

LUCAS OLIVEIROS DE ANDRADE

***CARRYOVER* DA MISTURA FORMULADA DE SULFENTRAZONE + DIURON EM
OLERÍCOLAS E ESTRATÉGIAS DE BIORREMEDIAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Marcelo Rodrigues dos Reis

Coorientador: Marlon Correa Pereira

RIO PARANAÍBA - MINAS GERAIS

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba

T

A553c
2021
Andrade, Lucas Oliveiros, 1996-
Carryover da mistura formulada de sulfentrazone + diuron em olerícolas e estratégias de biorremediação. / Lucas Oliveiros Andrade. - Rio Paranaíba, MG, 2021.
52: il. (algumas color.).

Orientador: Marcelo Rodrigues dos Reis.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Pós graduação, 2021.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvcrp.2022.001>

Modo de acesso: <https://www.locus.ufv.br/>.

1. *Carryover*. 2. Biodegradação. 3. Hortaliças. 4. Herbicidas. I. Reis, Marcelo Rodrigues dos. II. Universidade Federal de Viçosa. Pós graduação. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal). III. Título.

631.4

Bibliotecário(a) responsável: Crislene Silva de Sousa 2539

LUCAS OLIVEIROS DE ANDRADE

***CARRYOVER* DA MISTURA FORMULADA DE SULFENTRAZONE + DIURON EM
OLERÍCOLAS E ESTRATÉGIAS DE BIORREMEDIAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de setembro de 2021.

Assentimento:



Lucas Oliveiros de Andrade
Autor



Marcelo Rodrigues dos Reis
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção e bênçãos, me ajudando concluir mais uma etapa de minha vida.

À minha família pelo amor, apoio, compreensão, cumplicidade, dedicação e incentivo que sempre me proporcionaram, me dando forças para chegar até aqui.

Aos meus amigos pelo companheirismo, paciência e bons momentos de alegria, especialmente o pessoal do IPACER.

Ao professor Marcelo Rodrigues dos Reis pela orientação que foi essencial durante toda a minha jornada acadêmica, me proporcionando ótimas oportunidades. Pela amizade, atenção, confiança e paciência, por compartilhar comigo sua experiência profissional.

Ao professor Marlon e ao pós-doutorando Gustavo pela ajuda, transmissão de seus conhecimentos e auxílio prestados, que muito contribuiu para a realização deste trabalho.

Ao IPACER que permitiu e contribuiu tanto em estrutura quanto insumos para a condução dos experimentos.

À Universidade Federal de Viçosa Campus de Rio Paranaíba, em especial, aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, por proporcionar crescimento profissional e pessoal, e pela oportunidade de cursar o Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho e a conclusão do mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

ANDRADE, Lucas Oliveiros, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2021. **Carryover da mistura formulada de sulfentrazone + diuron em olerícolas e estratégias de biorremediação.** Orientador: Marcelo Rodrigues dos Reis. Coorientador: Marlon Correia Pereira.

O uso de herbicidas com atividade no solo apresentado residual ao longo do tempo pode ser uma vantagem no controle de plantas daninhas. Porém, existe a possibilidade de *carryover*. Uma forma de mitigar os efeitos do *carryover* é o uso da biorremediação, que consiste na aplicação de microrganismos no solo para degradação do herbicida. A mistura comercial de sulfentrazone + diuron é um herbicida lançado recentemente para controle de plantas daninhas na soja. Esse herbicida possui atividade residual no solo e potencial de causar danos em culturas cultivadas em sucessão a soja, especialmente as olerícolas. Objetivou-se neste estudo averiguar o tempo de *carryover* da mistura sulfentrazone + diuron para diferentes olerícolas e o uso de microrganismos para descontaminação de solos com resíduos desses produtos. O primeiro estudo consistiu de seis experimentos, um diferindo do outro devido a época de aplicação do herbicida antecedendo ao plantio – 150, 120, 90, 60, 30 e 0 dias antes do plantio das olerícolas (cenoura, beterraba, tomate, batata, repolho, cebola e melancia). Cada experimento possui matriz experimental de três doses do herbicida (0, 1,4 e 2,8 L/ha) com três repetições em delineamento inteiramente casualizado. O segundo consistiu em um fatorial 2x6, sendo o fator A presença ou ausência do herbicida e o fator B seis estratégias (diferentes combinações de espécies de *Bacillus* e fungos) de biorremediação do herbicida. A beterraba foi utilizada como espécie sensível à presença da mistura de herbicidas. Quanto ao estudo sobre *carryover* a batata foi mais tolerante à mistura sulfentrazone + diuron. O tomate, repolho e cenoura tiveram sensibilidade intermediária, e a melancia, cebola e beterraba apresentou uma alta sensibilidade à mistura de herbicidas. As espécies de *Bacillus* foram mais eficientes na mitigação do *carryover* de sulfentrazone + diuron comparado ao consórcio de fungos e de fungos + *Bacillus*. A prática de biorremediação se demonstrou ser uma alternativa para mitigação dos danos causados pelo efeito residual da mistura de herbicidas no solo, porém carece de mais estudos em outras situações.

Palavras-chave: Carryover. Biodegradação. Hortaliças. Herbicida.

ABSTRACT

ANDRADE, Lucas Oliveiros, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2021. **Carryover of formulated mixture of sulfentrazone + diuron mixture in vegetable crops and bioremediation strategies.** Advisor: Marcelo Rodrigues dos Reis. Co-advisor: Marlon Correia Pereira.

The use of herbicides with activity in the soil presented residual over time can be an advantage in the control of weeds. However, there is a possibility of carryover. One way to mitigate carryover effects is the use of bioremediation, which consists of applying microorganisms to the soil to degrade the herbicide. The commercial blend of sulfentrazone + diuron is a recently launched herbicide for weed control in soybean. It has residual activity in the soil and the potential to damage crops grown in succession to soybeans, especially vegetables. The objective of this study was to investigate the carryover time of the sulfentrazone + diuron mixture for different vegetables and the use of microorganisms for soil decontamination with residues of these products. The first study consisted of six experiments, one differing from the other due to the time of herbicide application prior to planting – 150, 120, 90, 60, 30 and 0 days before planting the vegetables (carrots, beets, tomatoes, potatoes, cabbage, onions and watermelon). Each experiment has an experimental matrix of three doses of the herbicide with three replications in a completely randomized design. The second consisted of a factorial, with factor A being the presence or absence of the herbicide and factor B six strategies (different combinations of Bacillus and fungi species) for herbicide remediation. Beetroot was used as a test plant. As for the study on carryover, the potato is tolerant to the sulfentrazone + diuron mixture. Tomatoes, cabbage and carrots have intermediate sensitivity and watermelon, onions and beets are highly sensitive to the sulfentrazone + diuron mixture. Bacillus species in consortium were more efficient in mitigating carryover of sulfentrazone + diuron compared to fungi and fungi + Bacillus consortium. The practice of bioremediation has been shown to be an alternative for mitigating the damage caused by the residual of herbicides in the soil, but it needs further studies in other situations.

Keywords: Carryover. Biodegradation. Vegetables. Herbicide.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	7
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
<i>CARRYOVER</i> DA MISTURA FORMULADA DE SULFENTRAZONE + DIURON EM OLERÍCOLAS.	
RESUMO	9
INTRODUÇÃO	10
MATERIAL E MÉTODOS	12
ANÁLISE ESTATÍSTICA	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
CONSÓRCIO DE MICRORGANISMOS PARA A REMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM A MISTURA FORMULADA DE SULFENTRAZONE E DIURON	
RESUMO	42
INTRODUÇÃO	43
MATERIAL E MÉTODOS	44
ANÁLISE ESTATÍSTICA	46
RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	51

INTRODUÇÃO GERAL

As plantas daninhas estão entre as pragas que mais prejudicam a produção agrícola em termos quantitativos e qualitativos (Jabran & Chauhan, 2018). O uso de herbicidas para controle dessas plantas tem sido cada vez mais constante, principalmente, devido à escassez de mão de obra e apresentar alta eficiência com menor custo (Gianessi, 2013).

Alguns herbicidas de acordo com as características físico-químicas permanecem no solo por longos períodos, facilitando o manejo de plantas daninhas, impedindo a germinação de sementes por mais tempo, além de reduzir o número de aplicações (Procópio et al., 2009; Dan et al., 2011). Porém, após a colheita, os resíduos dos herbicidas podem permanecer no solo, afetando negativamente as culturas subsequentes, fenômeno denominado de efeito residual negativo ou *carryover* (Dan et al., 2010). Outros possíveis problemas são a morte de organismos não-alvo e a contaminação dos lençóis freáticos pela lixiviação das moléculas de herbicidas no perfil dos solos (Santos et al., 2015).

As olerícolas de sementes pequenas são extremamente sensíveis aos herbicidas com atividade residual no solo. A mistura comercial de Imazapic + imazapyr no solo na concentração de 0,75 g ha⁻¹ do produto formulado inibiu a germinação de batata, cenoura, cebola e tomate (Correia, 2016). O atrazine (0,125 g ha⁻¹) pulverizado no solo reduziu o crescimento da cultura da cenoura (Cardoso et al., 2019). No milho esse herbicida chega a ser aplicado em doses de até 2500 g ha⁻¹ do ingrediente ativo.

Para redução dos riscos de *carryover* e ou lixiviação o herbicida deve ser degradado no solo, dentre as formas de degradação, a principal é pela ação de microrganismos (Hatzios, 1998; Kraemer et al., 2009; Bundt, 2013; Dan et al., 2011). Uma maneira de intensificar esse processo é implementar técnicas de biorremediação, que consiste no uso de microrganismos para degradar compostos tóxicos presentes no solo (Cristaldi et al., 2017). Portanto é importante que haja estudos a respeito do potencial de injúrias de um herbicida aplicado em uma cultura nas espécies cultivadas em sucessão. Após o conhecimento dos riscos e potenciais de cada herbicida e a tolerância de diferentes espécies são necessários estudos sobre a eficiência de diferentes estratégias de biorremediação desses herbicidas no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bundt, A. D. C. Dissipação de imidazolinonas em solo de cultivo de arroz irrigado, Tese de doutorado, **Universidade Federal de Pelotas**, 2013.

Cardoso, E. H., Pucci, L. F., Gomes, C. A., Alves, D., de Oliveira Scatamburlo, M. C., & dos Reis, M. R. (2019). Efeito residual de atrazine na cultura da cenoura. **Anais SIMPOHERBI**, 2019.

Dan, H. A., Dan, L. G. D. M., Barroso, A. L. D. L., Procópio, S. O., Oliveira Jr, R. S., Assis, R. L., ... & Feldkircher, C. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Embrapa Soja-Artigo**, 2011.

Correia, N. Carryover do herbicida soyvance para hortaliças. **In Embrapa Hortaliças-Artigo em anais de congresso**, Curitiba. Curitiba: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2016.

Cristaldi, A., Conti, G.O., Jho, E.H., Zuccarello, P., Grasso, A., Copat, C., Ferrante, M. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. **Environmental Techonology Innovation** 8, 309–326, 2017.

Dan, H.A., Dan, L.G.M., Barroso, A.L.L., Procópio, S.O., Oliveira Jr, R.S., Silva, A.G., Lima, M.D.B., Feldkircher, C. Residual activity of herbicides used in soybean on grain sorghum crop succession. **Planta Daninha** 28, 1087–1095, 2010.

Jabran, K., & Chauhan, B. S. Overview and significance of non-chemical weed control. **In Non-Chemical Weed Control** (pp. 1-8). Academic Press, 2018.

Kraemer, A. F., Marchesan, E., Avila, L. A., Machado, S. L. O., & Grohs, M. Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas: revisão. **Planta daninha**, 27(3), 629-639, 2009.

Procópio, S.O., Pires, F.P., Santos, J.B., Silva, A.A. Phytoremediation of soils with herbicide residues. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, Brasília, DF – Brasil. 2009.

Santos, E.A., Correia, N.M., Silva, J.R.M., Velini, E.D., Passos, A.B.R.J., Durigan, J.C. Herbicide detection in groundwater in Córrego Rico-SP watershed. **Planta Daninha** 33, 147–155, 2015.

Gianessi, L. P. The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. **Pest management science**, 69(10), 1099-1105, 2013.

Hatzios, K. K. Supplement to Herbicide Handbook. 7th ed. Lawrence, KS: **Weed Science Society of America**. pp. 67–69, 1998.

1. CAPÍTULO I - *CARRYOVER* DA MISTURA FORMULADA DE SULFENTRAZONE + DIURON EM OLERÍCOLAS.

RESUMO

O manejo de plantas daninhas com o uso de herbicidas é a prática mais adotada atualmente. Herbicidas com efeito residual no solo são ótimas alternativas que mantêm a cultura livre de interferência durante o período crítico de prevenção à interferência. No entanto, o uso desses herbicidas pode causar o *carryover*. Esse fenômeno consiste em injúrias e redução de produtividade de culturas implantadas em rotação ou sucessão a cultivos que foram empregados herbicidas com efeito residual. Em parte do Cerrado brasileiro é comum após o cultivo da soja o plantio de olerícolas. No entanto, essas geralmente são extremamente sensíveis aos herbicidas empregados na soja. A mistura comercial sulfentrazone + diuron foi registrada em 2018 para uso na cultura da soja. O objetivo neste estudo foi avaliar o potencial de *carryover* da mistura sulfentrazone + diuron nas culturas de batata, tomate, repolho, cenoura, cebola, beterraba e melancia. Para isso, foram conduzidos seis experimentos independentes no campo para cada cultura de igual matriz experimental em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, com exceção da melancia que foi conduzida em casa de vegetação (devido o seu hábito de crescimento). Cada experimento correspondeu a um intervalo de aplicação (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias antes do plantio). Cada experimento foi testado três doses da mistura sulfentrazone (0, 245 e 490 g ha⁻¹) + diuron (0, 490 e 980 g ha⁻¹). Isso corresponde a 0; 1,4; 2,8 L ha⁻¹ do produto formulado. Para mensurar os efeitos dos herbicidas nas culturas avaliaram-se injúria nas plantas, altura, estande de plantas, produtividade, classificação comercial e deformações nos órgãos comerciais. A batata foi mais tolerante à mistura sulfentrazone + diuron. O tomate demonstrou injúrias à mistura dos herbicidas até os 30 dias, e o repolho e a cenoura até os 60 dias. As culturas da cebola, beterraba e melancia demonstraram maior sensibilidade, portanto não é indicado o plantio dessas culturas após aplicação de sulfentrazone + diuron.

1.1 INTRODUÇÃO

A seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes ao glyphosate pelo uso excessivo deste produto tem levado à busca de alternativas como o uso de herbicidas com atividade

residual no solo (Christoffoleti et al., 2006). No entanto, esse efeito residual pode ser maléfico para algumas culturas que sejam cultivadas em sucessão ou rotação (Alonso et al., 2013).

O potencial de dano de residual de herbicidas às culturas sucessoras é resultado da interação de fatores intrínsecos às moléculas e outros ao ambiente de cultivo (solo, clima e cultivar). Os principais fatores ligados aos herbicidas são os coeficientes de partição octanol-água (K_{ow}) e de sorção (K_{oc}) (Santos, 2019). O K_{ow} expressa a afinidade da molécula pelas fases apolar e polar do solo. Valores menores indicam maior movimentação do herbicida no solo e conseqüentemente maior atividade, entretanto, valores maiores, indicam uma maior possibilidade de retenção na matéria orgânica do solo e maior persistência (Mancuso et al., 2011). O K_{oc} expressa a tendência da molécula herbicida de ficar retida no solo corrigido pelo teor de carbono orgânico. Valores maiores indicam maior retenção e conseqüentemente maior persistência, porém, menor atividade do herbicida na solução do solo (Silva & Silva, 2007).

As principais características referentes ao solo são o pH, textura, capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica (Long et al., 2014). Na maioria das situações quanto maior a CTC e os teores de argila e de carbono orgânico no solo, maior a sorção do herbicida (Alletto et al., 2013). Com isso pode-se aumentar a persistência, mas reduzir a atividade da molécula na solução do solo. O pH do solo influencia tanto as cargas do solo, que indiretamente influenciam a atividade do herbicida, quanto a proporção das formas ionizadas e sem carga da molécula. Herbicidas derivados de ácidos fracos, como o sulfentrazone, a depender do pKa ficam na forma desprotonada (carga negativa) em pH alto e conseqüentemente sofre maior repulsão das cargas do solo, apresentando maior atividade na solução e podendo provocar mais injúrias nas culturas (Liu et al., 2018).

Outro fator importante é o clima, especialmente a precipitação pluvial, pois pode aumentar a lixiviação do herbicida e a umidade do solo, que é favorável à degradação microbiana. Maiores temperaturas do solo aliadas à maior umidade também corroboram para maior degradação dos herbicidas no solo (Martinez et al., 2008).

Dentre vários herbicidas com potencial de *carryover*, tem-se a mistura comercial sulfentrazone + diuron lançada no ano de 2018 para controle de plantas daninhas na cultura da soja e cana-de-açúcar no Brasil. As principais características dessa mistura são amplo espectro de controle, envolvendo folhas largas e estreitas de difícil controle e alta atividade residual (FMC, 2020). O sulfentrazone possui como mecanismo de ação a inibição da enzima protoporfirinogenio oxidase, que é responsável pela reação do protoporfirinogênio a

protoporfirina IX na biossíntese da clorofila. Já o Diuron atua na proteína D1 presente no fotossistema II na fase luminosa da fotossíntese (Silva & Silva, 2007). Esses herbicidas possuem altos valores de meia-vida para dissipação, 60 a 180 e 40 a 91, respectivamente (Brum et al., 2013; Monquero et al., 2010; Rocha et al., 2013 e 2011). O que pode favorecer maior tempo de controle de plantas daninhas, entretanto, prejudicar culturas subsequentes. O sulfentrazone se comporta como um ácido fraco com o pKa de 6,56 e coeficiente de sorção (Koc) de 43 L kg⁻¹. O diuron não possui carga e possui Koc médio de 300 L kg⁻¹ (Rodrigues & Almeida, 2018; Tantarawongsa & Ketrot, 2020). Portanto, devido ao baixo Koc existe a tendência do sulfentrazone ficar pouco retido nos colóides do solo, o que potencializa seus efeitos fitotóxicos em culturas sensíveis (Silva & Silva, 2007).

A mistura sulfentrazone + diuron quando aplicado para controle de plantas daninhas na cultura da soja pode provocar um residual indesejável em hortaliças cultivadas em sucessão. Pekarek et al. (2010), observaram injúrias e redução na produtividade da batata doce e repolho um ano após aplicação de 840 g ha⁻¹ de sulfentrazone. Nas culturas de cebola, pepino, tomate, melancia e abóbora não foi observado redução na produtividade, no entanto, injúrias foram observadas. A cultura da beterraba é extremamente sensível ao sulfentrazone, sendo indicada como planta teste de resíduos de sulfentrazone no solo (Blanco & Velini, 2005). Em um solo argiloso (44 % de argila), a aplicação de 600 e 1200 g ha⁻¹ desse herbicida provocou injúrias na beterraba até 601 e 704 dias após semeadura, respectivamente (Blanco, 2002).

