

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Suscetibilidade de biótipos, caracterização foliar, absorção e translocação em função do teor de água do solo após aplicação de glifosato e manejo integrado de grama-seda (*Cynodon dactylon* (L.)) em cana-de-açúcar

Ana Carolina Dezuó Correr Schiavuzzo

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2023

Ana Carolina Dezuó Correr Schiavuzzo
Engenheira Agrônoma

Suscetibilidade de biótipos, caracterização foliar, absorção e translocação em função do teor de água do solo após aplicação de glifosato e manejo integrado de grama-seda (*Cynodon dactylon* (L.)) em cana-de-açúcar

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **RICARDO VICTORIA FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Schiavuzzo, Ana Carolina Dezuó Correr

Suscetibilidade de biótipos, caracterização foliar, absorção e translocação em função do teor de água do solo após aplicação de glifosato e manejo integrado de grama-seda (*Cynodon dactylon* (L.)) em cana-de-açúcar / Ana Carolina Dezuó Correr Schiavuzzo. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

65 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Morfologia 2. Indaziflam 3. Absorção 4. *Saccharum* spp. 5. Eficácia I. Título

DEDICATÓRIA

*Aos meus amores, meus pais, Maria (in memoriam) e Aparecido
Aos meus irmãos Marcelo, Paulo, Robson, Renato e Angélica,
Ao meu melhor amigo e também marido Renato Schiavuzzo,
Pelo amor, carinho, compreensão e incentivo,
OFEREÇO E DEDICO*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele nada é possível.

A Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Produção Vegetal pela oportunidade concedida.

Ao professor Dr. Ricardo Victoria Filho, meu orientador, que acreditou em mim desde a primeira conversa que tivemos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de estudos ao longo do doutorado.

Às secretárias Angela, Beth e Célia e a bibliotecária Eliana, por estarem sempre disponíveis para ajudar.

Aos colegas do PRO HORT por todo companheirismo e pela ajuda dispensada.

Em especial à minha companheira de pós-graduação, que se tornou uma grande amiga: Luisa Baccin, por sempre me incentivar e acompanhar em todas as etapas do projeto, e que sempre deixou a vida mais leve.

E a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”. (Madre Teresa de Calcutá)

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
Referências.....	12
2. SUSCETIBILIDADE DE BIÓTIPOS, CARACTERIZAÇÃO FOLIAR, E MANEJO INTEGRADO DE GRAMA-SEDA (<i>Cynodon dactylon</i> (L.)) EM CANA-DE-AÇÚCAR	15
Resumo.....	15
Abstract.....	15
2.1. Introdução.....	16
2.2. Material e Métodos.....	18
2.3. Resultados.....	22
2.4. Discussão.....	26
2.5. Conclusão.....	28
Referências.....	28
3. AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE ¹⁴ C-GLIFOSATO EM GRAMA-SEDA (<i>Cynodon dactylon</i>) EM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA NO SOLO COM ADIÇÃO DE ADJUVANTE, E ESTRESSE OXIDATIVO.....	33
Resumo.....	33
Abstract.....	33
3.1. Introdução.....	34
3.2. Material e Métodos.....	36
3.3. Resultados.....	40
3.4. Discussão.....	60
3.5. Conclusões.....	62
Referências.....	62

RESUMO

Suscetibilidade de biótipos, caracterização foliar, absorção e translocação em função do teor de água do solo após aplicação de glifosato e manejo integrado de grama-seda (*Cynodon dactylon* (L.)) em cana-de-açúcar

Pela sua notoriedade e importância no cenário nacional, o setor de produção de açúcar e energia no Brasil têm se atualizado sobre as condições de manejo e fitossanidade. Apesar do retorno satisfatório para a cadeia produtiva, muitos desafios precisam ser superados para melhorar os índices de produtividade, incluindo questões ambientais, presença de pragas e doenças e, principalmente, ocorrência de plantas daninhas. As plantas daninhas podem interferir direta e indiretamente na cultura, comprometendo o processo de produção da cana-de-açúcar. Estudos apontam para reduções significativas de produtividade pela convivência da cultura com a planta daninha. A grama-seda (*Cynodon dactylon*) se destaca no cenário produtivo de açúcar e energia pela sua complexidade biológica e agressividade em relação à cultura, com grande dificuldade de erradicação após o seu estabelecimento. Poucos herbicidas estão registrados hoje para o manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, e com o avanço dos casos de resistência, as ferramentas de manejo precisam se reinventar. Diante disso, os objetivos deste trabalho foram: A) avaliar a suscetibilidade de biótipos de grama-seda (*Cynodon dactylon*) após aplicação do herbicida glifosato; B) analisar a anatomia foliar da grama-seda em diferentes fases do desenvolvimento vegetativo; C) avaliar o manejo integrado da espécie, em condições de campo, com a associação de controle mecânico e químico, e, verificar se no final do ciclo da cultura há aumento de produtividade de cana-de-açúcar com o controle da espécie; D) avaliar absorção e translocação do herbicida glifosato em diferentes teores de água no solo e E) avaliação do estresse oxidativo das plantas após aplicação de glifosato. Um experimento de campo foi instalado para identificar integração de herbicidas com o manejo por grade intermediária no controle de um biótipo de grama-seda. Uma análise por microscopia eletrônica foi realizada em diferentes biótipos para identificar possíveis alterações morfoanatômicas em três biótipos de grama-seda que justifiquem sua resposta ao herbicida glifosato. Um experimento foi realizado no laboratório de ecotoxicologia (CENA-USP) utilizando ¹⁴C-Glifosato em dois biótipos diferentes e dois teores de água no solo: 70% e 40% da capacidade de campo. A peroxidação lipídica e produção de peróxido de hidrogênio foram avaliados no laboratório de bioquímica de plantas. A utilização dos tratamentos com os herbicidas indaziflam + glifosato, imazapyr, imazapyr + glifosato e a associação com o uso da grade intermediária se mostrou promissora no controle da grama-seda. Uma vez que o comportamento dos herbicidas no controle da grama-seda foi semelhante, é necessária a repetição do experimento em condições edafoclimáticas diferentes, com outros tipos de solo e manejo, a fim de identificar possíveis limitações na eficácia dos produtos. A adição de adjuvante a calda de pulverização aumenta a quantidade de herbicida absorvido e translocado pelas plantas, o que auxilia no controle da espécie em condição de estresse ambiental.

