, T.S.; TAKESHITA, V.; SOUZA, M. F.; TORNISIELO, V. L. SILVA, D. V. Phytoextraction of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl from the soil by green manure species. **Chemosphere**, v. 256, e. 127059, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127059>

Agradecimentos

Ao CNPq, FAPERGS, UFFS, FINEp e a CAPES (Código de Financiamento - 001) pela concessão de bolsas e de apoio financeiro para execução da pesquisa.