O diuron também possui alta persistência no solo, e sua sorção tem alta correlação com a CTC e matéria orgânica (Rocha, 2003). Entretanto, Gheno et al. (2015), não encontraram danos no milho semeado após cultivo do algodão com aplicação de 1,25 kg ha⁻¹ do diuron. Porém, é possível que olerícolas sejam mais sensíveis a este herbicida, especialmente, quando cultivadas após a soja que possui ciclo menor que o algodão. Outro fator que se deve levar em consideração é a degradação do diuron pela microbiota, que é determinante na persistência desse herbicida no solo (Inoue et al., 2006). Em olerícolas são escassos estudos de *carryover* com o diuron, entretanto, são comuns relatos de injúrias com outros herbicidas inibidores do fotossistema II. A atrazine reduziu o crescimento da cenoura e a produtividade da beterraba na dose de 2 kg ha⁻¹ quando aplicada oito meses antes da semeadura destas culturas. Nesse mesmo estudo, os autores observaram que o alho teve o desenvolvimento reduzido com a presença de metribuzin no solo na concentração a partir de 5 g ha⁻¹ 25 µg kg⁻¹ (Guimarães et al., 2017).

A importância de se conhecer o potencial de *carryover* da mistura sulfentrazone mais diuron é imprevisível. Sendo assim, este estudo foi proposto com o objetivo de mensurar o potencial de *carryover* da aplicação da mistura sulfentrazone + diuron nas culturas olerícolas cenoura, cebola, beterraba, tomate, repolho e melancia.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no campo na Estação Experimental do Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado (IPACER). O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com textura argilosa (Tabela 1). O clima da região é caracterizado como Cwa de acordo com a classificação de Köppen-Geiger. A altitude do local é próxima a 1100 m. As condições climáticas no qual o experimento foi conduzido estão descritas na Figura 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo dos experimentos. Rio Paranaíba, MG (2021).

pH	P(melh)	P(rem)	S-SO ₄	K	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O	C.O	SB	t	T	V	m
	mg/dm ³			cmolc/dm ³				g/dm ³		cmolc/dm ³		%			
5,8	33,4	15,0	32,0	86	3,7	1,1	0,0	3,31	33	19,1	5,0	5,0	8,37	60	0
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia		Silte		Argila					
	mg/dm ³		mg/dm ³		%		%								
	0,2	2,8	61	12,6	1,4	20		16		64					

M.O – Matéria orgânica; melh – melhich; rem – remanescente, C.O – Carbono orgânico; SB – Soma de bases; t – CTC efetiva; T – CTC total; V – Saturação por bases; m – saturação por alumínio.

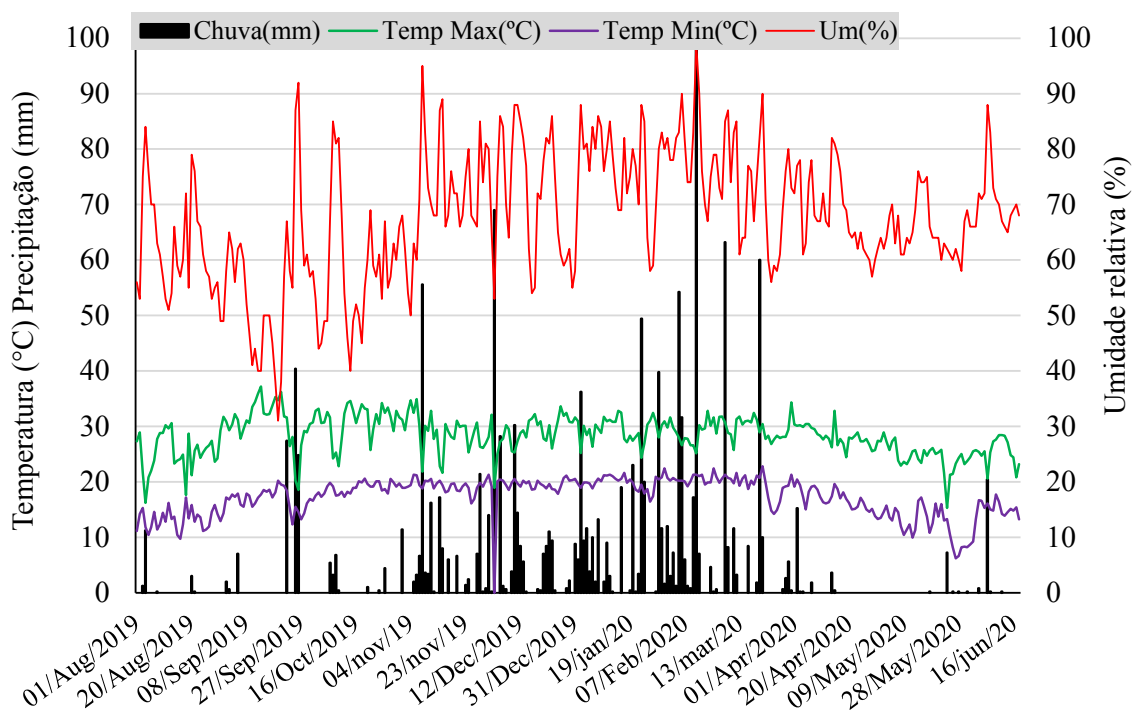


Figura 1. Condições climáticas ocorridas durante condução do experimento no ano de 2019 e 2020. Rio Paranaíba, MG (2021).

Foram realizados seis experimento para cada uma das culturas avaliadas, sendo em condições de campo para as culturas de tomate indústria, batata, repolho, cebola, cenoura e beterraba e em casa de vegetação para a cultura da melancia. A melancia foi conduzida em casa de vegetação devido ao seu hábito de crescimento e dificuldade de condução da cultura em época chuvosa. Os experimentos foram montados em delineamento inteiramente casualizados (DIC) com três repetições no campo e com quatro repetições na casa de vegetação. Os experimentos a campo, de igual matriz experimental, foram constituídos por três doses do herbicida Stone[®], mistura de sulfentrazone (175 g L⁻¹) + diuron (350 g L⁻¹) (0; 1,4 e 2,8 L ha⁻¹) com três repetições. A dose veiculada de sulfentrazone foi de 0, 245 e 490 g há⁻¹, já a dose veiculada de diuron foi de 0, 490 e 980 g ha⁻¹. Cada cultura teve seis experimentos distintos, sendo a distinção a época de aplicação do herbicida (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias antes do plantio (DAP)). A melancia, que foi conduzida em casa de vegetação, foi constituída por 13 tratamentos estruturados em um fatorial 6x2+1, sendo seis tempos de antecedência ao plantio das hortaliças avaliadas (0, 30, 60, 90, 120 e 150 DA)) combinados com duas doses da mistura de herbicida sulfentrazone + diuron (1,4 e 2,8 L ha⁻¹) mais uma testemunha sem aplicação do herbicida. A aplicação do experimento no tempo 150 DAP foi 10/08/2019, no tempo 120 DAP 10/09/2019, no tempo 90 no dia 10/10/2019, no tempo 60 no dia 10/11/2019, no tempo 30 dia 10/12/2019 e tempo 0 no dia do plantio. O plantio das culturas ocorreu 10/01/2020.

A área antes do início do experimento foi preparada convencionalmente para cultivo de hortaliças na região. Foi realizado uma aração, uma subsolagem e uma gradagem. Nas culturas da cenoura, cebola, beterraba, tomate e repolho imediatamente antes do plantio foi feito a operação de encanteiramento utilizando uma roto-encanteiradora. A batata foi realizada apenas a sulcagem para plantio. As adubações realizadas nas culturas constam na Tabela 2.

Tabela 2. Fertilização das culturas. Rio Paranaíba, MG (2021)

Cultura	Plantio (kg ha ⁻¹)			Cobertura (kg ha ⁻¹)			Total (kg ha ⁻¹)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Melancia*	-	-	-	100*	229*	81,6*	100*	229*	81,6*
Batata	50	750	150	76	16	136	136	766	286
Tomate	50	750	150	51,3	10,8	100	101,3	760,8	250
Repolho	50	750	150	95	20	95	145	770	245
Cebola	50	750	150	106	4	109	156	754	259

Cenoura	50	750	150	-	-	306	50	750	456
Beterraba	50	750	150	27,5	6	316,5	77,5	756	466,5

*A quantidade referente a melancia é na unidade de mg/dm³.

Nos experimentos de campo, as parcelas foram constituídas por 5 m de canteiro de 1,75 m de largura (cenoura, cebola e beterraba), duas linhas de batata de cinco metros espaçadas em 0,875 m, duas linhas de tomate de cinco metros espaçadas em 0,6 m e três linhas de repolho de 5 m espaçadas 0,4 m. A melancia foi cultivada em vasos de 8 dm³ onde foram semeadas 15 sementes e após contagem da emergência e desbaste permaneceram cinco plantas por vaso. A variedade de batata utilizada foi a orquestra, TY 2006 de tomate, Boro de beterraba, Verano de cenoura, ON 2619 de cebola, Astrus *Plus* de repolho, e Fair Fax de melancia. As variedades foram escolhidas de acordo com o uso mais comum na região.

Na aplicação do herbicida foi utilizado pulverizador com motor a combustão a gasolina com pressão constante de 3 bar e vazão de 250 L ha⁻¹. A aplicação ocorreu sempre com o solo úmido. Durante o período de pousio entre as aplicações dos herbicidas e o plantio das culturas a área foi mantida limpa com aplicação de paraquat na dose de 1500 g há⁻¹.

A área foi irrigada com aspersão em malha e durante o tempo de espera entre as aplicações e o plantio foi realizado irrigações para manutenção da umidade no solo com intuito de manutenção de atividade microbológica no solo. O cultivo das culturas também foi irrigado e o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas foi o comumente adotado pelos produtores da região.

Foram realizadas avaliações de injúria baseado em escala de 0 a 100 %, sendo 0 ausência de sintomas e 100 % morte das plantas (SBCPD, 1995). A avaliação foi realizada os 15, 21, 29 e 44 dias após a semeadura (DAS) nas culturas de cenoura. Cebola aos 13, 18, 26 e 41 DAS. Beterraba aos 15 e 35 dias e melancia aos 7, 14, 21 e 28 DAS. Já nas culturas do tomate e repolho aos 7, 17, 24, 33 e 48 DAT e batata aos 15, 21 26, 35 e 50 DAP Aos 30 dias após o plantio foi contado o estande e medido a altura de plantas das culturas nos experimentos de campo. A batata, cebola, beterraba e repolho as parcelas foram colhidas manualmente para estimativa de produtividade, classificação comercial e deformações quando ocorreu. Na melancia, aos 30 DAS, foi determinado a altura e as plantas cortadas para determinação da matéria seca da raiz e parte aérea. No tomate no início do amadurecimento dos frutos foi determinado matéria fresca e seca das plantas, número de frutos por plantas e massa média de

frutos por plantas. Nas culturas da batata e melancia fo avaliado/calculado o índice de velocidade de emergência (IVE).

Para melhor entendimento do texto nos resultados e discussão o intervalo entre a aplicação dos tratamentos e o plantio das hortaliças será referido como dias antecedendo o plantio (DAP). Já as avaliações de injúrias na batata será dias após o plantio (sempre escrito sem abreviação. Na cebola, cenoura, beterraba e melancia o tempo das avaliações de injurias será referido com dias após a sementeira (DAS). Repolho e tomate dias após transplante (DAT).

1.21 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análises estatísticas inicialmente os dados foram submetidos à verificação da normalidade, homogeneidade de variância. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK). Foi utilizado o software SPEED Stat (Carvalho et al., 2020) e adotada a significância de 5% de probabilidade de erro α e a figuras foram plotadas no software Sigmaplot12.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.31 BATATA

A batata foi a cultura mais tolerante à mistura sulfentrazone + diuron dentre as espécies estudadas (Tabelas 3 e 4, Figura 2). Observou redução na velocidade de emergência das hastes de batata, aos 30 DAP (Tabela 3). Nas folhas, observou-se injúrias com aplicação de 1,4 ou 2,8 L ha⁻¹ da mistura sulfentrazone + diuron com intervalo de aplicação de 30 DAP apenas aos 15 dias após o plantio, nas demais avaliações a batata já havia se recuperado. O residual do sulfentrazone + diuron no solo não alterou de maneira significativa a altura das plantas de batata nem a produtividade de tubérculos (Tabela 4).

Tabela 3. Número de hastes, índice de velocidade de emergência (IVE) e altura de plantas de batata em função de doses da mistura sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo o plantio da batata. Rio Paranaíba, MG. (2021)

Dose do sulfentrazone + diuron	Número de hastes (hastes m ² - ¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP

Sem aplicação	8,8 a	7,5 a	7,0 a	7,4 a	7,7 a	8,1 a
1,4 L ha ⁻¹	7,2 a	6,3 a	6,5 a	7,1 a	6,7 a	8,2 a
2,8 L ha ⁻¹	7,8 a	6,4 a	6,8 a	6,8 a	6,5 a	7,0 a
Média	7,9	6,7	6,8	7,1	7,0	7,8
F	0,76 ^{Ns}	2,51 ^{Ns}	0,42 ^{Ns}	0,15 ^{Ns}	2,42 ^{Ns}	0,86 ^{Ns}
CV (%)	20,32	11,17	9,66	18,12	10,32	15,28
Dose do sulfentrazone + diuron	Índice de velocidade de emergência (hastes m ² - ¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	1,3 a	1,1 a	1,1 a	1,2 a	1,2 a	1,3 a
1,4 L ha ⁻¹	1,0 a	0,7 b	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,2 a
2,8 L ha ⁻¹	1,0 a	0,7 b	1,0 a	0,9 a	1,0 a	0,9 a
Média	1,14	0,89	1,05	1,07	1,12	1,18
F	0,61 ^{Ns}	4,34 ⁰	0,64 ^{Ns}	3,02 ^{Ns}	0,5 ^{Ns}	9,36*
CV (%)	28,44	19,46	17	14,16	28,57	10,8
Dose do sulfentrazone + diuron	Altura de hastes (cm)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	49,0 a	48,3 a	44,3 a	50,6 a	60,0 a	54,3 a
1,4 L ha ⁻¹	50,0 a	49,6 a	45,3 a	48,3 a	56,3 a	55,3 a
2,8 L ha ⁻¹	48,6 a	48,3 a	49,0 a	50,0 a	56,6 a	50,6 b
Média	49,22	48,78	46,22	49,67	57,67	53,44
F	0,09 ^{Ns}	0,2 ^{Ns}	1,37 ^{Ns}	0,25 ^{Ns}	0,34 ^{Ns}	4,94 ⁰
CV (%)	7,98	6,15	7,87	8,36	10,44	3,58

Ns, -, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%.

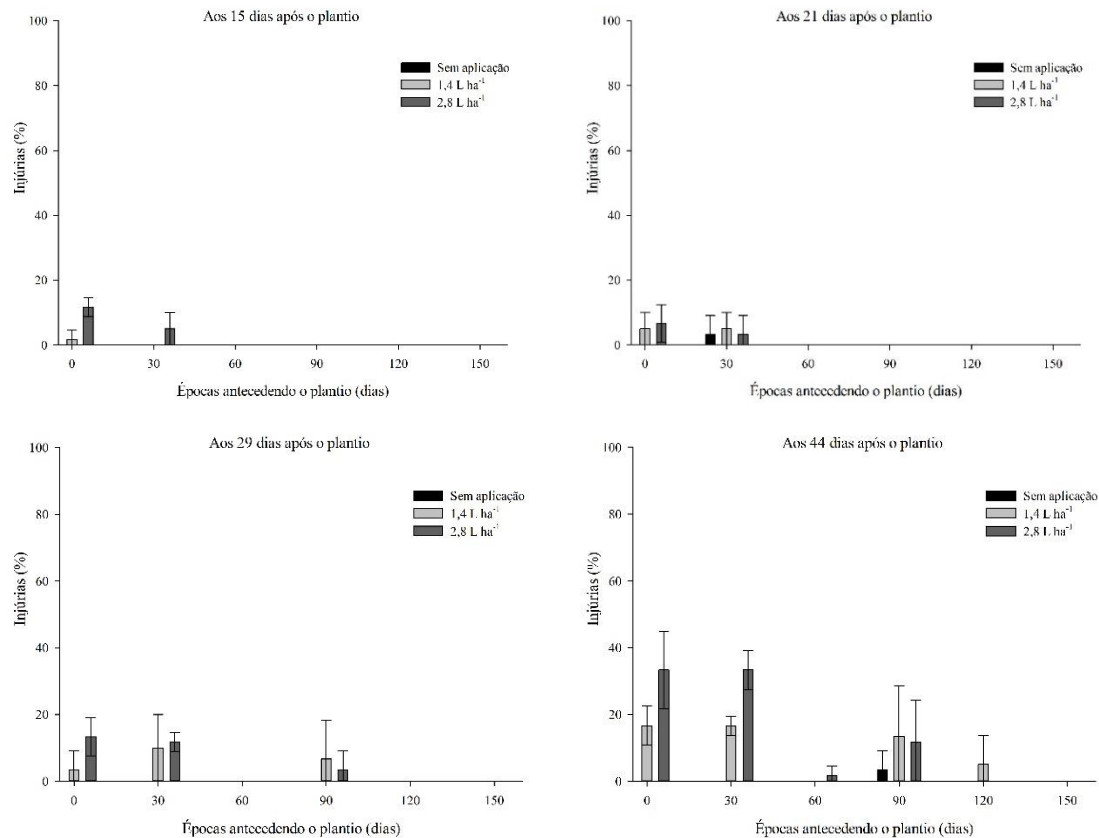


Figura 2. Injúrias nas plantas de batata aos 15, 21, 29 e 44 dias após o plantio em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo o plantio da batata. As barras representam o erro padrão da média de cada tratamento. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Tabela 4. Classificação comercial e produtividade de tubérculos de batata em função de doses da mistura sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo o plantio da batata. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Dose do sulfentrazone + diuron	Tubérculos miúdos < 46 mm (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	18,8 a	9,9 a	12,8 a	9,2 a	13,8 a	9,5 a
1,4 L ha ⁻¹	17,5 a	10,3 a	7,5 a	9,6 a	14,5 a	10,7 a
2,8 L ha ⁻¹	22,2 a	13,2 a	11,7 a	8,8 a	11,7 a	11,3 a
Média	19,54	11,16	10,70	9,21	13,39	10,56
F	0,25 ^{Ns}	0,62 ^{Ns}	0,87 ^{Ns}	0,03 ^{Ns}	0,23 ^{Ns}	0,28 ^{Ns}
CV (%)	43,28	34,97	48,36	39,85	38,95	29,34
Dose do sulfentrazone + diuron	Tubérculos graúdos > 46 mm (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	81,2 a	90,0 a	87,1 a	90,7 a	86,1 a	90,4 a
1,4 L ha ⁻¹	82,4 a	89,7 a	92,4 a	90,4 a	85,4 a	89,2 a
2,8 L ha ⁻¹	77,7 a	86,7 a	88,2 a	91,1 a	88,2 a	88,6 a
Média	80,46	88,84	89,30	90,79	86,61	89,44
F	0,25 ^{Ns}	0,62 ^{Ns}	0,87 ^{Ns}	0,03 ^{Ns}	0,23 ^{Ns}	0,28 ^{Ns}
CV (%)	10,51	4,39	5,79	4,04	6,02	3,46
Dose do sulfentrazone + diuron	Tubérculos rachados (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	17,3 a	7,4 a	1,7 a	3,6 a	7,5 a	10,3 b
1,4 L ha ⁻¹	22,8 a	4,6 a	7,1 a	5,3 a	5,2 a	29,5 a
2,8 L ha ⁻¹	19,2 a	7,4 a	5,0 a	3,5 a	1,5 a	14,0 b
Média	19,81	6,52	4,63	4,17	4,77	17,99
F	0,48 ^{Ns}	0,22 ^{Ns}	0,56 ^{Ns}	0,28 ^{Ns}	1,11 ^{Ns}	4,18 ⁰
CV (%)	35,18	94,56	134,6	80,56	104,85	48,18
Dose do sulfentrazone + diuron	Produtividade (t h ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	27,7 a	26,0 a	34,5 a	35,1 a	28,0 a	38,1 a
1,4 L ha ⁻¹	35,4 a	23,5 a	30,4 a	27,2 a	28,3 a	35,5 a
2,8 L ha ⁻¹	31,7 a	25,4 a	31,6 a	34,4 a	35,9 a	35,7 a
Média	31,62	25,01	32,21	32,31	30,80	36,50
F	1,51 ^{Ns}	0,49 ^{Ns}	0,96 ^{Ns}	3,47 ^{Ns}	3,92 ^{Ns}	0,52 ^{Ns}
CV (%)	17,1	13,16	11,52	12,55	12,65	9,59

Ns, -, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%.