Palavras-chave: Morfologia, Indaziflam, Absorção, *Saccharum* spp., Eficácia

ABSTRACT

Susceptibility, leaf characterization, absorption, and translocation in the function of soil water content after glyphosate application and integrated management of bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L.)) in sugarcane

Due to its notoriety and importance on the national scene, the sugar and energy production sector in Brazil has been updated on management and phytosanitary conditions. Despite the satisfactory return for the production chain, many challenges need to be overcome to improve productivity rates, including environmental issues, the presence of pests and diseases and, mainly, the occurrence of weeds. Weeds can directly and indirectly interfere with the crop, compromising the sugarcane production process. Studies point to significant reductions in productivity due to the coexistence of the crop with the weed. Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) stands out in the sugar and energy production scenario due to its biological complexity and aggressiveness towards the crop, with great difficulty in eradicating it after its establishment. Few herbicides are registered today for the management of weeds in sugarcane, and with the advance of cases of resistance, management tools need to reinvent themselves. Therefore, the objective of this work was: A) to evaluate the physiology and leaf anatomy of bermuda grass biotypes (*Cynodon dactylon*) after application of the herbicide glyphosate and the integrated management of the species; B) analyze the leaf anatomy of bermuda grass in different stages of vegetative development; C) evaluate the integrated management of the species, under field conditions, with the association of mechanical and chemical control, and, if at the end of the crop cycle, if there is an increase in sugarcane productivity with the control of the species; D) evaluate absorption and translocation of glyphosate herbicide in different soil water contents and E) evaluation of oxidative stress of plants after application of glyphosate. A field experiment was installed to identify integration of herbicides with intermediate harrow management in the control of a bermuda grass biotype. An electron microscopy analysis was performed on different biotypes to identify possible morphoanatomical changes in three bermuda grass biotypes that could justify their response to the herbicide glyphosate. An experiment was carried out at the ecotoxicology laboratory (CENA-USP) using ¹⁴C-Glyphosate in two different biotypes and two soil water contents: 70% and 40% of field capacity. Lipid peroxidation and hydrogen peroxide production were evaluated in the plant biochemistry laboratory. The obtained results provided important information about the performance of the herbicides indaziflam + glyphosate, imazapyr, imazapyr + glyphosate and the association with the use of the intermediate harrow in the control of bermuda grass. Considering that the herbicides showed similar behavior in the control of bermuda grass, the results obtained are substantial in terms of cost/benefit involving dosages and control periods. However, it is necessary to expand the study in other edaphoclimatic conditions, considering aspects related to the soil and management, aiming to diagnose any limitations in the performance and efficiency of the products. The addition of adjuvant to the spraying solution increases the amount of herbicide absorbed and translocated by the plants, which helps to control the species in conditions of environmental stress.

Keywords: Morphology, Indaziflam, Absorption, *Saccharum* spp., Efficiency

1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), o Brasil tem sofrido queda de produção nas últimas safras. A estimativa de produção de cana-de-açúcar para a safra atual é de 596,06 mil toneladas, 1,9% menor que a safra 2021/2022, numa área cultivada que diminuiu aproximadamente 1,3% se comparada à safra anterior (Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], 2022). Os estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, são principais produtores da região Centro-Sul do país, por possuírem a maior concentração dessa atividade. A maior produção de açúcar e etanol na safra 2022/2023 será do estado de São Paulo com 301.376 mil toneladas, com produtividade média de 73,69 toneladas por hectare (CONAB, 2022).

Diminuições de produtividade derivaram de fatores como devolução de áreas arrendadas, escolha dos produtores por outras culturas e fatores ambientais como incidência de pragas e doenças, além da elevada competição entre cultura e plantas daninhas existente no campo (CONAB, 2022). A ocorrência de plantas daninhas nos canaviais gera perda de produtividade se não for bem controlada (Victoria Filho; Christoffoleti, 2004). Segundo Kuva et al. (2001) a redução na produtividade de cana-de-açúcar pode chegar até 80%, isso porque a competição com as plantas daninhas pode ser bastante intensa.

A cana-de-açúcar é cultivada como sendo uma cultura perene, de ciclo inicial lento, que pode ser colhida durante 3 a 5 anos, ou até mais, dependendo da região e do ambiente de produção. Durante o período de cultivo, praticamente não há revolvimento de solo e isso dificulta bastante o controle de plantas daninhas perenes, como a grama-seda, se esta já estiver se estabelecido na área (Richard Jr; Dalley, 2007). Devido ao fato da cana-de-açúcar ser plantada em praticamente todo o Brasil, há uma ampla diversidade de espécies de plantas daninhas nessa cultura (Toledo et al., 2015).

A presença de plantas daninhas pode causar diminuição no rendimento da cultura,

além de reduzir a vida útil do canavial, deteriorando a qualidade da matéria-prima e prejudicando as etapas de colheita e transporte (Kuva et al., 2003). De acordo com Richard Jr. e Dalley (2007), a presença de grama-seda no canavial, mesmo que com baixa competição, pode reduzir a produtividade em até 32%. Corroborando com este resultado Kissmann (1997), observa que a presença de grande quantidade de grama-seda reduz em até 80% a produção de cana-de-açúcar, reduzindo o número de cortes e também a vida útil do canavial.

Dentre outras espécies infestantes de canaviais, a grama-seda (*C. dactylon*) ganha destaque devido ao seu difícil manejo e controle. Seu desenvolvimento se dá espontaneamente em todo o Brasil, podendo ser encontrada em terrenos abandonados, margens de rodovias, ou serem cultivada como pastagem. Quanto a sua morfologia, seus colmos são levemente achatados, associados tanto a estolões quanto a caule rizomatoso, ambos com ampla ramificação e alta capacidade de enraizamento e formação de parte aérea (Lorenzi, 2000). Suas folhas apresentam bainha em formato de fenda aberta, com coloração avermelhada e estriada, lígula membranácea com tufo de pelos brancos e sedosos, acomodados lateralmente. Suas lâminas possuem formato lanceolado e suas faces são glabras, com base levemente auriculada e margens inteiras. Possui inflorescência terminal do tipo panícula, com aproximadamente 5 espigas distribuídas em um verticílio. Espigas com muitas espiguetas cuja inserção se dá em apenas um dos lados do eixo. Sua propagação é facilitada pela fragmentação dos estolões e rizomas (Moreira; Bragança, 2011).

A grama-seda é uma planta C4 perene de regiões quentes, sendo responsiva à altas intensidades de luz não tolerando sombreamento. Seu crescimento é marcadamente influenciado pela temperatura, onde seu desenvolvimento vegetativo é beneficiado por temperaturas que variam de 35 a 40 °C e temperatura mínima de 15 °C. A água é outro fator ambiental que afeta fortemente o desenvolvimento da grama-seda apresentando taxas elevadas de transpiração e intenso crescimento vegetativo quando irrigada (Wu et al., 2006; De Silva; Snaydon, 1995).

Em todo Brasil são necessárias práticas agrícolas como preparo de solo, plantio, quebra-lombo e colheita, que viabilizam o cultivo de cana-de-açúcar tanto em cana planta quanto em cana soca. De acordo com Carvalho e Moretti (2010), tais práticas são prejudiciais em relação ao controle de plantas daninhas, dentre elas a grama-seda, uma vez que contribuem para sua disseminação, fragmentando e espalhando estolões gerando novas plantas e dificultando seu controle.

Essa planta daninha produz alta cobertura do solo e com grande rapidez. Em países de clima temperado seu desenvolvimento é limitado o que diminui a competição com a cultura.

Isso ocorre devido ao longo período de dormência no inverno, além da baixa estatura e baixo desenvolvimento em clima frio (Richard, 1993). Como no Brasil não há invernos rigorosos, pelo menos nos estados onde a cultura é cultivada, a competição com a cana-de-açúcar pode ser aumentada.

A grama-seda pode interferir negativamente com a cana-de-açúcar sombreando os brotos, diminuindo o número de perfilhos ou mesmo reduzindo o número de cortes (Richard; Dalley, 2007). Os mesmos autores observaram que no primeiro ano de cana-soca, a quantidade de colmos foi reduzida em 8 a 15%. Quanto a produtividade, a queda foi de 8 a 32% na cana-planta, com redução de cerca de 9% no primeiro e segundo ano de cana-soca. Os autores concluíram, que devido à queda na produtividade antes do primeiro corte, é imprescindível o controle dessa planta daninha antes do plantio.

O método mais utilizado para o controle de plantas daninhas é o controle químico, isso porque permite que a operação seja feita com menos mão-de-obra e com grande facilidade de aplicação quando comparado a outros métodos, principalmente em áreas com grande extensão onde o custo da operação e a eficácia do tratamento gera bons resultados (Rossi, 2004).

A cana-de-açúcar é uma cultura bastante exigente em relação aos tratamentos culturais, aplicações de herbicidas podem ser necessárias tanto em época úmida quanto em época seca. Na época úmida herbicidas para dessecação, pré-plantio-incorporado, pré-plantio e pós-plantio são utilizados na etapa de plantio da cana-de-açúcar. Já no cultivo de cana soca pode ser necessária a aplicação de herbicidas em pré e pós emergência. Para a época seca, podem ser realizadas novamente as aplicações em pré e pós-emergência, além de aplicações em caso de escape e também pós-tardio (Azania et al., 2014).

Geralmente a aplicação de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar causa apenas a supressão da planta daninha, e o melhor período para reduzir a infestação é antes do plantio (Etheredge et al., 2009; Miller et al., 1999). Estes autores observaram que a emergência de grama-seda foi menor no outono, quando pelo menos um revolvimento do solo foi substituído com a aplicação de glifosato antes do plantio de cana-de-açúcar no verão.

De acordo com AGROFIT (Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitário [AGROFIT], 2022) os produtos químicos registrados para o controle de grama-seda em cana-de-açúcar são: sulfentrazone, imazapyr, glifosato, clomazone e clomazone+ametrina.

Os produtos imazapyr e glifosato podem ser aplicados associados, podem ser aplicados em área de reforma de canavial, desde que seja respeitada a carência de 60 dias que antecedem ao plantio, também é possível a aplicação isolada de glifosato. Os herbicidas clomazone isolado ou associado com ametrina ou ainda sulfentrazone, são aplicados em pós

plantio (Azania, 2008).

Com o canavial estabelecido e já no cultivo de soqueiras, há diminuição da presença e disseminação da grama-seda, por este motivo a eficácia dos herbicidas tendem a ser maiores, sendo assim é feita a utilização dos produtos sulfentrazone ou clomazone isolados ou associados com outros herbicidas, a depender das plantas daninhas encontradas na área (Azania et al., 2014).

Poucas moléculas de herbicidas estão registradas para o controle de grama-seda em cana de açúcar. Dalley et al. (2013), estudaram o manejo integrado de grama-seda na cultura de cana-de-açúcar avaliando a influência do cultivo na entrelinha, manejo de resíduos após o corte e a aplicação de herbicidas (área total, aplicação dirigida e sem aplicação). Os autores notaram que a aplicação dirigida em conjunto com o cultivo na entrelinha (quatro vezes por ciclo) diminuiu a cobertura de grama-seda nos três ciclos da cultura. Além disso, a produtividade da cana-de-açúcar foi reduzida quando o herbicida não foi aplicado independente do manejo do solo. Os autores concluíram que diminuir cultivos desnecessários pode aumentar a rentabilidade da cultura e que o uso de herbicidas é imperativo para o controle de grama-seda. Etheredge et al. (2009), observaram que o glifosato controlou 86% da grama-seda 40 dias após a aplicação sequencial e o controle aumentou para 98%.