O sulfentrazone quando aplicado em pré-emergência (0 DAP) da batata não causa injúrias à cultura. Outros herbicidas inibidores da PROTOX como a flumioxazin e oxadiazon também demonstram seletividade nessa modalidade de aplicação na cultura da batata (Correia & Carvalho, 2019). Quando aplicados no solo a ação dessas moléculas podem ser na

germinação da semente ou no momento que a planta emerge e entre em contato com o “filme” do herbicida (Rodrigues & Almeida, 2018). A batata por possuir grande quantidade de reservas nos tubérculos consegue realizar a brotação sem sofrer injúrias aparentes. Além disso, a tolerância da batata ao sulfentrazone se dá pela menor absorção radicular e menor translocação do herbicida ao sítio de ação quando aplicado em pré-emergência (Bailey et al., 2003). Portanto, a seletividade da batata é aumentada quando a aplicação ocorre em pré-emergência da cultura em detrimento da aplicação após a emergência da cultura.

Espécies com seletividade bioquímica para esses grupos de herbicida conseguem degradação diferencial para as moléculas. Porém, existem diferenças entre espécies e herbicidas, mesmo com mecanismo de ação similar (Dayan & Dayan, 2011). No caso do sulfentrazone sua degradação e perda de atividade biológica é através da substituição do grupo metil na posição 3 do anel de triazolinona (Theodoridis et al., 1998). Além de todos os fatores envolvidos na tolerância, esse fenômeno também é dependente da variedade (Tonks et al., 2001).

Com relação ao diuron são escassos trabalhos com a cultura da batata, porém, a batata doce (*Ipomoea batatas*) foi seletiva ao diuron até aplicação de 1056 g i.a. ha⁻¹ (Oliveira et al., 1997). De acordo com a atual pesquisa a batata também não sofreu injúrias severas pela aplicação do diuron em mistura com o sulfentrazone. A batata possui seletividade a outros herbicidas inibidores do FSII, como metribuzin e linuron (Felipe et al., 2006), portanto, é provável que haja tolerância ao diuron. Ele é uma molécula não ionizável com alta sorção no solo, especialmente, solos argilosos como é o caso desse trabalho (University of Hertfordshire, 2020). Nesses solos, mesmo com precipitações o diuron não se movimenta consideravelmente (Garcia et al., 2012). Portanto, espera-se que haja formação de um filme na superfície do solo e quando se faz o sulco para plantio da batata esse pode romper o filme e reduzir o contato da batata com o herbicida. Nos maiores intervalos entre aplicação do herbicida e plantio, o diuron pode ter sido retido nos coloides do solo e/ou degradado, não interferindo no desenvolvimento da cultura.

1.32 CENOURA, CEBOLA E BETERRABA

Na cultura da cenoura, a foi possível observar injúrias apenas na maior dose (2,8 kg ha⁻¹) da mistura sulfentrazone + diuron. A mistura com mais de 60 dias antecedendo o plantio (DAP) de cenoura não foi capaz de provocar injúrias nas plantas (Tabela 5 e Figura 3). Até os

21 dias após semeadura (DAS) apenas a maior dose (2,8 L ha⁻¹) provocou injúrias. Aos 44 DAS ficou evidente as injúrias com aplicação do herbicida no dia do plantio e 30 DAP, sendo maior percentual de injúrias na dose de 2,8 L ha⁻¹. A mistura sulfentrazone + diuron não influenciou no estado de plantas nem na altura das folhas de cenoura (Tabela 6).

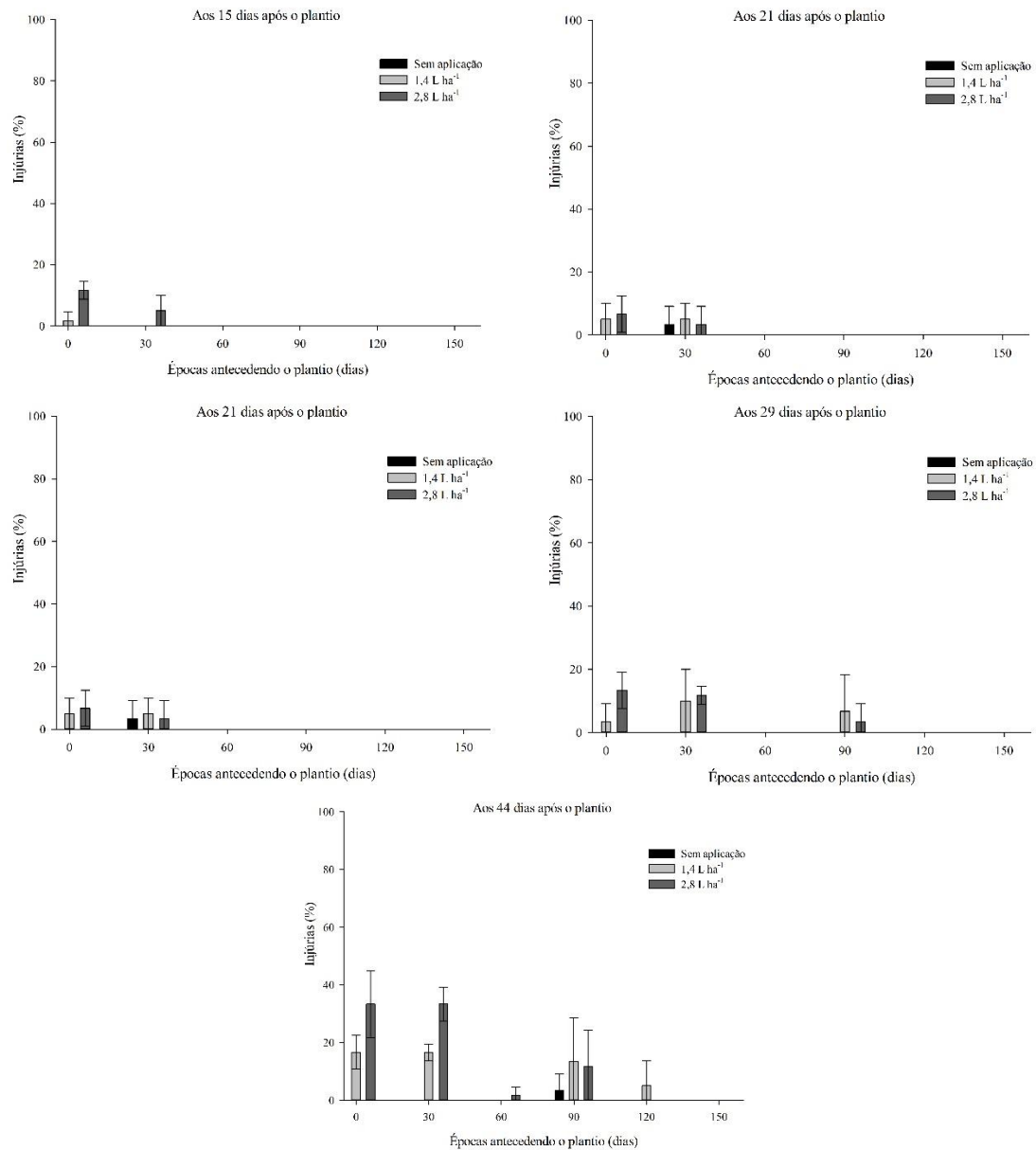


Figura 3. Injúria de plantas de cenoura aos 15, 21, 29 e 44 dias após a semeadura em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo a semeadura da cenoura. As barras representam o erro padrão da média de cada tratamento. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Tabela 5. Estande e altura da cenoura em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo a semeadura da cenoura. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Dose do sulfentrazone + diuron	Estande de plantas (plantas m linear ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	5,7 a	7,2 a	2,3 a	7,6 a	2,8 a	6,4 a
1,4 L ha ⁻¹	5,2 a	4,2 a	3,0 a	6,4 a	4,1 a	7,3 a
2,8 L ha ⁻¹	3,2 a	6,4 a	3,4 a	7,4 a	3,6 a	7,1 a
Média	4,7	5,9	2,9	7,1	3,5	6,9
F	2,23 ^{Ns}	1,94 ^{Ns}	0,56 ^{Ns}	0,65 ^{Ns}	0,87 ^{Ns}	0,47 ^{Ns}
CV (%)	31,23	32,89	44,52	19,04	35,21	16,52

Dose do sulfentrazone + diuron	Altura de plantas (cm)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	8,0 a	8,6 a	9,3 a	9,0 a	9,3 a	11,0 a
1,4 L ha ⁻¹	6,3 a	6,6 a	9,0 a	8,3 a	9,0 a	9,0 a
2,8 L ha ⁻¹	5,5 a	8,6 a	8,0 a	9,3 a	8,3 a	10,0 a
Média	6,6	8,0	8,7	8,8	8,8	10,0
F	1,92 ^{Ns}	1,33 ^{Ns}	1 ^{Ns}	0,5 ^{Ns}	1,4 ^{Ns}	0,56 ^{Ns}
CV (%)	24,05	21,65	13,69	14,03	8,39	23,09

Ns, ~, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%.

As injúrias causadas nas plantas de cebola evoluíram de acordo com o crescimento da cultura (figura 4). Na última avaliação houve danos até com o intervalo de 120 dias com a dose 2,8 L ha⁻¹ do herbicida. A dose 1,4 L ha⁻¹ de sulfentrazone + diuron causou menores percentuais de injúrias apenas nos intervalos de 30 e 60 DAP entre a aplicação e a semeadura.

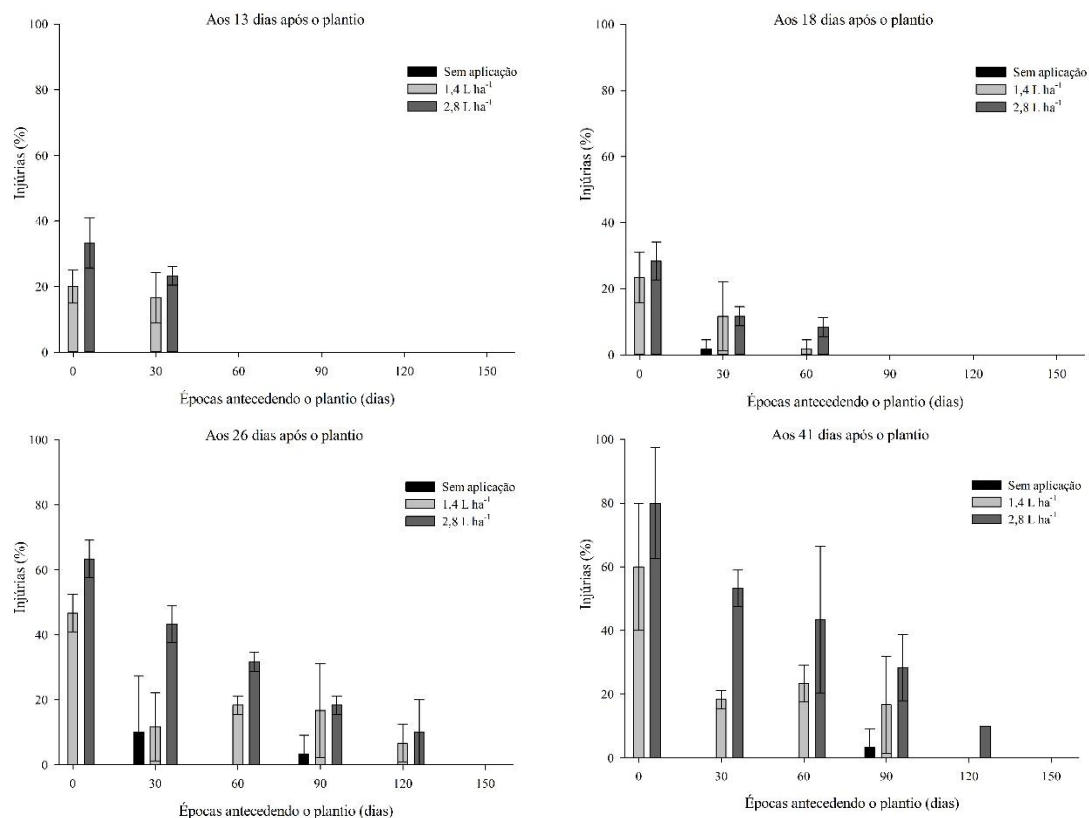


Figura 4. Injúria de plantas de cebola aos 13, 18, 26 e 41 dias após a semeadura em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo a semeadura da

cebola. As barras representam o erro padrão da média de cada tratamento. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Houve morte de plântulas de cebola e redução na altura das plantas apenas aos 0 DAP (Tabela 6). Aos 0 e 30 DAP, praticamente não houve formação de bulbo nas parcelas onde foi aplicado sulfentrazone + diuron. Na última época (150 DAP), as médias de produtividade foram maiores, e por isso foi possível observar redução na produtividade no tratamento com 2,8 L ha⁻¹ de sulfentrazone + diuron de 26% em relação a testemunha sem aplicação. É interessante observar que nessa época não foram observadas injúrias, porém, mesmo assim houve redução na produtividade da cultura.

Tabela 6. Estande, altura e produtividade da cebola em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo a semeadura da cebola. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Dose do sulfentrazone + diuron	Estande de plantas (plantas m linear ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	9,0 a	13,0 a	7,4 a	6,7 a	16,1 a	18,9 a
1,4 L ha ⁻¹	4,8 b	11,1 a	7,2 a	8,1 a	17,7 a	16,5 a
2,8 L ha ⁻¹	2,2 b	12,2 a	6,3 a	7,5 a	13,5 a	17,7 a
Média	5,3	12,1	7,0	7,5	15,8	17,7
F	12,42**	1,22 ^{Ns}	0,13 ^{Ns}	0,5 ^{Ns}	1,25 ^{Ns}	0,89 ^{Ns}
CV (%)	31,6	12,69	37,7	21,94	20,62	12,76
Dose do sulfentrazone + diuron	Altura de plantas (cm)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	14,0 a	12,6 a	14,6 a	15,0 a	15,3 a	14,6 a
1,4 L ha ⁻¹	6,3 b	11,3 a	13,0 a	13,0 a	16,3 a	15,3 a
2,8 L ha ⁻¹	5,3 b	12,3 a	12,0 a	14,3 a	12,6 a	15,6 a
Média	8,5	12,1	13,2	14,1	14,7	15,2
F	55,18**	0,25 ^{Ns}	0,8 ^{Ns}	0,82 ^{Ns}	3,23 ^{Ns}	0,17 ^{Ns}
CV (%)	12,92	19,66	19,69	13,77	12,35	14,19
Dose do sulfentrazone + diuron	Produtividade (t ha ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	5,3 a	8,4 a	18,6 a	32,0 a	40,5 a	54,2 a
1,4 L ha ⁻¹	0,0 b	1,9 b	16,4 a	31,9 a	44,7 a	49,1 a
2,8 L ha ⁻¹	0,0 b	1,6 b	17,6 a	28,8 a	43,7 a	40,5 b
Média	1,79	4,01	17,58	30,93	43,02	47,96
F	258,87**	34,36**	0,47 ^{Ns}	0,61 ^{Ns}	1,54 ^{Ns}	11,01**
CV (%)	21,53	28,58	16,21	13,21	7,15	7,53

^{Ns}, ~, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%.

A classificação comercial de bulbos de cebola não foi alterada pela mistura sulfentrazone + diuron, exceto, aos 0 DAP, onde não houve produtividade e observou a redução de bulbos caixa 1 e 2 em relação à testemunha (Tabela 7). Com intervalo de 150 dias

entre a aplicação da dose 2,8 L ha⁻¹ e a semeadura houve aumento de bulbos caixa 1 em relação à testemunha.

Tabela 7. Classificação comercial da cebola baseado no diâmetro dos bulbos em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo a semeadura da cebola. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Dose do sulfentrazone + diuron	Bulbos caixa 1 <35 mm (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	35,6 a	27,4 a	5,5 a	2,8 a	3,4 a	4,3 b
1,4 L ha ⁻¹	0,0 b	21,7 a	6,4 a	2,9 a	3,1 a	5,0 ab
2,8 L ha ⁻¹	0,0 b	20,3 a	5,1 a	3,2 a	2,5 a	6,1 a
Média	11,8	23,1	5,7	3,0	3,0	5,1
F	19126,88**	0,4 ^{Ns}	1,54 ^{Ns}	0,13 ^{Ns}	0,18 ^{Ns}	4,22 ⁰
CV (%)	2,5	44,48	16,97	39,23	61,03	14,68
Dose do sulfentrazone + diuron	Bulbos caixa 2 e 3 Entre 35 e 60 mm (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	66,9 a	71,7 a	72,8 a	56,7 a	72,7 a	81,0 a
1,4 L ha ⁻¹	0,0 b	78,2 a	72,7 a	68,4 a	70,9 a	77,7 a
2,8 L ha ⁻¹	0,0 b	79,6 a	70,6 a	64,3 a	62,7 a	82,9 a
Média	22,3	76,5	72,0	63,1	68,8	80,5
F	668,85**	0,51 ^{Ns}	0,03 ^{Ns}	1,67 ^{Ns}	2,01 ^{Ns}	1,25 ^{Ns}
CV (%)	11,6	13,35	17,91	12,64	9,49	5,04
Dose do sulfentrazone + diuron	Caixa 3 cheio Entre 60 e 70 mm (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	0,0	0,0	18,9 a	31,4 a	18,8 a	11,6 a
1,4 L ha ⁻¹	0,0	0,0	14,5 a	22,6 a	23,7 a	14,5 a
2,8 L ha ⁻¹	0,0	0,0	19,1 a	25,3 a	29,5 a	9,1 a
Média	0,0	0,0	17,5	26,4	24,0	11,8
F	-	-	0,26 ^{Ns}	3,35 ^{Ns}	1,25 ^{Ns}	1,63 ^{Ns}
CV (%)	-	-	49,7	16,21	34,54	30,97
Dose do sulfentrazone + diuron	Caixa 4 > 70 mm (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	0,0	0,0	2,7 a	9,0 a	5,0 a	2,9 a
1,4 L ha ⁻¹	0,0	0,0	6,2 a	6,0 a	2,1 b	2,6 a
2,8 L ha ⁻¹	0,0	0,0	5,1 a	7,0 a	5,1 a	1,7 a
Média	0,0	0,0	4,6	7,3	4,1	2,4
F	-	-	0,41 ^{Ns}	0,27 ^{Ns}	5,69*	0,2 ^{Ns}
CV (%)	-	-	103,16	68,86	30,26	99,58

^{Ns}, ~, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%.