É essencial que os herbicidas utilizados para o seu controle alcancem os órgãos de reprodução vegetativa após a aplicação. Por ser uma planta perene, acredita-se que na época em que ocorre queda de temperatura e da quantidade de chuva, ocorra armazenamento de carboidratos e diminuição da taxa de crescimento, ou seja, a maior parte dos carboidratos produzidos são direcionados para porções de armazenamento da planta via floema. Este movimento descendente auxilia a translocação de herbicidas para estas regiões da planta, favorecendo seu controle.

Referências

- Azania, C.A.M.; Azania, A.A.P.M.; Vitorino, R.; Borges, I.S.; Silva, T.P. MPB no canavial. **Revista Cultivar**, n.185, p.40-41, 2014.
- Carvalho, F.T.; Moretti, T.B. Manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) cultivada com a operação de quebra-lombo visando à colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.9, p.1-8, 2010. doi: <https://doi.org/10.7824/rbh.v9i1.73>.
- Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB]. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar: segundo levantamento, safra 2022/23, agosto de 2022**. Brasília: CONAB, 2022. 59p.

- Dalley, C.D.; Viator, R.P.; Richard, E.P. Integrated management of Bermudagrass (*Cynodon dactylon*) in Sugarcane. **Weed Science**, v.61, n.3. p.482-490, 2013. doi: <https://doi.org/10.1614/WS-D-12-00124.1>.
- Dantas, D.N. **Uso da biomassa da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica: análise energético, exergética e ambiental de sistemas de cogeração e, sucroalcooleira do interior paulista**. 2010. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- De Silva, P.H.A.U.; Snaydon, R.W. Chromosome number in *Cynodon dactylon* in relation to ecological conditions. **Annals of Botany**, v.76, p.535-537, 1995. doi: <https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1129>.
- Etheredge, L.M.; Griffin, J.L.; Salassi, M.E. Efficacy and economics of summer fallow conventional and reduced-tillage programs for sugarcane. **Weed Technology**, v.23, p. 274-279, 2009. doi: <https://doi.org/10.1614/WT-08-161.1>.
- Kissmann, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. São Paulo: Basf, 1997. 825p.
- Kuva, M.A.; Gravena, R.; Pitelli, R.A.; Christoffoleti, P.J.; Alves, P.L.C.A. Interference periods of weeds in the sugarcane crop: II – *Brachiaria decumbens*. **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.323-330, 2001. doi: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582001000300003>.
- Kuva, M.A.; GRAVENA, R.; Pitelli, R.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. . Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: III - capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e capim-colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, v. 21, p. 37-44, 2003. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000100005>.
- Lorenzi, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 608p.
- Miller, D.K.; Griffin, J.L.; Richard, E.P. Summer fallow and after-planting bermudagrass (*Cynodon dactylon*) control programs for sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrids). **Weed Technology**, v.13, n.1, p.127-131, 1999. doi: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00045024>.
- Moreira, H.J.C.; Bragança, H.B.N. **Manual de identificação de plantas infestantes**. São Paulo: FMC Agricultural Products, 2011. 1017p. 1ed. 2011
- Oliveira, J.G. **Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucroalcooleiro paulista**. 2007. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- Richard Jr, E.P. Preemergence herbicide effects on bermudagrass (*Cynodon dactylon*) interference in sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrids). **Weed Technology**, v.7, n.3, p.578-584, 1993. doi: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00037374>.
- Richard JR, E.P.; Dalley, C.D. Sugarcane response to bermudagrass interference. **Weed Technology**, v.21, n.4, p.941-946, 2007. doi: <http://dx.doi.org/10.1614/WT-07-035>.

Rossi, C.V.S. **Dinâmica e eficácia no controle de plantas daninhas pelo herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar**. 2004. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários [AGROFIT]. 2022. **MAPA – Coordenação-geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS**. Consulta de ingrediente ativo. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em 05 jun. 2022.

Toledo, R.E.B.; Victoria Filho, R.; Marchiori, L.F.S.; Karam, D.; Negrisoli, E. Biologia e manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar e na sucessão com culturas anuais nas áreas de reforma. Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada a produção de energia e alimentos. **Embrapa**, v.2, p.311-343, 2015.

Victoria Filho, R.; Christoffoleti, P.J. Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana. **Visão Agrícola**, v.1, n.1 p.32-37, 2004.

Wu, Y.Q.; Taliaferro, C.M.; Martin, D.L., Goad, C.L.; Anderson, J.A. Genetic variability and relationship for seed yield and its components in Chinese *Cynodon* accessions. **Field Crops Research**, v.98, p.245-252, 2006. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.003>.

2. SUSCETIBILIDADE DE BIÓTIPOS, CARACTERIZAÇÃO FOLIAR, E MANEJO INTEGRADO DE GRAMA-SEDA (*Cynodon dactylon* (L.)) EM CANA-DE-AÇÚCAR

Resumo

A competição entre plantas daninhas e a cana-de-açúcar pode ocasionar redução na produtividade da cultura. O manejo de plantas daninhas com herbicidas se dá de forma complexa pela baixa quantidade de herbicidas registrados para a cultura e o aumento de casos de tolerância. Assim, se faz necessário o uso do manejo integrado para que as opções não se esgotem. Em vista disso, um experimento de campo foi conduzido para avaliar a eficácia de controle da mistura de herbicidas e a mistura associada ao uso da grade intermediária. Os tratamentos foram: 1 - Testemunha infestada; 2 - Grade intermediária + uma aplicação de glifosato; 3 - Grade intermediária + duas aplicações de glifosato; 4 - Grade intermediária + uma aplicação de indaziflam + uma aplicação de glifosato; 5 - Grade intermediária + uma aplicação de imazapir; 6 - Grade intermediária + uma aplicação de imazapir + uma aplicação de glifosato; 7 - Grade intermediária + uma aplicação de clomazone, aplicados em sequencial no período de reforma dos talhões, distribuídos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Também foram realizadas análises anatômicas e por microscopia eletrônica por varredura para identificar alterações anatômicas nas folhas após a aplicação de glifosato, com a caracterização das células epidérmicas em vista frontal e contagem de estômatos. A associação de glifosato com outros herbicidas foi eficaz aos 60 e 90DAA, assim como a sequencial de grade intermediária + duas aplicações de glifosato, grade intermediária + uma aplicação de indaziflam + uma aplicação de glifosato, grade intermediária + uma aplicação de imazapyr e grade intermediária + uma aplicação de imazapyr + uma aplicação de glifosato. O melhor controle aos 30 DAA foram aqueles com o uso de grade intermediária + uma aplicação de imazapyr e grade intermediária + uma aplicação de imazapyr + uma aplicação de glifosato. O indaziflam + grade intermediária + uma aplicação de glifosato proporcionou controle eficaz da população de grama seda em todas as análises realizadas. Os dados biométricos e de produtividade não foram sensíveis aos diferentes tratamentos. Não foi observado diferenças nas estruturas morfológicas das folhas que indicasse quaisquer adaptações evolutivas. Demais estudos são necessários para testar a eficácia dos produtos e a sensibilidade dos parâmetros morfológicos e anatômicos em condições diferentes à deste estudo.

Palavras-chave: Indaziflam; Grade Intermediária; Anatomia; Microscopia Eletrônica

Abstract

The competition between weeds and the sugarcane crop can cause reduced productivity in the crop. The management of weeds with herbicides is complex due to the low amount of herbicides registered for the crop and the increase in cases of resistance. Thus, it is necessary to use integrated management so that the options are not exhausted. In view of this, a field experiment was conducted to evaluate the effectiveness of controlling the herbicide mixture and the mixture associated with the use of the intermediate harrow. The treatments were: 1 - Control infested; 2 - disc harrow + a glyphosate application; 3 - Intermediate grid + two applications of glyphosate; 4 - disc harrow + one application of indaziflam + one

application of glyphosate; 5 - disc harrow + an application of imazapir; 6 - disc harrow + an application of imazapir + an application of glyphosate; 7 - disc harrow + one application of clomazone, applied sequentially during the renovation period of the stands, distributed in a randomized block design with four replications. Anatomical and scanning electron microscopy analyzes were also performed to identify anatomical changes in the leaves after glyphosate application, with the characterization of epidermal cells in frontal view and stomatal count. The association of glyphosate with other herbicides was efficient at 60 and 90DAA, as well as the sequential intermediate grade + two applications of glyphosate, intermediate grade + one application of indaziflam + one application of glyphosate, intermediate grade + one application of imazapyr and intermediate grade + an imazapyr application + a glyphosate application. The best control at 30 DAA were those using intermediate grid + an imazapyr application and intermediate grid + an imazapyr application + a glyphosate application. Indaziflam + intermediate grid + an application of glyphosate provided efficient control of the silk grass population in all analyzes performed. Biometric and productivity data were not sensitive to different treatments. No differences were observed in the morphological structures of the leaves that would indicate any evolutionary adaptations. Further studies are needed to test the efficacy of the products and the sensitivity of morphological and anatomical parameters under conditions different from those of this study.

Key-words: Indaziflam; Disc Harrow; Anatomy; Electron Microscopy

2.1. Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma gramínea perene, entouceirada, perfilhando de maneira abundante na fase inicial do seu crescimento. Por ser uma planta de metabolismo C4 possui grande capacidade para realizar fotossíntese, devido ao seu alto poder de concentração de CO₂ em função da redução da fotorrespiração, quando submetidas a intensidades elevadas de radiação solar (Lucena et al., 2020). Considerando os aspectos teóricos e técnicos envolvidos nas etapas de cultivo, processamento industrial e escoamento, o etanol e a *commoditie* açúcar são considerados os produtos com maior relevância econômica (Dias, 2021).

O Brasil é maior produtor mundial de cana-de-açúcar com estimativa de área cultivada de 8,2 milhões de hectares distribuídos em todo território nacional e produtividade de 72.609 kg/ha e produção de 596,06 mil toneladas para a safra 2022/23 (Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], 2022). Apesar do potencial de expansão produtiva por causa dos seus subprodutos e pela aptidão do solo em receber o cultivo dessa cultura, alguns fatores dificultam a implementação do sistema produtivo e podem representar queda na produção de cana-de-açúcar. Dentre estes fatores, a presença de plantas daninhas e a dificuldade em implementar modelos de manejo nos canaviais podem causar grandes prejuízos.

No canavial, inúmeras espécies de plantas daninhas podem ou tendem a se estabelecer, como a grama-

seda (*Cynodon dactylon*), a tiririca (*Cyperus rotundus*), a corda-de viola (*Ipomea* spp.), cipós (*Merremia* spp.), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), mamona (*Ricinus communis*), espécies de *Urochloa* e o capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) são as mais frequentes. Segundo Kissmann (1997), a alta infestação de plantas daninhas pode reduzir em até 80% a produção de cana-de-açúcar, além de diminuir o número de cortes e, conseqüentemente, a vida útil do canavial.

A grama-seda (*C. dactylon*) é uma das principais plantas daninhas infestantes nos canaviais, devido a sua alta capacidade de enraizar e formar parte aérea, o que está associado a altas ramificações, estolões e caules rizomatosos. É uma planta de difícil controle pois seus rizomas podem alcançar até cinco metros de comprimento em menos de três meses, com maior concentração na camada superficial do solo (0 – 20 cm), podendo atingir até um metro de profundidade (Mitich, 1989).

O controle de plantas daninhas, com a utilização de herbicidas, é importante para garantir a alta produtividade da cultura. Porém, o uso de herbicidas pode não ser eficaz em certas situações, como por exemplo quando há problemas na tecnologia de aplicação ou quando indivíduos tolerantes são observados. Muitas vezes, nas áreas produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, a grama-seda não é efetivamente controlada durante as aplicações de herbicidas. Um dos motivos para que isto aconteça é que, de acordo com os estádios de desenvolvimento, as plantas podem modificar estruturas anatômicas de suas folhas, que podem influenciar o controle pelos herbicidas, modificando a retenção, absorção, translocação e efeito final do produto químico (Johnson, 1995; Rodrigues; Almeida, 2011).