A beterraba foi a cultura mais sensível a aplicação da mistura sulfentrazone + diuron. Mesmo na dose 1,4 L ha⁻¹ foi possível observar injúrias com intervalo entre 150 dias da aplicação e plantio (DAP) (Tabela 8 e figura 5). Aos 0 DAP, houve morte de praticamente todas as plantas nas parcelas onde houve aplicação mistura sulfentrazone + diuron. Aos 30 DAP também houve morte de plantas de beterraba no tratamento com dose 2,8 L ha⁻¹ da mistura.

Assim como as injúrias, a altura de plantas sofreu influência até no último intervalo (150 DAP) na maior dose. Houve redução drástica do estande aos 0 e 30 DAP na maior dose (2,8 L ha⁻¹) e aos 0 DAP na menor dose (1,4 L ha⁻¹). Entretanto no intervalo de 120 DAP também houve redução no estande na maior dose (2,8 L ha⁻¹) aplicada. A produtividade foi reduzida na menor dose (1,4 L ha⁻¹) até 60 DAP, já a maior dose reduziu mesmo com intervalo de 150 DAP entre aplicação e semeadura.

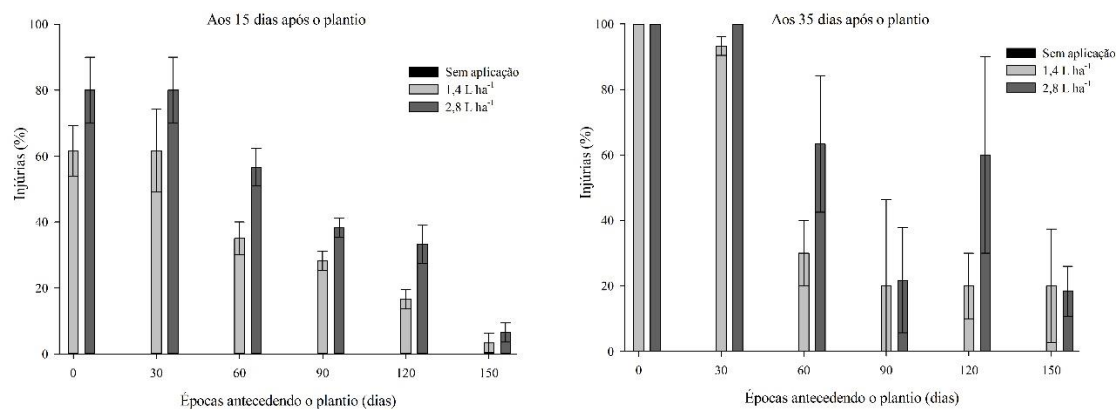


Figura 5. Injúria de plantas de beterraba aos 15 e 35 dias após o plantio em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo a semeadura da beterraba. As barras representam o erro padrão da média de cada tratamento. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Tabela 8. Altura de planta, estande de plantas e produtividade em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo a semeadura da beterraba. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Dose do sulfentrazone + diuron	Altura de plantas (cm)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	12,3 a	11,0 a	13,0 a	13,3 a	16,0 a	15,6 a
1,4 L ha ⁻¹	0,0 b	5,6 a	10,3 a	13,3 a	13,0 a	11,3 b
2,8 L ha ⁻¹	0,0 b	7,0 a	9,3 a	12,6 a	3,3 b	15,0 a
Média	4,1	7,9	10,9	13,1	10,8	14,0
F	37**	1,5 ^{Ns}	1,37 ^{Ns}	0,09 ^{Ns}	13,44**	4,59 ^{Ns}
CV (%)	49,32	49,82	25,79	17,05	29,01	13,47
Dose do sulfentrazone + diuron	Estande de plantas (plantas m linear ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	3,8 a	5,1 a	5,8 a	5,1 a	7,0 a	6,6 a
1,4 L ha ⁻¹	0,5 b	2,1 b	3,6 a	6,9 a	6,3 a	6,2 a
2,8 L ha ⁻¹	0,1 b	1,6 b	2,8 a	5,7 a	1,7 b	7,3 a
Média	1,5	2,9	4,1	5,9	5,0	6,7
F	25,83**	5,87*	1,99 ^{Ns}	0,69 ^{Ns}	9,04*	1,19 ^{Ns}
CV (%)	46,06	45,32	46,62	32,33	33,29	12,96
Produtividade (t ha ⁻¹)						

Dose do sulfentrazone + diuron	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	8,3 a	7,6 a	25,5 a	21,6 a	18,8 a	18,4 a
1,4 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 b	16,6 b	21,8 a	18,6 a	20,1 a
2,8 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 b	13,7 b	19,6 a	4,2 b	13,2 b
Média	2,7	2,5	18,6	21,0	13,9	17,2
F	11,29**	138,88**	29,54**	0,21 ^{Ns}	8,01*	6,9*
CV (%)	89,27	25,46	10,55	21,84	36,97	13,64

^{Ns}, ~, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%. Dados de injúria transformados pela transformação rank para atender aos pressupostos da análise de variância.

Não houve influência no tamanho das raízes de beterraba com a aplicação do sulfentrazone + diuron com aplicações da mistura de 60 a 150 dias antecedendo ao plantio. As diferenças no tempo 0 e 30 DAP é referente a morte total de plantas (Tabela 9). As raízes deformadas foram quantificadas, entretanto, não houve relação com aplicação da mistura sulfentrazone + diuron, observando-se diferença apenas no tempo 0 e 30 DAP onde não houve desenvolvimento de raízes devido a morte prematura das plantas.

Tabela 9. Classificação comercial da beterraba baseado no diâmetro das raízes e percentagem de raízes deformadas em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo a semeadura da beterraba. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Dose do sulfentrazone + diuron	Menor que 50 mm (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	7,3 a	3,4 a	3,9 a	7,5 a	17,3 a	21,2 a
1,4 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 a	2,8 a	8,8 a	14,0 a	15,1 a
2,8 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 a	0,9 a	6,8 a	24,6 a	20,0 a
Média	2,4	1,1	2,5	7,7	18,6	18,8
F	120**	3,86 ^{Ns}	2,35 ^{Ns}	0,18 ^{Ns}	0,46 ^{Ns}	1,32 ^{Ns}
CV (%)	7,03	30,55	67,81	53,28	74,74	25,61
Dose do sulfentrazone + diuron	Entre 50 e 90 mm (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	70,6 a	83,4 a	86,7 a	83,9 a	69,2 ab	76,7 a
1,4 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 b	79,2 a	78,1 a	74,6 a	84,8 a
2,8 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 b	75,4 a	74,0 a	56,6 b	79,9 a
Média	23,5	27,8	80,5	78,7	66,8	80,5
F	20,36**	249,73**	0,41 ^{Ns}	0,55 ^{Ns}	3,79 ^{Ns}	1,65 ^{Ns}
CV (%)	66,49	18,98	19,29	14,74	12,32	6,84
Dose do sulfentrazone + diuron	Maior que 90 mm (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	36,7 a	13,1 a	9,3 a	8,5 a	13,3 a	0,0
1,4 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 b	17,8 a	13,0 a	11,3 a	0,0
2,8 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 b	23,6 a	19,1 a	18,7 a	0,0
Média	12,2	4,3	16,9	13,5	14,4	0,0
F	4,51 ⁰	3,46 ⁰	0,63 ^{Ns}	0,46 ^{Ns}	0,15 ^{Ns}	-
CV (%)	163,13	161,32	93,25	99,55	118,62	-

Dose do sulfentrazone + diuron	Raízes deformadas (%)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	26,6 a	12,8 a	16,3 a	14,3 a	14,7 a	13,3 a
1,4 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 b	24,4 a	6,2 a	12,6 a	7,8 a
2,8 L ha ⁻¹	0,0 b	0,0 b	27,3 a	13,7 a	23,5 a	9,4 a
Média	8,8	4,2	22,7	11,4	16,9	10,2
F	18,66**	2,13 ⁰	1,08 ^{Ns}	0,72 ^{Ns}	0,36 ^{Ns}	0,48 ^{Ns}
CV (%)	69,44	205,58	41,49	80,74	98,04	68,95

^{Ns}, ~, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%.

As culturas de sementes miúdas sofreram danos na seguinte ordem: beterraba>cebola>cenoura. Essas culturas em semeadura direta, mais comum no Brasil, são extremamente sensíveis a qualquer estresse pelo lento crescimento inicial e pela limitada quantidade de reservas na semente. A beterraba é extremamente sensível ao sulfentrazone, sendo indicada como bioindicadora (Blanco & Velini, 2005). Isso se confirmou também em campo em forma de cultivo comercial na presente pesquisa. A planta niger (*Guizotia abyssinica*) em solo argiloso que também possui alta sensibilidade ao sulfentrazone concluiu que nas condições testadas a taxa de dissipação do sulfentrazone foi na ordem de 2 g ha dia⁻¹ (Lourenço e Carvalho, 2014). Na dose 2,8 L ha⁻¹ da mistura foi aplicado 490 g ha⁻¹ de sulfentrazone, portanto, para culturas extremamente sensíveis o tempo mínimo seria de 245 dias nas condições desta pesquisa. Isso corrobora com os presentes resultados, já que aos 150 DAP se observou redução na produtividade da beterraba com aplicação da maior dose.

A cebola também foi muito comprometida pela presença da mistura dos herbicidas. Porém, foi mais perceptível aos 41 dias após a semeadura quando aos 120 DAP na dose 2,8 L ha⁻¹ houve maiores injúrias. Isso pode ser justificado pelo crescimento inicial reduzido dessa espécie mesmo em condições ótimas. Após aos 30 e 40 dias após a semeadura a cultura geralmente acelera o crescimento e intensifica o crescimento radicular e a emissão de folhas, com isso pode se aumentar a absorção radicular do herbicida e o metabolismo da planta, favorecendo o efeito deletério do ingrediente ativo (Cieslik et al., 2013). Quanto a produtividade, foi possível observar redução com a dose 2,8 L ha⁻¹ nos 150 DAP, entretanto nos intervalos 60, 90 e 120 DAP não foram. Isso pode ser explicado pela melhor condição de desenvolvimento da cultura nessa época em que as produtividades foram maiores. A cebola possui sensibilidade a herbicidas do mesmo mecanismo de ação do diuron (inibidores do fotossistema II), como por exemplo o metribuzin e atrazine (Walperes et al., 2015; Darren, 2008). As parcelas de cebola e beterraba afetadas pelo *carryover* apresentavam inicialmente

clorose intensa, e nos menores intervalos (0 e 30 DAP) evoluíram para necrose possivelmente pela formação de espécies reativas de oxigênio (Singh & Tiwari, 2020).

A cenoura, dentre as hortaliças de sementes miúdas, foi a mais tolerante *carryover* do sulfentrazone + diuron. As injúrias foram observadas apenas nos intervalos menores (0 e 30 DAP). O solo muito argiloso, com alta CTC (tabela 1) retém mais o sulfentrazone e conseqüentemente o deixa menos disponível (Melo et al., 2010). Além disso o pH do solo foi de 5,8 e o pKa do sulfentrazone de 3,9. Geralmente solos para cultivo de olerícolas apresentam pH maiores, como 6 a 6,5. Isso indica maior tendência de retenção do herbicida nesse solo (University of Hertfordshire, 2020). A cenoura possui seletividade a outros herbicidas inibidores do fotossistema II, como o afalon aplicado em pré e pós-emergência, e ao metribuzin aplicado em pós emergência (Correia & Carvalho, 2017 e 2018). A baixa sensibilidade a partir dos 60 DAP pode ter influência da alta precipitação ocorrida (figura 1), que pode ter lixiviado parte do herbicida (especialmente o sulfentrazone) e possibilitou o bom desenvolvimento da cenoura, independente da dose aplicada. Em um estudo trabalhando com diferentes lâminas de chuva sobre a lixiviação de sulfentrazone e diuron, o pesquisador observou que uma lâmina de 120 mm de chuva pode lixiviar mais de 70% do sulfentrazone e mais de 15% do diuron em um solo argiloso (Matos, 2018).

1.33 TOMATE E REPOLHO

A mistura sulfentrazone + diuron não influenciou o estande de plantas de tomate em nenhuma época de aplicação (Tabela 10). Entretanto, com aplicação no dia do transplante o herbicida reduziu a altura das plantas.

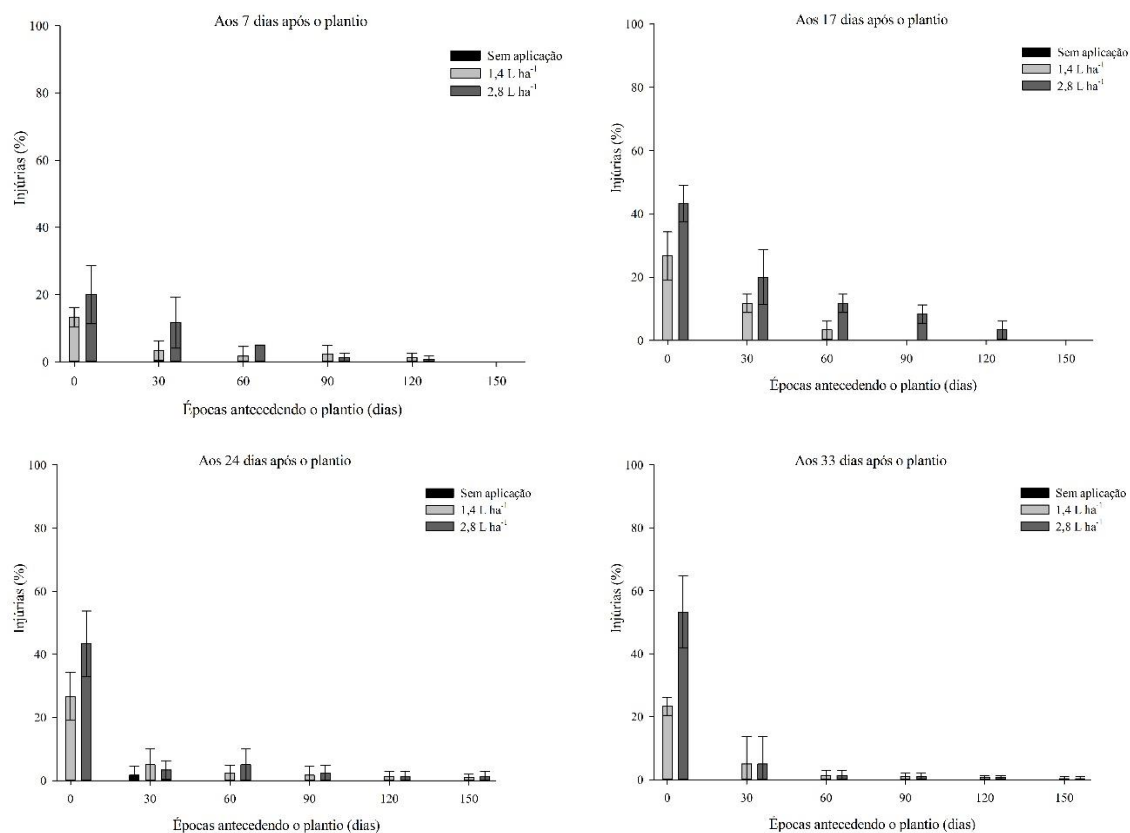
Tabela 10. Estande de plantas e altura do tomate em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo o transplante do tomate. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Dose do sulfentrazone + diuron	Estande de plantas (Plantas/m)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	2,3 a	2,0 a	1,9 a	2,1 a	1,7 a	1,8 a
1,4 L ha ⁻¹	2,2 a	2,0 a	1,9 a	2,1 a	1,9 a	1,9 a
2,8 L ha ⁻¹	2,2 a	1,9 a	2,0 a	2,2 a	2,0 a	2,2 a
Média	2,27	2,02	1,98	2,17	1,93	2,02
F	1,45 ^{Ns}	0,23 ^{Ns}	0,13 ^{Ns}	0,64 ^{Ns}	1,56 ^{Ns}	1,68 ^{Ns}
CV (%)	5	10,58	12,74	5,24	11,64	11,98
Altura de plantas (cm)						

Dose do sulfentrazone + diuron	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	64,0 a	73,3 a	66,6 a	67,3 a	60,6 a	65,0 a
1,4 L ha ⁻¹	48,3 b	67,6 a	61,6 a	66,6 a	64,0 a	67,6 a
2,8 L ha ⁻¹	36,6 b	66,6 a	61,6 a	70,0 a	61,6 a	63,3 a
Média	49,67	69,22	63,33	68,00	62,11	65,33
F	7,92*	1,25 ^{Ns}	0,27 ^{Ns}	0,15 ^{Ns}	0,7 ^{Ns}	1,08 ^{Ns}
CV (%)	16,99	8,04	15,12	11,69	5,7	5,57

^{Ns}, ~, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%.

Aos 7 dias após o transplante (DAT) a aplicação de sulfentrazone + diuron até 60 dias antes do plantio (DAP) provocou injúrias no tomate na dose de 2,8 L ha⁻¹ (figura 6). Na dose 1,4 L ha⁻¹, houve injúrias até 30 DAP. Aos 17 DAT, na dose 2,8 L ha⁻¹ houve danos até 120 DAP, e até aos 60 DAP no tratamento com aplicação de 1,4 L h⁻¹. Aos 24 e 33 DAT houve recuperação do tomate com exceção da aplicação no dia do transplante. Na última avaliação (48 DAT), houve diferença aos 0 e 30 DAP, sendo que aos 0 DAP a maior dose (2,8 L ha⁻¹) provocou maiores injúrias nas plantas.



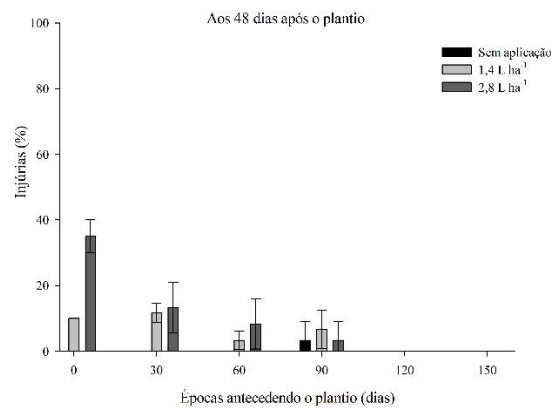


Figura 6. Injúrias em plantas de tomate aos 7, 17, 24, 33 e 48 dias após o transplante em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo o transplante do tomate. As barras representam o erro padrão da média de cada tratamento. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Quanto aos componentes de produção o número de frutos foi reduzido em 49% com aplicação no dia do transplante na dose 1,4 L ha⁻¹ e 72% na dose 2,8 L ha⁻¹ comparado com a testemunha (Tabela 11). Aos 30 DAP a redução foi de 32 % e 47 % respectivamente. A massa total de frutos por planta teve influência direta do número de frutos, sendo reduzida em ambas as doses nas épocas 0 e 30 DAP. A matéria fresca e seca da parte aérea foi reduzida apenas com a aplicação junto com o transplante.

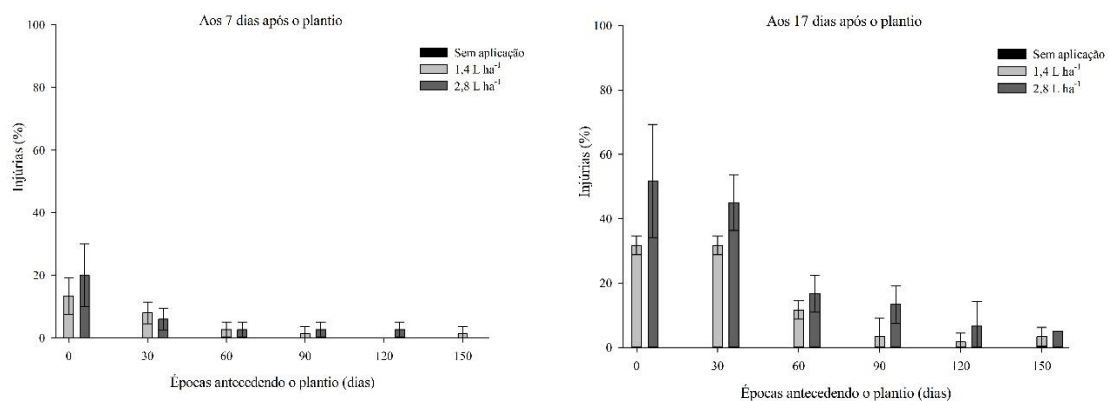
Tabela 11. Número de frutos, massa total de frutos, massa fresca da parte aérea e massa seca da parte aérea do tomate em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo o transplante do tomate. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Dose do sulfentrazone + diuron	Número de frutos (frutos planta ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	21,0 a	22,9 a	19,4 a	27,6 a	8,8 a	11,4 a
1,4 L ha ⁻¹	10,8 b	15,8 b	19,8 a	26,3 a	9,9 a	15,5 a
2,8 L ha ⁻¹	6,0 b	12,3 b	16,9 a	25,1 a	11,5 a	14,8 a
Média	12,64	17,01	18,76	26,36	10,11	13,93
F	7,03*	4,02 ⁰	0,11 ^{Ns}	0,08 ^{Ns}	0,31 ^{Ns}	0,45 ^{Ns}
CV (%)	39,61	24,64	43,72	28,57	41,44	40,01
Dose do sulfentrazone + diuron	Massa total de frutos (kg planta ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	0,4 a	0,5 a	0,5 a	0,7 a	0,1 a	0,2 a
1,4 L ha ⁻¹	0,1 b	0,2 b	0,5 a	0,7 a	0,2 a	0,3 a
2,8 L ha ⁻¹	0,1 b	0,2 b	0,4 a	0,6 a	0,2 a	0,3 a
Média	0,25	0,36	0,50	0,71	0,21	0,31
F	5,23*	6,32*	0,19 ^{Ns}	0,03 ^{Ns}	0,17 ^{Ns}	0,59 ^{Ns}
CV (%)	62,96	30,9	62,02	43,83	51,2	52,33
Dose do sulfentrazone + diuron	Massa fresca da parte aérea (kg planta ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP

Sem aplicação	0,4 a	0,4 a	0,5 a	0,6 a	0,2 a	0,4 A
1,4 L ha ⁻¹	0,2 b	0,3 a	0,3 a	0,5 a	0,2 a	0,3 A
2,8 L ha ⁻¹	0,2 b	0,3 a	0,3 a	0,5 a	0,2 a	0,4 A
Média	0,28	0,37	0,42	0,56	0,24	0,38
F	3,87 ⁰	2,71 ^{Ns}	0,7 ^{Ns}	0,57 ^{Ns}	0,85 ^{Ns}	0,33 ^{Ns}
CV (%)	33,18	19,35	37,53	35,17	27,84	36,1
Dose do sulfentrazone + diuron	Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	47,7 a	52,0 a	68,3 a	92,2 a	26,7 a	42,0 a
1,4 L ha ⁻¹	29,5 b	37,8 a	48,1 a	67,8 a	23,7 a	32,4 a
2,8 L ha ⁻¹	19,5 b	41,9 a	46,5 a	45,6 a	36,6 a	44,7 a
Média	32,29	43,95	54,35	68,60	29,09	39,78
F	4,66 ⁰	1,74 ^{Ns}	1,43 ^{Ns}	1,73 ^{Ns}	1,82 ^{Ns}	0,57 ^{Ns}
CV (%)	31,19	21,94	32,43	44,79	29,81	37,34

Ns, ~, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%.

O repolho teve sensibilidade à mistura sulfentrazone + diuron semelhante ao tomate. Aos 7 dias após transplante (DAT), a aplicação de 1,4 e 2,8 L ha⁻¹ provocou injúrias no repolho (figura 7). Aos 17 DAT, apenas no intervalo de 120 DAP não se observou injúrias. Aos 0, 30 e 90 DAP, a dose 2,8 L ha⁻¹ foi mais prejudicial com percentual de injúrias médio de 38, 18 e 5 % respectivamente. Aos 24 DAT, com aplicação da maior dose 1,4 L ha⁻¹ no dia do plantio houve injúria de 50 % e 23 % respectivamente. Aos 30 e 60 DAP, apesar de menor percentagem houve diferença em relação à testemunha em ambas as doses. Aos 33 DAT, houve dano aos 0, 30 e 90 DAP, demonstrando menor recuperação do repolho em relação ao tomate. Essa tendência foi verificada até a última avaliação quando não se observou injúrias pelo sulfentrazone + diuron apenas nos dois últimos intervalos.



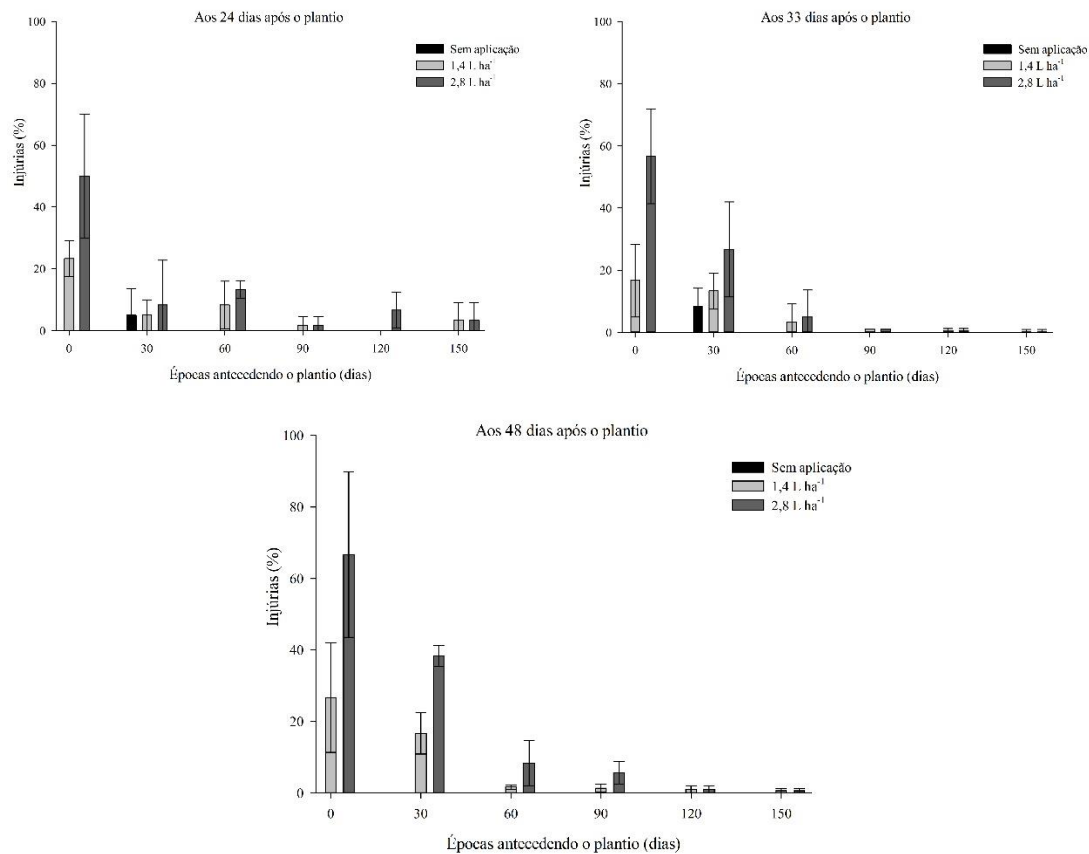


Figura 7. Injúrias em plantas de repolho aos 7, 17, 24, 33 e 48 dias após o transplante em função de doses da mistura sulfentrazone + diuron aplicada em diferentes épocas antecedendo o transplante do repolho. As barras representam o erro padrão da média de cada tratamento. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Apesar dos danos, a mistura sulfentrazone + diuron reduziu o estande de plantas apenas com aplicação junto ao transplante (0 DAP) na maior dose ($2,8 \text{ L ha}^{-1}$) aplicada (Tabela 12). A massa da cabeça e produtividade foram reduzidas aos 0, 30, 60, 120 e aos 0, 30, 60 DAP, respectivamente. A produtividade foi mais influenciada pela massa média por cabeça do que pela população de plantas. Quanto às doses aplicadas aos 0 e 30 DAP, a maior dose ($2,8 \text{ L ha}^{-1}$) reduziu a massa da cabeça em relação a menor dose ($1,4 \text{ L ha}^{-1}$) em 58 e 9 % respectivamente. Aos 0 DAP reduziu a produtividade em relação a menor dose ($1,4 \text{ L ha}^{-1}$) em 59 %.

Tabela 12. Estande de plantas, massa da cabeça e produtividade do repolho em função de doses do herbicida sulfentrazone + diuron aplicados em diferentes épocas antecedendo o transplante do repolho. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Dose do sulfentrazone + diuron	Estande de plantas (plantas m linear ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	2,0 a	1,9 a	1,9 a	1,9 a	2,0 a	2,0 a

1,4 L ha ⁻¹	1,8 ab	1,8 a	1,8 a	1,8 a	2,0 a	1,9 a
2,8 L ha ⁻¹	1,5 b	1,9 a	1,8 a	1,8 a	2,0 a	2,0 a
Média	1,80	1,94	1,89	1,90	2,04	2,03
F	3,44 ^{Ns}	1,95 ^{Ns}	0,57 ^{Ns}	0,74 ^{Ns}	0,33 ^{Ns}	1,32 ^{Ns}
CV (%)	13,06	3,68	7,34	5,82	3,88	3,27
Dose do sulfentrazone + diuron	Massa da cabeça (kg cabeça ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	2,0 a	1,8 a	2,1 a	1,9 a	2,1 b	1,8 a
1,4 L ha ⁻¹	1,4 b	1,5 b	1,9 b	1,9 a	2,3 a	2,2 a
2,8 L ha ⁻¹	0,6 c	1,4 c	1,7 b	1,8 a	2,0 b	1,9 a
Média	1,37	1,61	1,94	1,95	2,16	2,02
F	46,32**	13,51**	4,86 ⁰	0,28 ^{Ns}	4,46 ⁰	3,34 ^{Ns}
CV (%)	12,21	5,44	6,84	8,89	6,37	8,77
Dose do sulfentrazone + diuron	Produtividade (t ha ⁻¹)					
	0 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150 DAP
Sem aplicação	102,2 a	88,8 a	104,2 a	97,8 a	105,7 a	97,3 a
1,4 L ha ⁻¹	65,4 b	74,5 b	88,0 b	92,5 a	120,8 a	110,3 a
2,8 L ha ⁻¹	27,0 c	71,1 b	83,1 b	87,4 a	104,6 a	98,6 a
Média	64,91	78,18	91,81	92,61	110,43	102,12
F	28,51**	8,69*	5,33*	0,84 ^{Ns}	3,27 ^{Ns}	2,07 ^{Ns}
CV (%)	18,78	7,05	9,01	10,58	7,87	8,46

^{Ns}, -, 0, *, ** - não significativo ou significativo a 25, 10, 5 e 1% pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Student Newman Keuls a 10%.

O repolho e o tomate com transplante de mudas demonstraram sensibilidade intermediária quando comparado com as demais culturas de semeadura direta. O tomate demonstrou reduções drásticas no desenvolvimento até 30 DAP e o repolho até os 60 DAP. As injúrias apareceram logo nos primeiros 7 dias, isso porque quando se usa mudas para implantar a cultura a planta é transplantada com o sistema radicular e parte aérea já formada. Os sintomas mais típicos nessas culturas foram cloroses que em alguns casos evoluíram para necrose e no caso do repolho houve morte de plantas no tempo 0 na dose 2,8 L ha⁻¹ do herbicida.

A aplicação de 96 g ha⁻¹ de diuron (10 % da dose maior no presente estudo) em pré-emergência no Tomate cv. IPA 6 provocou danos de até 100 % nas plantas (Cavalcante et al., 2018). O solo utilizado nesse trabalho possui características físicas e químicas similares ao presente estudo. As altas precipitações e altas temperaturas durante o cultivo do tomate prejudicou o desenvolvimento da cultura e impossibilitou a condução até a colheita, portanto é possível que em mesmas condições de solo, porém com clima mais favorável ao cultivo da cultura, esse herbicida se demonstre mais danoso a espécie. No tomate, foi observado injúria de 5 % após aplicação de 840 g ha⁻¹ de sulfentrazone um ano antes do transplante, porém não se observou reduções na produção da planta (Pekarek et al., 2010). Nesse mesmo trabalho foi avaliado também a cultura do repolho que sofreu redução na produtividade. O repolho se mostrou mais sensível que o tomate. Isso concorda com os resultados do atual estudo, porém

na pesquisa de Pekarek et al. (2010), as culturas se mostraram mais sensíveis. Isso pode ser efeito da dose, variedades, solo ou clima da região.

1.34 MELANCIA

A mistura sulfentrazone + diuron não interferiu na germinação da melancia cultivada em vasos (Tabela 13). Entretanto, após emergência das plantas o herbicida causou injúrias, sendo que os dados se ajustaram aos modelos de regressão exponenciais aos 7 dias após semeadura (DAS), exponencial e linear aos 14 DAS, linear aos 21 DAS e exponencial aos 28 DAS (Figura 8). Aos 28 DAS houve diferença entre doses a partir dos 90 DAP. Na menor dose (1,4 L ha⁻¹) a melancia conseguiu recuperar aos 28 dias no intervalo de 150 DAP. Porém, na maior dose (2,8 L ha⁻¹) não se observou recuperação das plantas.

Tabela 13. Germinação e Índice de velocidade de emergência (IVE) da melancia em função de diferentes épocas de aplicação e doses do herbicida sulfentrazone + diuron. Rio Paranaíba, MG, (2021).

Época	Germinação aos 11 DAS				IVE			
	sulfentrazone + diuron				sulfentrazone + diuron			
	1,4 L ha ⁻¹		2,8 L ha ⁻¹		1,4 L ha ⁻¹		2,8 L ha ⁻¹	
0 DAP	88,33	Aa	86,67	Aa	33,52	Aa	32,05	Aa
30 DAP	91,67	Aa	83,33	Aa	34,79	Aa	31,33	Aa
60 DAP	90,00	Aa	95,00	Aa	33,88	Aa	35,51	Aa
90 DAP	95,00	Aa	91,67	Aa	35,23	Aa	33,96	Aa
120 DAP	98,33	Aa	98,33	Aa	37,06	Aa	36,51	Aa
150 DAP	95,00	Aa	88,33	Aa	36,07	Aa	33,79	Aa
Sem herbicida	96,67				36,70			
Média geral	92,18				34,65			
Doses de sulfentrazone + diuron	0,75 ^{Ns}				1,26 ^{Ns}			
Épocas de aplicação	1,32 ^{Ns}				1,16 ^{Ns}			
Interação	0,46 ^{Ns}				0,41 ^{Ns}			
CV (%)	10,1				11			

^{Ns}, 0, *, ** – não significativo ou significativo a 10, 5 e 1%, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre doses do sulfentrazone + diuron e minúscula entre épocas de aplicação não diferem pelo critério de Student-Newman-Keuls (SNK) a 10%. DAP = dias antes do plantio; DAS = dias após a semeadura. Dados de germinação aos 11 DAS transformados por arcsen para atender aos pressupostos da análise de variância.

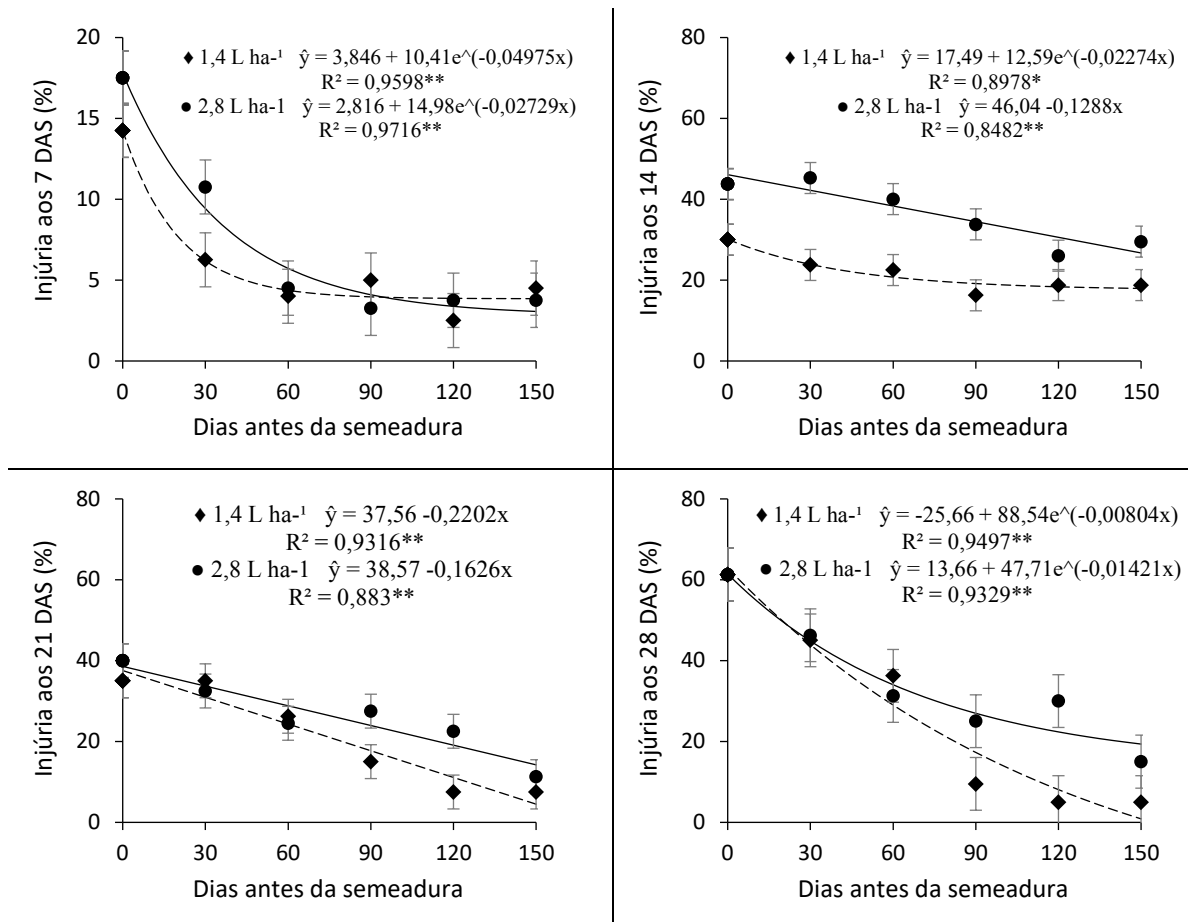


Figura 8. Injúria em plantas de melancia aos 7, 14, 21 e 28 dias após semeadura em função de diferentes épocas de aplicação e doses do herbicida sulfentrazone + diuron., Rio Paranaíba – MG (2021). Barras são referentes ao erro padrão do experimento. Gráficos gerados no excel.