Atualmente, o herbicida mais utilizado no controle de grama-seda em cana-de-açúcar é o glifosato, um herbicida sistêmico, absorvido pelas folhas e transportado por toda a planta. Sua ação ocorre entre alguns dias até semanas e as plantas morrem devido à necessidade dos aminoácidos que não são formados no ciclo do chiquimato (Amarante Júnior et al., 2002).

Devido à baixa quantidade de estudos sobre a interferência e o controle da grama-seda nos diversos tipos de sistemas e manejos e tendo poucas opções de herbicidas para seu manejo, novos estudos com variadas opções de controle químico fazem-se necessários, em função de sua alta disseminação e grande importância na agricultura brasileira.

É desejável que o controle de grama-seda seja feito com recomendação de herbicidas capazes de penetrarem no solo, sendo absorvidos pela planta em fase inicial de desenvolvimento assim seguirão para o sistema radicular, prejudicando e limitando seu desenvolvimento. O manejo integrado de plantas daninhas deve ser considerado também, pois

auxilia na sustentabilidade dos sistemas de produção com o uso de técnicas que podem reduzir o alto uso de herbicidas para o controle de plantas daninhas.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fisiologia e anatomia foliar de biótipos de grama-seda (*Cynodon dactylon*) após aplicação do herbicida glifosato e o manejo integrado da espécie; analisar a anatomia foliar da grama-seda em diferentes fases do desenvolvimento vegetativo; avaliar o manejo integrado da espécie, em condições de campo, com a associação de controle mecânico e químico, e, se no final do ciclo da cultura, há aumento de produtividade de cana-de-açúcar com o controle da espécie.

2.2. Material e Métodos

Coleta do material para avaliação de suscetibilidade de biótipos

Biótipos de grama-seda (no total de 16) foram coletados de diferentes canaviais de cinco regiões do Estado de São Paulo, sendo três biótipos de cada região, com exceção do biótipo Sp 25-7 que foi coletado posteriormente, após decidido o local de implantação do experimento de campo, e coletado apenas um biótipo. Plantas inteiras foram coletadas e transplantadas em vasos e usadas como “plantas mães” para posterior propagação. A Tabela 1 apresenta os dados de coleta de cada biótipo. Após avaliações de suscetibilidade ao herbicida glifosato, apenas os biótipos que apresentaram maior e menor resposta a aplicação do herbicida foram utilizados nas demais avaliações.

Tabela 1. Descrição e dados de coleta dos biótipos utilizados na pesquisa.

População	Cidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Data da coleta
Sp1	Boituva	23°27'46.6"	47°62'40.6"	16/08/2017
Sp2	Ribeirão Preto	20°75'39.3"	47°61'16.3"	30/08/2017
Sp3	Piracicaba	22°59'37.5"	47°67'90.2"	05/09/2017
Sp4	Lençóis Paulista	22°60'68.4"	48°74'43.9"	22/09/2017
Sp5	Araçatuba	21°40'63.1"	50°92'89.0"	04/10/2017
Sp25-7	Usina Diamante	22°23'12.1"	48°68'69.5"	25/07/2020

Suscetibilidade de biótipos de grama-seda ao herbicida glifosato

Os biótipos de grama-seda foram submetidos a experimentos iniciais para estimar a suscetibilidade das populações de grama-seda. Os estolões de cada biótipo (com cerca de cinco centímetros e massa fresca $0,29 \pm 0,08g$; $10,63 \pm 1,30g$) foram retirados das “plantas mães” e transplantados em vasos de 3L preenchidos com solo, cujas características químicas e físicas estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo.

Atributos	Unidades	Solo médio
pH (CaCl ₂)	-	5,1
M.O	g kg ⁻¹	30,0
pH (CaCl ₂)	mg kg ⁻¹	12,0
K	mmolc kg ⁻¹	2,3
Ca	mmolc kg ⁻¹	38,0
Mg	mmolc kg ⁻¹	18,0
H+Al	mmolc kg ⁻¹	28,0
SB	mmolc kg ⁻¹	58,3
CTC	mmolc kg ⁻¹	86,3
Areia Total	g kg ⁻¹	639,0
Silte	g kg ⁻¹	58,0
Argila	g kg ⁻¹	303,0
Classe textura	-	médio-argiloso

Fonte: Laboratório do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ, USP, Piracicaba, São Paulo. pH - potencial hidrogeniônico; K - potássio; Ca - cálcio; Mg - magnésio; CTC - capacidade de troca catiônica; P - fósforo; M.O - matéria orgânica; H+Al - acidez potencial; BS - saturação por base.

Após um mês de cultivo, as plantas foram tratadas com o herbicida glifosato, as doses foram definidas conforme resultado de experimento preliminar para estudo de curva de dose resposta - 1,44 g e.a.ha⁻¹ (dose recomendada de glifosato) e 5,76 g e.a.ha⁻¹ (4X a dose recomendada de glifosato) (Streibig et al., 1998).

A aplicação do herbicida foi realizada utilizando pulverizador costal pressurizado a CO₂, ponta de pulverização XR 110.02.

Um tratamento sem aplicação do herbicida foi realizado para cada biótipo avaliado. O controle de espécie foi avaliado aos 7, 14 e 28 dias após a aplicação dos herbicidas baseado numa escala de sintomas de 0 a 100%, onde 0, corresponde à ausência de sintomas da ação do herbicida na planta e 100%, à planta controlada (SBCPD, 1995).

Vinte oito dias após aplicação, as plantas foram cortadas ao nível do solo e secas a 50°C por 72 horas, para avaliação da biomassa seca. Vinte e oito dias após a primeira coleta da biomassa o rebrote das plantas foi avaliado, usando uma escala de 0 = sem rebrote e 5 = rebrote igual ao tratamento sem herbicida. Nova coleta das plantas (corte ao nível do solo) foi realizada para avaliação da biomassa seca, para determinar o potencial de produção de biomassa após a rebrota de grama-seda após aplicação dos herbicidas.

Os dados foram analisados utilizando ANOVA para determinar as diferenças entre os tratamentos e para comparação de médias foi utilizado o teste de Fisher a 5% de probabilidade.

Análises anatômicas e Microscopia eletrônica por varredura

As folhas coletadas dos biótipos mais e menos suscetíveis e do biótipo de campo foram preparadas conforme o protocolo de Kitajima e Leite (1998) por meio da fixação por 24 horas em solução de Karnovsky (Karnovsky, 1965), logo após foram submetidas a lavagem em solução tampão de Cacodilato 0,5 M. Após isso as amostras foram desidratadas em série etílica até etanol absoluto, e posteriormente secas no equipamento Balzers modelo CPD 030 pelo método do ponto crítico de CO₂ (Horridge; Tamm, 1969). Foram feitos dois “stubs” de cada amostra, sendo um para a face adaxial e outro para a face abaxial das folhas dos biótipos. As amostras desidratadas foram alocadas em suportes de alumínio e cobertas com uma camada de ouro de 30 a 40 nm no equipamento Balzers modelo SCD 050.

Após esta etapa, as amostras foram observadas em vista frontal em microscópio eletrônico de varredura LEO modelo VP 435, para a contagem de estômatos e tricomas.

Os dados de contagem foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Em caso de efeito significativo as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, à 5% de probabilidade.

Manejo integrado de grama-seda e produtividade de cana-de-açúcar: estudo em condição de campo

Estudo em condição de campo foi conduzido no ano agrícola 2021/2022 na cidade de Itapuí, São Paulo, em área pertencente a Usina Diamante - Raízen.

Na tabela 4 são apresentados os tratamentos que foram utilizados para a avaliação da desinfestação de grama-seda, que foi realizado na época de reforma dos talhões de cana-de-açúcar. Foram avaliados 7 tratamentos, em seis deles, foi avaliado o manejo integrado, com a utilização de grade intermediária (modelo CRI-R a uma profundidade de 25 cm, esta operação aconteceu dia 14/10/2020) e aplicações de herbicidas em pré ou em pós-emergência; um tratamento sem aplicação de herbicida, com infestação de grama-seda, foi incluso para comparação. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições.

Tabela 3. Tratamentos para o controle de grama-seda (*C. dactylon*) na época de reforma dos talhões de cana-de-açúcar.

Tratamentos	Dose herbicida (ea ha⁻¹)	Época de aplicação
1 - Testemunha infestada	-	-
2 - Grade intermediária + uma aplicação de glifosato	1,44 kg ha ⁻¹	Pós-emergência
3 - Grade intermediária + duas aplicações de glifosato	1,44 kg ha ⁻¹	Pós-emergência
4 - Grade intermediária + uma aplicação de indaziflam + uma aplicação de glifosato	150 mL ha ⁻¹ + 1,44 kg ha ⁻¹	Pré-emergência +Pós-emergência
5 - Grade intermediária + uma aplicação de imazapir	0,50 kg ha ⁻¹	Pré-emergência
6 - Grade intermediária + uma aplicação de imazapir + uma aplicação de glifosato	0,50 kg ha ⁻¹ + 1,44 kg ha ⁻¹	Pré-emergência + Pós-emergência
7 - Grade intermediária + uma aplicação de clomazone	1,1 kg i.a. ha ⁻¹	Pré-emergência

Na aplicação dos herbicidas foi utilizado pulverizador costal pressurizado a CO₂, mantido a pressão constante de 2,1 kg cm⁻² e com barra de seis bicos de jato plano XR 80.02, espaçados de 0,5 m, com consumo de calda equivalente a 200 L ha⁻¹. A primeira aplicação ocorreu em condição de vento a 12km h⁻¹, temperatura de 27°C e umidade relativa do ar de 55%. A segunda aplicação ocorreu em condições de vento a 6km h⁻¹, temperatura de 26°C e umidade relativa do ar de 50%.

A produtividade da cana-de-açúcar foi determinada colhendo-se toda a área das parcelas, pesando-se os colmos. A avaliação de infestação da grama-seda foi realizada 30, 60e 90 dias após a última aplicação sequencial, utilizando estimativa visual da porcentagem de cobertura da planta na entrelinha da cana-de-açúcar, em uma escala de 0 a 100, com 0 correspondendo a não cobertura pela planta daninha e 100 representando total cobertura.

Os dados foram analisados utilizando ANOVA para determinar se há diferenças entre os tratamentos e a comparação de médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

2.3. Resultados

Suscetibilidade de biótipos

No experimento preliminar foi possível identificar diferença no percentual de controle dos biótipos após 28 dias da aplicação de glifosato. Em relação a dose recomendada o resultado variou entre 33,75% e 97,75%, já com a aplicação de quatro vezes a dose a variação foi de 93,75% a 96,50%.

Sendo assim, o experimento foi repetido sem o biótipo 2 e obteve como resultado maior controle para o biótipo Sp 3-7 (divergindo do estudo preliminar) e menor controle para o biótipo Sp 1-15, dessa forma esses foram os dois biótipos selecionados para as avaliações do estudo. Essa variação de resultado pode ter ocorrido pelo modo de multiplicação das plantas em relação a planta-mãe, às condições em que o herbicida foi aplicado e também aos parâmetros fitossanitários dos biótipos.

Tabela 4. Porcentagem de controle de biótipos de *C. dactylon* após aplicação de glifosato.