A altura de plantas foi reduzida drasticamente independente da dose até os 90 DAP, aos 120 e 150 houve redução apenas na dose de 2,8 ha⁻¹ do sulfentrazone + diuron (Figura 9). O desenvolvimento da melancia (matéria seca da parte aérea) foi afetado drasticamente em qualquer época de aplicação de sulfentrazone + diuron com a maior dose (2,8 L ha⁻¹). Na menor dose (1,4 L ha⁻¹) houve redução até os 90 DAP. A mistura sulfentrazone + diuron também influenciou no crescimento de raízes, em que o crescimento foi menor em ambas as doses especialmente aos 0 DAP.

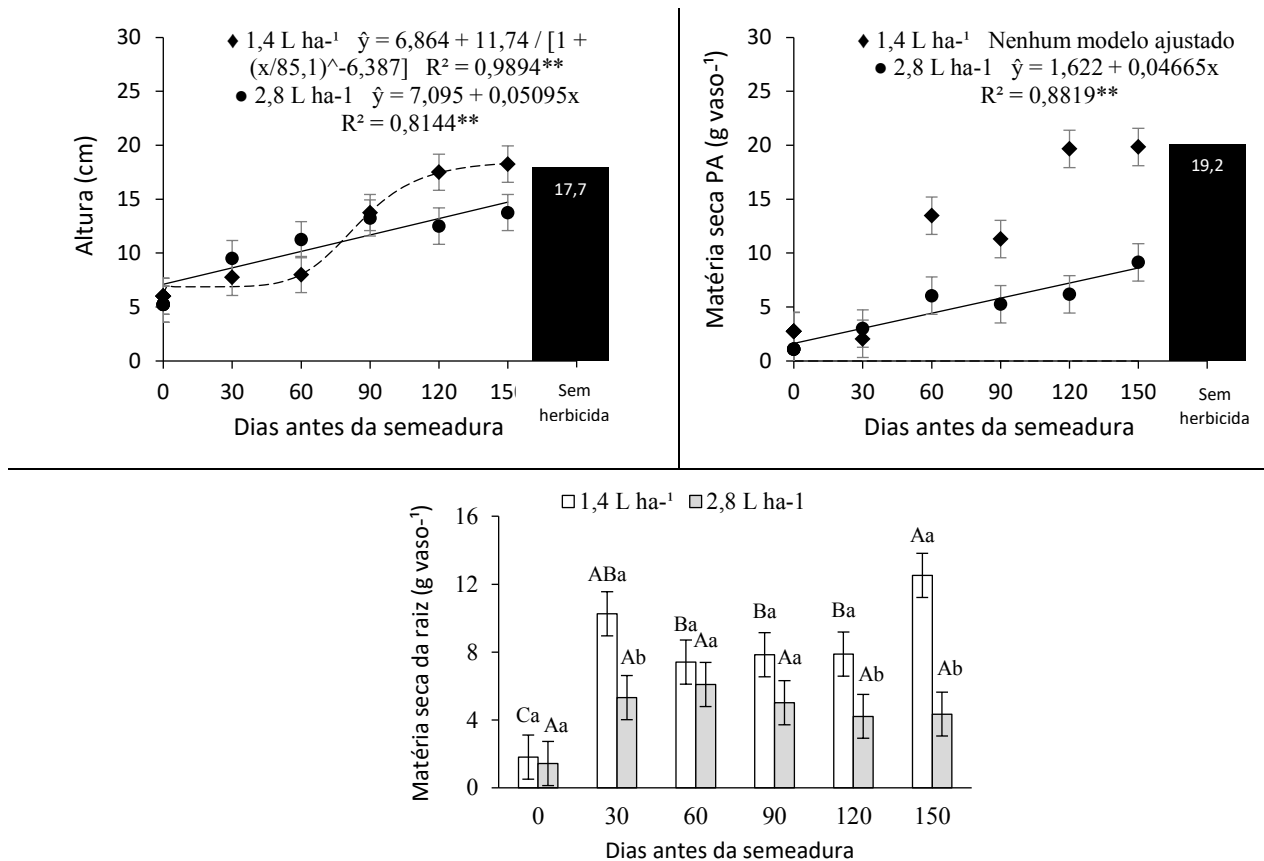


Figura 9. Altura de planta e matéria seca da parte aérea e raiz em função de diferentes épocas de aplicação e doses do herbicida sulfentrazone + diuron. Dados seguidos por uma mesma letra (maiúscula entre época) ou minúscula (entre dose) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls. Rio Paranaíba, MG, (2021).

As plantas de melancia foram extremamente afetadas pelo sulfentrazone + diuron. Os efeitos da mistura foram observados após a germinação da cultura, sendo que aos 7 DAS já foi possível observar injúrias próximas de 20 % na dose 2,8 L ha⁻¹ no menor intervalo. Aos 28 DAS, o percentual de injúrias chegou a 60 % independente da dose no tempo 0 DAP. Na maior dose (2,8 L ha⁻¹) se observou injúrias mesmo no tempo de 150 dias. De maneira similar, a altura e matéria seca da parte aérea sofreu danos significativos até o maior intervalo na maior dose (2,8 L ha⁻¹) aplicada. As raízes também foram afetadas no tempo 0 independente da dose. Isso pode ser devido à drástica redução na fotossíntese e estresse provocados por espécies reativas de oxigênio, pois ambos os ingredientes ativos não possuem ação direta nas raízes, porém seus danos na parte aérea podem influenciar drasticamente o desenvolvimento radicular (Rodrigues & Almeida, 2018).

A melancia, como outras cucurbitáceas, semeada após a soja é extremamente propensa a ocorrer o fenômeno de *carryover*. A espécie sofreu danos na parte aérea e raiz com aplicações

de herbicidas comuns ao cultivo da soja (metribuzin e diclosulam) de até 12,5 % da dose usual em pré-emergência (Ribeiro et al., 2019). O melão sofreu danos significativos do sulfentrazone na dose de 500 g ha⁻¹ e morte total das plantas com aplicação 3,2 L ha⁻¹ de diuron com aplicação imediatamente antes ao plantio (Silva, 2019). Isso demonstra sensibilidade das curcubitáceas a esses herbicidas. Com aplicação da metade das doses do trabalho de Silva, Bandeira et al. (2017) também observaram morte do melão amarelo utilizando-se o diuron e danos significativos pelo sulfentrazone. Apesar desses experimentos a aplicação ocorrer imediatamente antes do plantio, no presente estudo existe o efeito da mistura dos dois ingredientes ativos que pode potencializar a ação fitotóxica. Diferentemente da cebola e beterraba, a melancia não teve germinação reduzida pelo sulfentrazone + diuron, isso pode ser reflexo da maior quantidade de reservas na semente da cucurbitácea.

De maneira geral, esperava-se maiores danos do herbicida nas culturas testadas. O solo utilizado possui CTC próximo de 8, e textura argilosa. Isso favorece a retenção de herbicida nos coloides do solo e menor biodisponibilidade da molécula, especialmente o diuron que possui maior retenção (Koc de 300 g L⁻¹) em relação ao sulfentrazone (Koc de 43 g L⁻¹). (University of Hertfordshire, 2021). Além disso o pH nesse solo durante a condução do experimento foi de 5,8 (Tabela 1). Com o aumento do pH as moléculas de sulfentrazone estão predominantemente na ionizável (carga negativa) e conseqüentemente sofrem maior repulsa do solo que possui predominância de cargas negativas. Quando o pH é baixo (ácido) o herbicida tende a ficar na forma neutra e conseqüentemente sofre maior adsorção nos coloides do solo (Spadotto et al., 2005). Já o diuron possui maior influência da matéria orgânica do solo e o aumento do pH em alguns casos pode até aumentar a adsorção nos coloides do solo devido a liberação de sítios de adsorção na CTC e ou precipitação da molécula com Ca²⁺ e Mg²⁺ (Chagas, 2017).

Durante o intervalo da aplicação e o plantio das culturas, houve precipitação próximo a 300 mm (Figura 1). Durante os primeiros três meses do cultivo houve precipitações intensas com chuvas de 120 mm em um dia que somaram ao todo mais de 600 mm. Isso favorece os processos de lixiviação mesmo em um solo de textura argilosa, principalmente em herbicidas mais móveis, como o sulfentrazone (Matos, 2018). Provavelmente, em um ano com menor precipitação, menor quantidade do herbicida teria sido lixiviado e conseqüentemente maiores danos seriam observados nas culturas.

1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Geralmente, em cultivos de olerícolas o preparo de solo é intenso. Isso pode aumentar o contato da molécula com o solo e influenciar a sorção de herbicidas no solo, reduzindo a lixiviação e disponibilidade da molécula na solução do solo (Ferri et al., 2003). Nesse trabalho, nas culturas da beterraba, cebola, cenoura, tomate e repolho o solo foi revolvido mecanicamente com uso de enxada rotativa. Isso favorece a sorção de ambos os herbicidas, especialmente o diuron que é menos móvel justificando a menor ocorrência de injúria em comparação a dados da literatura.

Na região do Cerrado, o sulfentrazone + diuron é aplicado após a semeadura da soja, que ocorre entre outubro e novembro. As olerícolas, portanto, geralmente serão plantadas entre março e maio considerando um ciclo de 110 a 130 dias da cultura da soja mais um período de preparo de solo para cultivo das plantas. A partir dos resultados desse trabalho é possível inferir que a beterraba, melancia e cebola pode sofrer danos nesse esquema de sucessão de culturas. As culturas do tomate, repolho e cenoura deve se fazer ponderações a respeito da precipitação, tipo de solo, temperatura para qualquer tomada de decisão, porém com um intervalo mínimo de 120 dias é possível que a sucessão ocorra com sucesso. A batata se demonstrou bastante tolerante independente de época ou dose aplicada, portanto sugere-se avaliar a possibilidade de uso do sulfentrazone + diuron, como herbicida na cultura da batata.

1.5 CONCLUSÕES

A mistura sulfentrazone mais diuron não oferece risco de *carryover* na cultura da batata. Na cultura do tomate, cenoura e repolho intervalo mínimo de 120 dias entre a aplicação e cultivo das olerícolas possui baixa possibilidade de *carryover*. Na cultura da melancia, cebola e beterraba, o intervalo de 150 dias ainda pode oferecer risco de *carryover*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alletto, L., Benoit, P., Bolognesi, B., Couffignal, M., Bergheaud, V., Dumény, V., Barriuso, E. Sorption and mineralisation of S-metolachlor in soils from fields cultivated with different conservation tillage systems. **Soil and Tillage Research**, 128, 97-103, 2013.

Alonso, D. G., Oliveira Júnior, R. S., & Constantin, J. Potencial de carryover de herbicidas com atividade residual usados em manejo outonal. **Buva: Fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba: Omnipax, 91-104, 2013.

Bailey, W. A., Hatzios, K. K., Bradley, K. W., & Wilson, H. P. Absorption, translocation, and metabolism of sulfentrazone in potato and selected weed species. **Weed science**, 51(1), 32-36. 2003.

Bandeira, J. N., de Freitas, C. D. M., de Paiva Pamplona, J., das Chagas, P. S. F., & Silva, D. V. Efeitos da aplicação de herbicidas em pré-transplante no crescimento inicial de plantas de melão amarelo, **II COINTER, UFRSA**, 2017.

Blanco, F. M. G. Persistência do herbicida sulfentrazone em solos cultivados com cana-de-açúcar e soja e seu efeito em culturas sucedâneas, 2002.

Blanco, F. M. G. Velini, E. D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 693-700, 2005.

Brum, C. S., Franco, A. A., & Scorza Júnior, R. P. Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17(5), 558-564, 2013.

Carvalho, A.M.X.; Mendes, F.Q.; Mendes, F.Q.; Tavares, L.F. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 20(3): e327420312, 2020.

Cavalcante, J. K. G., Mendes, K. F., Inoue, M. H., dos Santos, P. R. J., da Silva Fonseca, A. P., & Franco, E. L. P. Eficácia e seletividade do metribuzin e diuron em pré-transplante do tomate sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 17(4), 615-1, 2018.

Chagas, P. S. F. (2017). Influência dos atributos do solo nos processos de retenção do herbicida diuron, **Dissertação de mestrado, Ufersa**, Mossoró, 2017.

Christoffoleti, P. J., Montezuma, M. C., Galli, A. J., Sperandio, P. H., Moreira, M. S., & Nicolai, M. Herbicidas alternativos para o controle de biótipos de buva (*C. bonariensis* e *C. canadensis*) supostamente resistentes ao herbicida glyphosate. **In congresso brasileiro de ciência das plantas daninhas** (Vol. 25, p. 553). Londrina: SBCPD, 2006.

Correia, N. M., & Carvalho, A. D. F. D. Seletividade do herbicida metribuzin para cenoura quando pulverizado em pós-emergência. **Revista Ceres**, 65(4), 314-320, 2018.

Correia, N. M., & Carvalho, A. D. Seletividade de herbicidas para a cultura da batata. **Horticultura Brasileira**, 37(3), 302-308, 2019.

Correia, N. M., & de Carvalho, A. D. F. Selectivity of the herbicide linuron sprayed in pre-emergence and post-early in carrot. **Semina: Ciências Agrárias**, 38(3), 1201-1208, 2017.

Darren E. Robinson "Atrazine Accentuates Carryover Injury from Mesotrione in Vegetable Crops," **Weed Technology** 22 (4), 641-645, 2008.

Dayan F. E & Dayan E. **Porphyryns: One Ring in the Colors of Life American Scientist**, 99, pp. 236 – 243, 2011.

Felipe, José Munhoz; Martins, Dagoberto; Costa, Neumárcio Vilanova da. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência sobre cultivares de batata. *Bragantia*. **Instituto Agrônomo de Campinas**, v. 65, n. 4, p. 615-621, 2006.

Ferri, M. V. W., Vidal, R. A., Fleck, N. G., Cassol, E. A., & Gomes, P. A. Lixiviação do herbicida acetoclor em solo submetido à semeadura direta e ao preparo convencional. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, 13, 2003.

Gheno, E. A., de Oliveira Jr, R. S., Constantin, J., Fernando, D. (2015). Carryover of herbicides applied in the pre-emergence of cotton on the corn grown in succession1. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 14(2), 155-163, 2015.

Guimarães, F. A. R. Efeito residual de herbicidas no cultivo de hortaliças, 2017.

Inoue, M.H.; Oliveira JR., R.S.; Regitano, J.B.; Tormena, C.A.; Constantin, J.; Tornisiolo, V.L. Sorption-desorption of atrazine and diuron in soils from southern Brazil. *Journal Environmental Science and Health - Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, v.41, n.5, p.605-621, 2006.

Liu, K., He, Y., Xu, S., Hu, L., Luo, K., Liu, X., Bai, L. Mechanism of the effect of pH and biochar on the phytotoxicity of the weak acid herbicides imazethapyr and 2, 4-D in soil to rice (*Oryza sativa*) and estimation by chemical methods. **Ecotoxicology and environmental safety**, 161, 602-609, 2018.

Long, Y., Li, R., Wu, X. Degradation of S-metolachlor in soil as affected by environmental factors. *J. Soil Science Plant Nutrition*. 14, 189e198, 2014.

Lourenço, R. C., & Carvalho, S. J. Persistência de sulfentrazone em solo seco estimada por bioindicadores. **In 6ª Jornada Científica e Tecnológica 3º Simpósio da Pós-Graduação do ifsuldeminas**, 2014.

Mancuso, M. A. C., Negrisoli, E., Perim, L. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Revista Brasileira de Herbicidas**, 10(2), 151-164, 2011.

Martinez, C. O., Silva, C. M. M., Fay, E. F., Maia, A. D. H. N., Abakerli, R. B., Durrant, L. R. Degradation of the herbicide sulfentrazone in a Brazilian Typic Hapludox soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 40(4), 879-886, 2008.

Matos, A. K. A. D. Uniformidade na deposição e dinâmica de formulações de diuron e sulfentrazone em solo, palha e plantas de cana-de-açúcar, **Tese de doutorado**. Unesp, Botucatu, 2018.

Monquero, P. A., Silva, P. V., Silva Hirata, A. C., Tablas, D. C., & Orzari, I. (2010). Lixiviação e persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic. **Planta daninha**, 28(1), 185-195, 2010.

Oliveira, M. F. D., Ferreira, L. R., Sedyama, T., & Magalhães, J. G. Efeito do eptc+ r 25788 em combinação com o diuron no controle de plantas daninhas e seletividade para a cultura da batata-doce. **Planta Daninha**, 15(2), 198-205, 1997.

Pekarek, R.A.; Garvey, P.V.; Monks, D.W.; Jennings, K.M.; Macrae, A.W. Sulfentrazone carryover to vegetables and cotton. **Weed Technology**, v.24, n.1, p.20-24, 2010.

Ribeiro, S. S. R., Leal, J. F. L., Souza, S. A., Borella, J., Carvalho, G. S., Pereira, C. V. L., & Pinho, C. F. Sensibilidade da melancia ao residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 18(2), 669-1, 2019.

Rocha, P. R. R. Sorção, dessorção, lixiviação e meia-vida do diuron em quatro latossolos brasileiros, Tese de doutorado, **Universidade Federal de Viçosa**, 2011.

Rocha, P. R. R., Faria, A. T., Silva, G. S. D., Queiroz, M. E. L. R. D., Guimarães, F. C. N., Tironi, S. P., Silva, A. A. D. Meia-vida do diuron em solos com diferentes atributos físicos e químicos. **Ciência Rural**, 2013.

Rocha, W.S.D. Sorção de 2,4-D e diuron nos agregados organominerais de Latossolos em função dos conteúdos de matéria orgânica e de água. 2003. 75f. **Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, 2003.

Rodrigues, B. N., & Almeida, F. L. S. **Guia de herbicidas**. 7. ed. Londrina: Edição dos autores. 764 p., 2018.

Rodrigues, N. R., Andrietta, M. G. S., Andrietta, S. R., & Santos, P. E. R. Diclosulam Biodegradation by Bacteria Isolated From Soybean Cultivated Soils. **Planta Daninha**, 310 p., 2010.

Silva, A. A.; Silva J. F. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 367 p., 2007.

Silva, I. B. M. Efeitos da aplicação de herbicidas em pré-emergência no crescimento inicial da cultura do melão. **Trabalho de conclusão de curso, Ufersa**, Mossoró, 2019.

Singh, S., & Tiwari, S. Responses of plants to herbicides: Recent advances and future prospectives. In **Plant Life Under Changing Environment** (pp. 237-250). Academic Press, 2020.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: **SBCPD**, 1995.

Spadotto, C. A., Hornsby, A. G., Gomes, M. A. Sorption and leaching potential of acidic herbicides in Brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health**, Part B, 40(1), 29-37, 2005.

Theodoridis, G., Baum, J. S., Hotzman, F. W., Manfredi, M. C., Maravetz, L. L., Lyga, J. W., ... & Wyle, M. J. Synthesis and herbicidal properties of aryltriazolinones: a new class of pre-and postemergence herbicides, **Synthesis and Chemistry of Agrochemicals III**. ACS Symposium Series 504, 1992.

Tonks, D. J., Hutchinson, P. J. S., Ransom, C. V., Boydston, R. A., & Ross, C. G. Pacific Northwest potato tolerance and varietal response to sulfentrazone. In Western Society. of **Weed Science** (Vol. 54, p. 43), 2001.

Walperes, K. C., Reis, M. R., Carneiro, G. D. O. P., Rocha, B. H., Dias, R. C., Melo, C. A. D., & Gonçalves, C. G. Residual effect of metribuzin in the soil on the growth of garlic, onion and beans. **Revista Brasileira de Herbicida**, 14(1), 64-72, 2015.

University of Herdfortshire. **Pesticide Properties Database**. Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/index2.htm>> . Acesso em: 4 out. 2020.

2. CAPÍTULO II – CONSÓRCIO DE MICRORGANISMOS PARA A REMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM A MISTURA FORMULADA DE SULFENTRAZONE E DIURON

RESUMO

O *carryover* de herbicidas é um problema comumente enfrentado pelos produtores. A mistura comercial contendo sulfentrazone + diuron foi lançada recentemente para controle de plantas daninhas na soja. Porém devido as características desses herbicidas eles possuem atividade residual no solo e podem afetar culturas cultivadas em sucessão a soja. Uma estratégia promissora para mitigar o *carryover* é o uso de microrganismos para desintoxicação desses solos. O uso de microrganismos para degradação de moléculas no solo é chamado de biorremediação. Portanto se faz necessário estudar estratégias para mitigar os efeitos nocivos dessas moléculas nas culturas como, por exemplo, o uso da biorremediação. O experimento foi realizado a campo em fatorial duplo (2 x 6), presença e ausência de sulfentrazone + diuron, e seis estratégias de biorremediação, T1 - Sem aplicação de microrganismos; T2 - Bacillus ((Serenade (4 L ha⁻¹) + Quartzo (0,3 kg ha⁻¹) + Ecoshot (4 L ha⁻¹)); T3 - Fungos (Boveril 2 kg ha⁻¹ + Trichodermil 2,5 L ha⁻¹); T4 – Bacillus + Fungos; T5 – Bacillus + Fungos + Soja; T6 - soja). Foi utilizada como planta teste a beterraba, que foi semeada 60 dias após aplicação dos tratamentos. As avaliações consistiram em injúria aos 14 e 21 DAS, matéria fresca e seca aos 28 DAS. Na presença dos herbicidas, a aplicação de microrganismos ou apenas o cultivo da soja, reduziu a injúria da beterraba. tanto aos 14 DAS quanto aos 21 DAS. A matéria fresca foi aumentada com a aplicação do tratamento contendo apenas *Bacillus*, e a matéria seca com o tratamento contendo apenas fungo. Não houve resposta a nenhum tratamento quando não havia residual do sulfentrazone mais diuron. Não houve interação positiva entre mistura de fungos com bactérias ou com a soja. A prática de biorremediação se demonstrou ser uma alternativa para mitigação dos danos causados pelo residual de herbicidas no solo.

Palavras-chave: Sulfentrazone. Diuron. Biorremediação. *Carryover*.

2.1 INTRODUÇÃO

O *carryover* é o fenômeno de contaminação do solo com herbicida que afetam negativamente as culturas cultivadas em sucessão da aplicação na cultura anterior (Mancuso et al., 2011; Mendes et al., 2017). Dentre os vários herbicidas com potencial de *carryover*, tem-se a mistura comercial Stone[®] (sulfentrazone + diuron), lançada no ano de 2018 para controle de plantas daninhas na cultura da soja e cana-de-açúcar no Brasil. As principais características dessa mistura são amplo espectro de controle, envolvendo folhas largas e estreitas de difícil controle e alta atividade residual (FMC, 2020), porém as características de alto residual são as mesmas que conferem potencial de *carryover*.

Uma estratégia promissora para mitigar o *carryover* é o uso de microrganismos para degradação dos herbicidas nos solos denominado de biorremediação (Tomassoni et al., 2014). Os três tipos principais de biorremediação são: biorremediação aeróbica, que é quando o microrganismo usa a molécula como fonte de carbono e o oxigênio comoceptor final de elétrons; biorremediação anaeróbica, quando os microrganismos utilizam outros compostos como fonte de carbono e liberam compostos iônicos que se ligam a molécula de interesse inativando-a; iorremediação co-metabólica que consiste na liberação de enzimas que degradam a molécula de interesse (Andrade et al., 2010).

Várias espécies de microrganismos já foram isoladas com eficiência comprovada para diferentes grupos de herbicidas (Xin et al., 2020; Lozowicka et al, 2021). A maior parte dos estudos demonstram maior habilidade das bactérias na degradação do herbicida, e existe especificidade entre espécie do organismo degradador e da molécula (Huang et al., 2017).

O trabalho de Rodrigues et al. (2010) foi estudado algumas espécies de bactérias comuns aos solos cultivados com soja e comprovou que a *Klebsiella* sp. possui eficiência na degradação do diclosulam e possui potencial para produção em grande escala. Haiyan Ni et al. (2016) demonstraram que a bactéria *Bacillus subtilis* Y3 cresceu e desenvolveu com a presença do pendimethalin e reduz sua concentração no meio que estão inseridos. Silva (2015) observou a degradação de 12 a 43 % do diuron utilizando estirpes de *Trichoderma harzianum* e outras espécies desse gênero. Essa espécie em específico é usada para controle de fungos de solo e já possui marcas comerciais, o que facilita o uso em larga escala. Para isso, é interessante avaliar

a efetividade das estirpes comerciais com potencial de aplicação no curto prazo em relação às estirpes isoladas do ambiente. Martinez et al. (2008) identificou um grupo de microrganismos (*Rhizobium radiobacter*, *Ralstonia pickettii*, *Methylobacterium radiotolerans*, *Cladosporium* sp., *Eupenicillium* sp. e *Paecilomyces* sp.) com potencial de degradação do sulfentrazone.

Para alguns herbicidas, várias espécies podem interagir entre si na degradação do herbicida. Uma via de degradação da atrazine é composta por oito microrganismos (*Agrobacterium tumefaciens*, *Caulobacter crescentus*, *Pseudomonas putida*, *Sphingomonas yaniokuyae*, *Nocardia* sp., *Rhizobium* sp., *Flavobacterium oryzihabitans* e *Variovorax paradoxus*), sendo que cada espécie atua em uma reação para degradação da molécula (Smith et al., 2005). Outro exemplo de degradação cooperativa é o acetochlor que possui três bactérias em seu modelo de catabolismo (Dong et al., 2014). Da mesma forma Devers-Lamrani et al. (2014), encontraram três cepas bacterianas do gênero *Arthrobacter* capazes de transformar o diuron em 3,4 dicloroanilina. Seguindo essa linha de uso de um consórcio de microrganismos, Silva-Rovida et al. (2019) testaram várias bactérias para degradação da sulfentrazone e concluíram que o único isolado capaz de demonstrar degradação mensurável foi o *Bacillus megaterium* S35. Entretanto, o consórcio de várias linhagens de bactérias degradou cerca de 50 % do sulfentrazone. Além da cooperação, diferentes cepas ou espécies podem conferir maior resiliência às variações ambientais e consequentemente garantir a degradação do herbicida.

A maior parte dos estudos foram em *in vitro* ou em casa de vegetação, portanto, se faz necessário estudar estratégias para mitigar os efeitos nocivos dessas moléculas nas culturas no campo como, por exemplo, o uso da biorremediação. Dessa forma, objetivou-se neste trabalho avaliar consórcios de microrganismos na remediação de solos contaminados com sulfentrazone + diuron na cultura da beterraba.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo na Estação experimental do Instituto de Pesquisa Agrícola do Cerrado (IPACER). O solo utilizado é um Latossolo Vermelho Amarelo com textura argilosa (Tabela 1). O clima da região é caracterizado como Cwa de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, e o solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. A altitude do local é próxima a 1100 m. As condições climáticas no qual o experimento foi conduzido estão descritas na Figura 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo da área. Rio Paranaíba, MG

pH	P(melh)	P(rem)	S-SO ₄	K	Ca	Mg	Al	H+ Al	M.O	C.O	SB	t	T	V	m
mg/dm ³			cmolc/dm ³				g/dm ³		cmolc/dm ³		%				
6,2	2,7	15,0	29,0	36	3,8	1,2	0,0	2,3	35	20,2	4,2	4,2	6,5	63	0
			B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte		Argila				
			mg/dm ³												
			0,3	3,1	74	30,6	0,9	23	15		62				

M.O – Matéria orgânica; melh – melhich; rem – remanescente, C.O – Carbono orgânico; SB – Soma de bases; t – CTC efetiva; T – CTC total; V – Saturação por bases; m – saturação por alumínio.

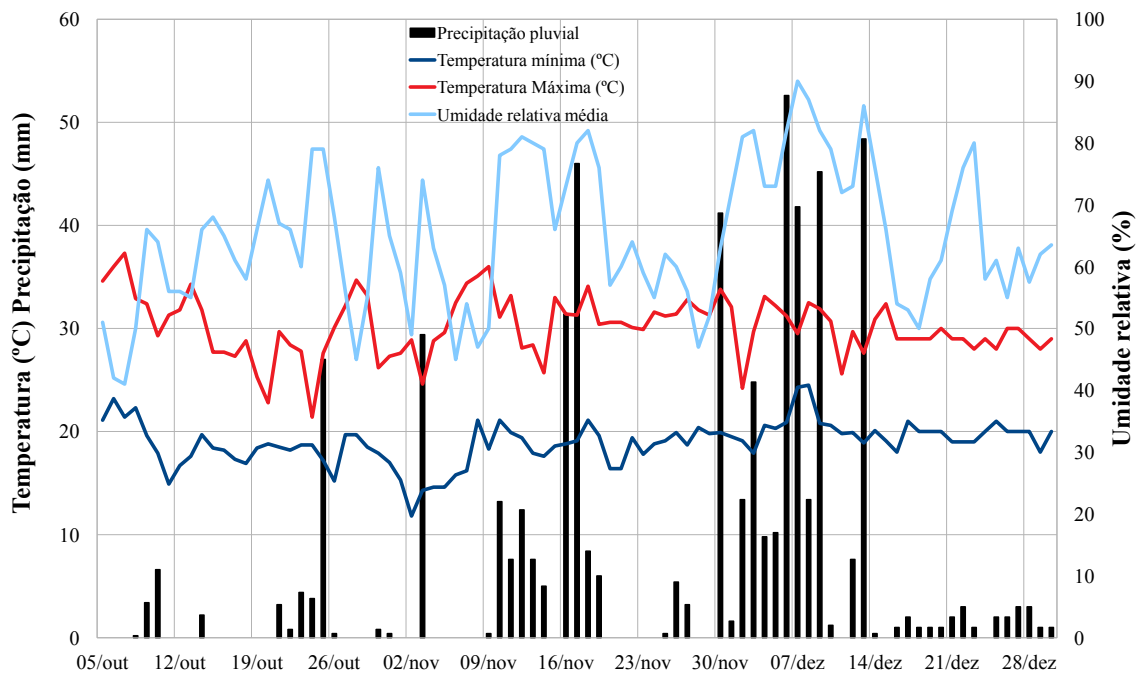


Figura 1. Condições climáticas ocorridas durante condução do experimento no ano de 2020.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial com quatro repetições. Sendo um fator as doses do herbicida sulfentrazone + diuron (0; 0,4 L ha⁻¹) e o outro fator a aplicação de consórcios de microrganismos. Foram seis tratamentos, sendo uma testemunha sem aplicação, uma testemunha apenas com cultivo da soja e quatro com aplicações de produtos comerciais (T1 - Sem aplicação de microrganismos; T2 - *Bacillus* ((Serenade (4 L ha⁻¹) + Quartzo (0,3 kg ha⁻¹) + Eco-shot (4 L ha⁻¹)); T3 - Fungos (Boveril 2 kg ha⁻¹ + Trichodermil 2,5 L ha⁻¹); T4 – *Bacillus* (T2) + Fungos (T3); T5 – *Bacillus* (T2) + Fungos (T3) + Soja; T6 - soja). No T5, adicionalmente as aplicações de microrganismos foi cultivado a soja como hipótese de fitorremediação, e no T6 apenas o cultivo da soja para isolar o efeito dos dois fenômenos (fitorremediação e biorremediação). O serenade é composto por *Bacillus subtilis* (QST 713); Quartzo por *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis*; Eco-

shot por *Bacillus amyloliquefaciens* (D-747). O Boveril é composto por *Beauveria bassiana* (PL 63) e o Trichodermil composto por *Trichoderma harzianum* (ESALQ-1306)

Os microrganismos foram aplicados em solo sem cobertura com preparo convencional para cultivo da beterraba no dia 05/10/2020. Logo após a aplicação, o solo foi revolvido mecanicamente com enxada rotativa para incorporação dos microrganismos na camada de 0-20 cm do solo. Após 60 dias da aplicação foi realizada a semeadura da beterraba (05/12/2020) como espécie bioindicadora. Para manutenção da área limpa até semeadura da beterraba foi realizado catação manual dos matos. Como fonte de carbono foi aplicado melaço uma vez por semana na dose de 10 kg ha⁻¹ e a área irrigada para manutenção de umidade e condições de desenvolvimento dos microrganismos. Foi utilizado o melaço (30 % carbono, 3 % de N; 0,12 % P₂O₅; 3 % K₂O, 0,4 % Mg) por ser uma fonte comum, barata e que possui complexos orgânicos que possibilita uma liberação mais gradual que em comparação com açúcar por exemplo. Além disso ele possui capacidade de aprimorar o processo cometabólico para degradação dos herbicidas (Kao et al., 2004). Para aplicação do herbicida e dos microrganismos foi utilizado pulverizador a CO₂ com pressão constante de 3 bar e vazão de 250 L ha⁻¹. Cada parcela foi constituída 2 m de canteiro de comprimento por 1,8 ms de largura, na qual foram semeadas quatro linhas de beterraba no sentido transversal do centro do canteiro.

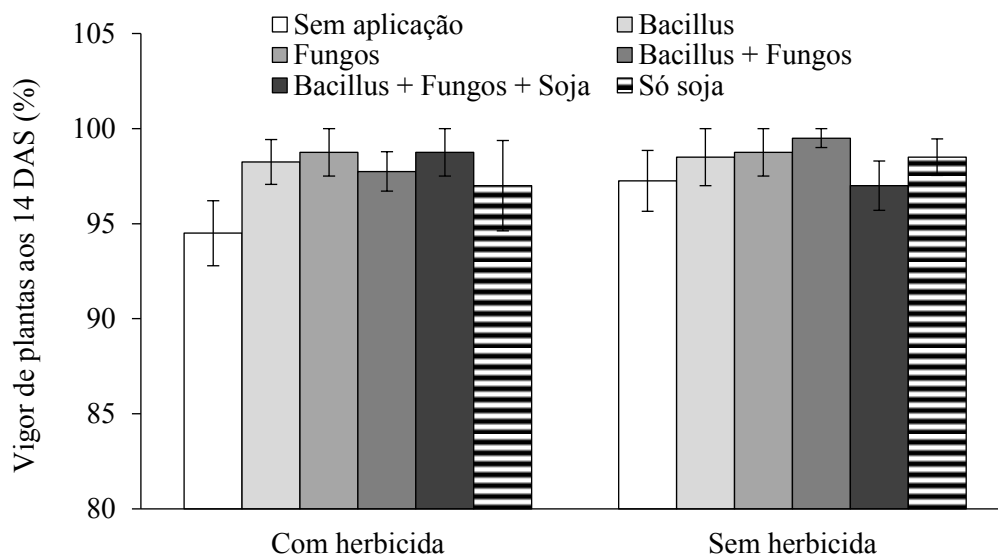
Nas duas linhas centrais foram avaliadas as injúrias aos 14 e 21 dias após semeadura (DAS) com notas de 0 a 100%, em que 0 correspondeu a nenhuma injúria e 100% à morte total das plantas. Aos 28 DAS, mensurou as matérias seca e fresca da parte aérea das plantas. Para determinação da matéria fresca e seca foram coletadas e pesadas e foram secadas em estufa com ventilação de ar quente forçada por 72 h a 72 °C, ambas pesadas em balança analítica.

2.21 Análises estatísticas

Para análises estatísticas inicialmente os dados foram submetidos à verificação da normalidade e homogeneidade das variâncias. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos microrganismos e doses de sulfentrazone + diuron foram comparadas pelo teste Student Newman-Keuls (SNK) a 5 % de significância.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre os fatores (Figura 2). As plantas de beterraba apresentaram menor vigor com a presença do herbicida (Figura 4). Aos 14 e 21 dias após semeadura (DAS) o vigor foi menor onde não houve aplicação de microrganismos na presença do herbicida. A maior resiliência da espécie bioindicadora na situação de estresse (herbicidas) pode ser em função da degradação dos ingredientes ativos ou promoção de crescimento da planta pelos microrganismos. A degradação do diuron por fungos é documentada (Singh & Singh, 2016) e dentre os fungos citados, a *Beauveria bassiana* possibilitou degradação de 50% da molécula (Bogaerts et al., 2000). A inativação da atividade biológica se dá pela remoção do um grupamento N-metil do diuron e formação de dois metabólitos N-(3,4-dichlorophenyl) -N-methylurea e N-3, 4-dichlorophenylurea, tal processo ocorre geralmente em condições aeróbicas (Dalton et al., 1966, Moretto et al., 2019). Martinez et al. (2008) encontraram um grupo de microrganismos capazes de degradar o sulfentrazone, dentre eles havia bactérias e fungos, demonstrando potencial de ambos os grupos, corroborando com os resultados do presente trabalho. A utilização de várias cepas de *Bacillus* se demonstra uma boa estratégia em detrimento ao uso de única e uma linhagem (Silva-Rovida et al., 2019). Em meio líquido bactérias do gênero *Bacillus* foram capazes de degradar 68% do diuron (EGEA, 2014). Ambos os estudos obtiveram sucesso com uso de consórcios com mais de uma linhagem, assim como no presente estudo. A utilização de mais de um microrganismo pode aumentar o modo de ação, tolerância às variações climáticas, principalmente, temperatura e umidade do solo, favorecendo a degradação da molécula.



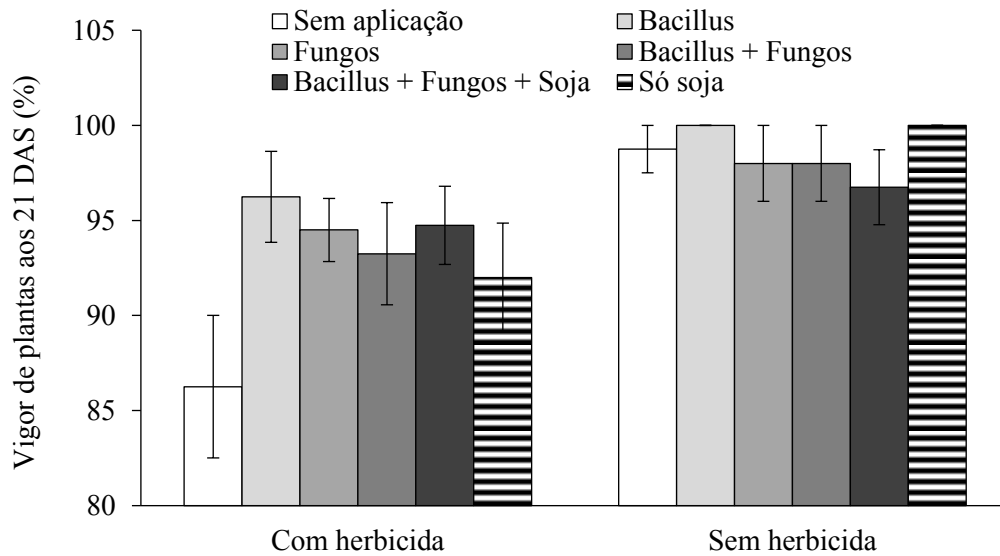


Figura 2. Vigor de plantas de beterraba aos 14 e 21 DAS em função da aplicação ou não de herbicidas com diferentes estratégias de biorremediação - Bacillus: *Bacillus subtilis* (QST 713); *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis*; Fungos *Beauveria bassiana* (PL 63) *Trichoderma harzianum* (ESALQ-1306). Rio Paranaíba, MG (2021).

Outra forma de remediar solos contaminados com herbicida é por meio do uso de plantas fitorremediadoras. Belo et al. (2016) constatou potencial do uso das espécies *Canavalia ensiformis* e *Crotalaria juncea* na degradação do sulfentrazone. Nesse sentido, o tratamento apenas com cultivo da soja antes da instalação da beterraba reduziu as injúrias do sulfentrazone + diuron em relação à testemunha, porém, apresentou menor vigor quando comparado à aplicação somente de *Bacillus* aos 21 DAS. A associação de microrganismos com plantas fitorremediadoras pode ser uma alternativa importante para estratégia de descontaminação dos solos. A simbiose entre as duas estratégias pode funcionar em alguns casos, como por exemplo, o uso de *Canavalia ensiformis* e inoculação de *Bradyrhizobium* p. BR 2003 (SEMIA 6156), porém, essa relação é dependente de espécies (Mielke et al., 2020).

Além da degradação de herbicidas, os microrganismos aplicados podem influenciar no controle de patógenos de solos ou produzindo substâncias fitoestimuladoras, como por exemplo auxinas (Berg, 2009). Essas interações podem beneficiar o crescimento radicular, como é o caso de espécies de *Trichoderma* spp. que alteram positivamente o crescimento e morfologia de raízes de arroz (Rêgo et al., 2014). A bactéria *Bacillus amyloliquefaciens* possui capacidade de colonizar a rizosfera da planta hospedeira e aumentar germinação de sementes e maior crescimento de plântulas de beterraba (Gowtham et al., 2018).

Quanto a matéria fresca, apenas a aplicação de *Bacillus* isolada foi superior ao tratamento sem aplicação quando havia o estresse do herbicida (Figura 3). Em solos sem resíduos dos herbicidas não houve benefício com a aplicação de microrganismos. Já na matéria seca apenas a aplicação isolada de fungos foi superior a testemunha na mesma situação. Sem a presença do herbicida também não houve diferença com aplicação dos tratamentos biológicos. Isso significa que a diferença encontrada se deve à degradação dos ingredientes ativos e não à promoção de crescimento das plantas pelos microrganismos. A aplicação de microrganismos e uso da soja como fator de fitorremediação não promoveu incrementos na matéria seca e fresca de plantas em comparação com a utilização dos microrganismos isolados. Tal fato, pode ser devido à ausência de simbiose entre as espécies utilizadas ou até mesmo competição pelos escassos recursos de crescimentos no solo como o N e P, por exemplo.

Vários fatores influenciam na taxa de crescimento dos microrganismos no solo e, conseqüentemente, na degradação dos ingredientes ativos. Geralmente, temperaturas entre 25 e 30°C favorecem o desenvolvimento desses microrganismos, sendo que temperaturas mais amenas favorecem fungos e mais altas bactérias (Pietikainen et al., 2005). A umidade é outro fator importante, Wu et al., (2017) observaram maior degradação do imazethapyr com umidade próximo a 50% da capacidade máxima de retenção de água. Portanto, para uso da tecnologia de biorremediação deve-se ficar atento a esses fatores. No presente estudo, essas condições se encontraram próximo aos limites ótimos de temperatura (Figura 1) e umidade do solo – irrigações frequentes, que pode ter favorecido o desenvolvimento dos microrganismos, culminando na competição entre fungos e bactéria justificando a ausência de resposta positiva da mistura de fungos com bactérias ou associação com a soja. Quando se aplica uma maior variedade de espécies, a estratégia confere maior resiliência diante de intempéries climáticas. Porém, quando não há variações extremas a mistura pode não promover ganhos como nesse estudo. O uso de uma espécie vegetal em conjunto com os microrganismos apresenta dois aspectos interessantes; manter a temperatura do solo mais amena e ser fonte de carbono para os microrganismos (Mielke et al., 2020). Como foi aplicado melão uma vez por semana antes do cultivo da beterraba, e as condições climáticas se mantiveram dentro do padrão, portanto, não foi possível observar respostas positivas com o uso somente da soja.

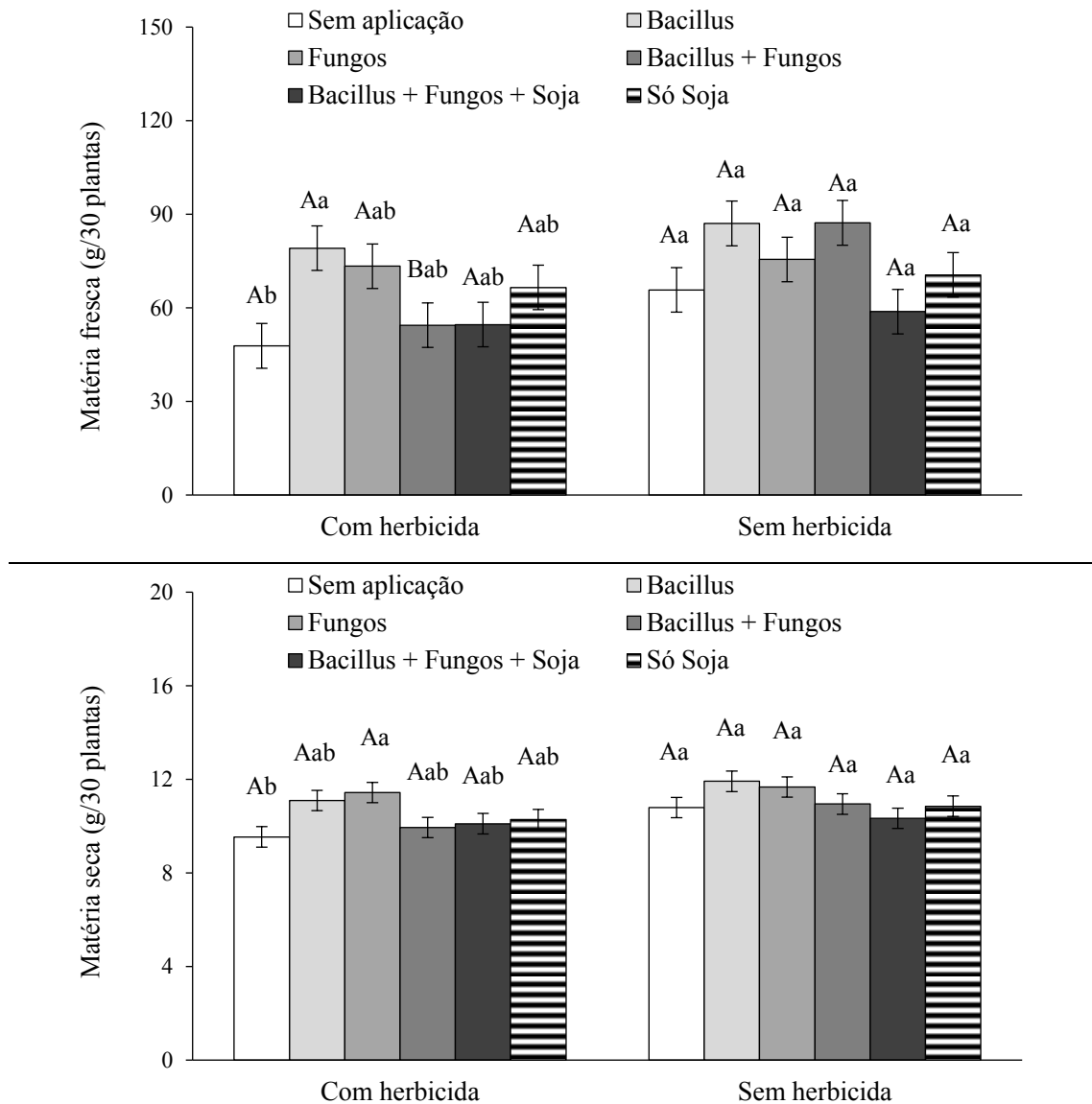


Figura 3. Matéria fresca e seca da beterraba em função da aplicação ou não de herbicidas com diferentes estratégias de biorremediação. Letras semelhantes minúsculas entre estratégias de biorremediação e maiúsculas entre aplicação ou não de herbicida não diferem entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. Bacillus: *Bacillus subtilis* (QST 713); *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis*; Fungos *Beauveria bassiana* (PL 63) *Trichoderma harzianum* (ESALQ-1306). Rio Paranaíba, MG (2021).

São escassos trabalhos com biorremediação realizados em condições de campo. Esse estudo, demonstra a importância e potencial dessa tecnologia para descontaminação de solos com resíduos de diuron e sulfentrazone. Vale ressaltar que os níveis de injúrias observadas durante o experimento não ultrapassaram 20%. Portanto, é importante a incorporação de outras estratégias junto a biorremediação. Já que essa possui potencial de atenuação em situações brandas. O planejamento a longo prazo com atenção a aplicação de herbicidas e as sucessões

de culturas em cada área segue sendo a melhor estratégia para evitar prejuízos advindo pelo *carryover*. É importante mais estudos em situações diferentes com diferentes microrganismos e herbicidas para maior compreensão do fenômeno e melhor assertividade no uso da técnica. Além disso deve-se estudar difeREntes formas de manutenção das condições para bom desenvolvimento dos microrganismos. Como por exemplo umidade, época de aplicação, incorporação, aplicação de fontes de carbono, e associação com plantas de cobertura.



Figura 4. Registros fotográficos dos tratamentos aos 30 DAS.

2.4 CONCLUSÕES

Consórcio de *Bacillus* foram mais eficientes na mitigação do *carryover* de sulfentrazone + diuron comparado ao consórcio de fungos e de fungos + *Bacillus*.

O uso da estratégia de fitorremediação com a soja em conjunto com microrganismos não foi eficiente em reduzir danos do *carryover* de sulfentrazone + diuron na cultura da beterraba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, J. D. A., Augusto, F., & Jardim, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclética química*, 35(3), 17-43, 2010.

Belo, A. F., Pires, F. R., Bonomo, R., Cargnelutti Filho, A., & Tenis, L. H. O. Sulfentrazone phytoremediation under field conditions. **Revista Caatinga**, 29(1), 119-126, 2016.

Berg, G. Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. **Applied microbiology and biotechnology**, 84(1), 11-18, 2009.

Bogaerts P, Bohatier J, Bonnemoy F, et al. Fungal biodegradation of a phenylurea herbicide, diuron: structure and toxicity of metabolites. **Pest Management Sci** 56:455–62, 2000.

Carvalho, A.M.X.; Mendes, F.Q.; Mendes, F.Q.; Tavares, L.F. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 20(3): e327420312, 2020.

Cieslik, L. F., Vidal, R. A., & Trezzi, M. M. Fatores ambientais que afetam a eficácia de herbicidas inibidores da ACCase: Revisão. **Planta Daninha**, 31(2), 483-489, 2013.

Dalton RL, Evans AW, Rhodes RC. Disappearance of diuron from cotton fields soils. **Weeds** 14:14–31, 1966.

Dan, H. A., Dan, L. G. D. M., Barroso, A. L. D. L., Procópio, S. O., Oliveira Jr, R. S., Assis, R. L., & Feldkircher, C. (2011). Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011.

Devers-Lamrani, M., Pesce, S., Rouard, N., Martin-Laurent, F. Evidence for cooperative mineralization of diuron by *Arthrobacter* sp. BS2 and *Achromobacter* sp. SP1 isolated from a mixed culture enriched from diuron exposed environments. **Chemosphere**, 117, 208-215, 2014.

Egea, Tássia C. Estudo do potencial de degradação do herbicida diuron e seus metabólitos por bactérias isoladas de solo de canavial. 2014. 119 f. Tese (doutorado) - **Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho**, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2014.

Gowtham, H. G., Murali, M., Singh, S. B., Lakshmeesha, T. R., Murthy, K. N., Amruthesh, K. N., & Niranjana, S. R. Plant growth promoting rhizobacteria-Bacillus amyloliquefaciens improves plant growth and induces resistance in chilli against anthracnose disease. **Biological Control**, 126, 209-217, 2018.

Huang, X., He, J., Yan, X., Hong, Q., Chen, K., He, Q., Jiang, J. Microbial catabolism of chemical herbicides: microbial resources, metabolic pathways and catabolic genes. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, 143, 272-297, 2017.

Łozowicka, B., Wołejko, E., Kaczyński, P., Konecki, R., Iwaniuk, P., Drągowski, W., ... & Jabłońska-Trypuć, A. Effect of microorganism on behaviour of two commonly used herbicides in wheat/soil system. **Applied Soil Ecology**, 162, 103879, 2021.

Kao, C. M., Chai, C. T., Liu, J. K., Yeh, T. Y., Chen, K. F., & Chen, S. C. Evaluation of natural and enhanced PCP biodegradation at a former pesticide manufacturing plant. **Water Research**, 38(3), 663-672, 2004.

Melo, C. A. D., Medeiros, W. N., Tuffi Santos, L. D., Ferreira, F. A., Ferreira, G. L., Paes, F. A. S. V., & Reis, M. R. Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta daninha**, 28(4), 835-842, 2010.

Mendes, K. F., Dias, R. C., & Reis, M. R. Carryover e persistência de herbicidas em solos. **Boletim Técnico, Viçosa: SBCPD Comitê de Qualidade Ambiental**, 2017.

Mielke, K. C., Bertuani, R. R., Pires, F. R., Cotta, A. J. B., Egreja Filho, F. B., & Madalão, J. C. Does *Canavalia ensiformis* inoculation with *Bradyrhizobium* sp. enhance phytoremediation of sulfentrazone-contaminated soil? **Chemosphere**, 255, 127033, 2020.

Moretto, J. A. S., Furlan, J. P. R., Fernandes, A. F. T., Bauermeister, A., Lopes, N. P., & Stehling, E. G. Alternative biodegradation pathway of the herbicide diuron. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 143, 104716, 2019.

Ni, H., Yao, L., Li, N., Cao, Q., Dai, C., Zhang, J., He, J. Biodegradation of pendimethalin by *Bacillus subtilis* Y3. **Journal of Environmental Sciences**, 41, 121-127, 2016.

Pietikäinen, J., Pettersson, M., & Bååth, E. Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates. **FEMS microbiology ecology**, 52(1), 49-58, 2005.

Rêgo, M. C. F., Ilkiu-Borges, F., de Filippi, M. C. C., Gonçalves, L. A., & da Silva, G. B. Morphoanatomical and biochemical changes in the roots of rice plants induced by plant growth-promoting microorganisms. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado**, 2014.

Santos, I. T. D. Método para estudar a dinâmica de herbicidas em palha. **Tese de doutorado, ESALQ, Piracicaba**, 2019.

Silva Rovida, A. F., Paula, P. K. A., Ricardo, L., de Freitas, N. N., Pileggi, S. A. V., & Pileggi, M. Combinação de linhagens de bacillus visando ao aumento da eficiência de degradação do herbicida sulfentrazone, 2019.

Silva, P. L. B. D. Degradação do herbicida diuron por bactérias isoladas de solos de cultura de cana-de-açúcar e avaliação da toxicidade dos metabolitos gerados sobre peixes, **Tese de doutorado**, 2015.

Singh, B., & Singh, K. Microbial degradation of herbicides. **Critical reviews in microbiology**, 42(2), 245-261, 2016.

Smith, D., Alvey, S., Crowley, D. E. Cooperative catabolic pathways within an atrazine-degrading enrichment culture isolated from soil. **FEMS Microbiology Ecology**, 53(2), 265-273, 2005.

Tantarawongsa, P., Ketrot, D. Adsorption of Herbicide Diuron in Pineapple-Growing Soils of Eastern Thailand. Polish **Journal of Environmental Studies**, 29(1), 2020.

Tomassoni, F., Santos, R. F., Santos, F. S., Carpinski, M., & da Silveira, L. Técnica de biorremediação do solo. **Acta Iguazu**, 3(3), 46-56, 2014.

Wu, H., He, X., Dong, H., Zhou, Q., & Zhang, Y. Impact of microorganisms, humidity, and temperature on the enantioselective degradation of imazethapyr in two soils. **Chirality**, 29(7), 348-357, 2017.

Xin, W. A. N. G., Zijun, N. I., Zhaoxing, L. I., Lei, S. O. N. G., Jia, B. A. O., & Huiwen, Z. H. A. N. G. Research progress on microbial degradation of sulfonylurea herbicides. **Environmental Chemistry**, (5), 1356-1367, 2020.