População	14DAA		21DAA		28DAA	
	1X ¹	4X ²	1X ¹	4X ²	1X ¹	4X ²
1	68,75 ab	90,0 ns	86,25 a	98,50 ab	95,25 ab	100,00 ns
1	33,25 cde	88,8	53,25 ab	97,75 abc	60,00 bc	100,00
1	40 bcde	88,8	59,5 ab	94,25 abc	68,75 abc	99,50
2	38,25 abc	88,0	62,5 ab	98,33 abc	79,50 abc	100,00
2	30 cde	88,8	53,33 ab	93,25 c	73,33 abc	98,75
2	47,5 abcd	89,3	83,25 a	98,66 a	97,75 a	100,00
3	56,25 abc	90,3	90,25 a	98,75 a	88,25 abc	100,00
3	31,5 cde	89,8	89,75 ab	95,50 abc	78,75 abc	98,25
3	16,25 de	85,5	85,5 b	93,50 bc	33,75 c	99,50
4	78,75 a	92,5	92,5 ab	97,75 abc	95,00 ab	100,00
4	57,5 e	88,0	51,25 ab	94,00 abc	81,00 abc	99,25
5	42,5 bcde	90,0	63,75 ab	97,50 abc	81,25 abc	100,00
5	43,57 bcde	91,0	67,5 ab	94,66 abc	89,25 ab	99,66
5	43,75 bcde	91,0	50,75 ab	97,00 abc	53,25 abc	99,33

¹1X - dose de 1,44 g ea ha⁻¹; ²4X - 4 vezes a dose de 1,44 g ea

Experimento de campo

A análise de controle das populações de grama-seda demonstra que o tratamento que proporcionou melhor controle aos 30 DAA foram aqueles com o uso de grade intermediária + uma aplicação de imazapyr e grade intermediária + uma aplicação de imazapyr + uma aplicação de glifosato (Tabela 5).

No presente estudo, a associação de glifosato com outros herbicidas foi eficaz aos 60 e 90 DAA, como a sequencial de grade intermediária + duas aplicações de glifosato, grade intermediária + uma aplicação de indaziflam + uma aplicação de glifosato, grade intermediária + uma aplicação de imazapyr e grade intermediária + uma aplicação de imazapyr + uma aplicação de glifosato. O indaziflam + grade intermediária + uma aplicação de glifosato proporcionou controle eficiente da população de grama seda em todas as análises realizadas.

Tabela 3. Percentagem de controle (%) de grama-seda aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação (DAA) de herbicidas e uso de grade.

Tratamentos	30 DAA	60 DAA	90 DAA
Testemunha infestada	0 d	0 c	0 c
Grade intermediária + uma aplicação glifosato	58,75 bc	53,75 b	23,25 bc
Grade intermediária + duas aplicações de glifosato	47,50 c	87,50 ab	80,00 a
Grade intermediária + uma aplicação de indaziflam + uma aplicação de glifosato	76,25 ab	95,75 a	97,50 a
Grade intermediária + uma aplicação de imazapyr	85,00 a	89,50 ab	81,25 a
Grade intermediária + uma aplicação de imazapyr + uma aplicação de glifosato	86,25 a	92,50 ab	87,50 a
Grade intermediária + uma aplicação de clomazone	73,75 ab	67,75 ab	63,75 ab
p	<0,0000	<0,0000	<0,0000
CV (%)	17,1	24,76	29,5

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

O tratamento com o herbicida clomazone após a passagem da grade intermediária apresentou diminuição de controle ao longo dos dias, entretanto, desde a primeira avaliação, esse tratamento não proporcionou controle maior que 73%, valor considerado não eficiente para controle de plantas daninhas.

Os dados biométricos e de produtividade não foram sensíveis aos diferentes tratamentos para controle de grama-seda na cultura da cana-de-açúcar, como mostra a tabela 6, onde não se observou diferença estatística entre os tratamentos para as diferentes variáveis.

Tabela 4. Dados de número de perfilhos (n), altura do colmo (cm) e produtividade (t ha⁻¹) da cana-de-açúcar submetida a diversos tratamentos para controle de grama-seda.

Tratamentos	Perfilhos (n)	Altura colmo (m)	Produtividade (t ha ⁻¹)
Testemunha infestada	20,87 a	1,12 a	70,51 a
Grade intermediária + uma aplicação de glifosato	17,86 a	1,09 a	69,14 a
Grade intermediária + duas aplicações de glifosato	17,87 a	1,11 a	71,44 a
Grade intermediária + uma aplicação de indaziflam + uma aplicação de glifosato	17,12 a	1,00 a	62,46 a
Grade intermediária + uma aplicação de imazapyr	18,37 a	1,18 a	71,37 a
Grade intermediária + uma aplicação de imazapyr + uma aplicação de glifosato	17,12 a	1,10 a	68,74 a
Grade intermediária + uma aplicação de clomazone	15,75 a	1,14 a	62,56 a
p	0,1774	0,3853	0,6744
CV (%)	19,91	12,4	29,54

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Análises anatômicas e Microscopia eletrônica por varredura

Os três biótipos foram avaliados quanto à época de coleta (E1 = folha do segundo nó; E2 = folha do sexto nó). Observa-se na tabela 5 que a maior densidade de tricomas foi verificada nos biótipos 2 e 3 na folha do sexto nó (E2) na face adaxial da folha. Já para a densidade estomática, maiores valores foram encontrados na face adaxial das folhas do no biótipo 2, tanto na coleta da folha do segundo nó quanto na coleta da folha do sexto nó, e no biótipo 1 na folha coletada no sexto nó do caule. Já na face abaxial, maiores densidades de estômatos foram observadas na folha do sexto nó dos biótipos 2 e 3 (Tabela 5).

Tabela 5. Densidade de tricomas e densidade estomática de folhas de grama-seda em diferentes estádios de crescimento.

Biótipo		Densidade de tricomas (mm ²)		Densidade estomática (mm ²)	
		Adaxial	Abaxial	Adaxial	Abaxial
B1	E1 (folha do segundo nó)	1,75 b	1,37 c	1,87 c	2,36 b
	E2 (folha do sexto nó)	1,31 c	-	2,32 b	2,46 b
B2	E1 (folha do segundo nó)	1,75 b	1,65 b	2,35 ab	2,44 b
	E2 (folha do sexto nó)	2,16 a	2,20 a	2,46 ab	2,48 ab
B3	E1 (folha do segundo nó)	1,82 b	-	2,51 a	2,42 b
	E2 (folha do sexto nó)	2,19 a	-	1,62 d	2,68 a
p		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV (%)		14,39	13,11	7,53	8,33

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Dados transformados pela equação $-\text{Log}(x+k)$.

Nos Biótipos 1 na segunda coleta e biótipo 3 na primeira e segunda coleta, não foi possível quantificar a densidade de tricomas pela microscopia eletrônica de varredura na face abaxial das folhas. Na Figura 1 é possível observar os tricomas na face abaxial dos biótipos.

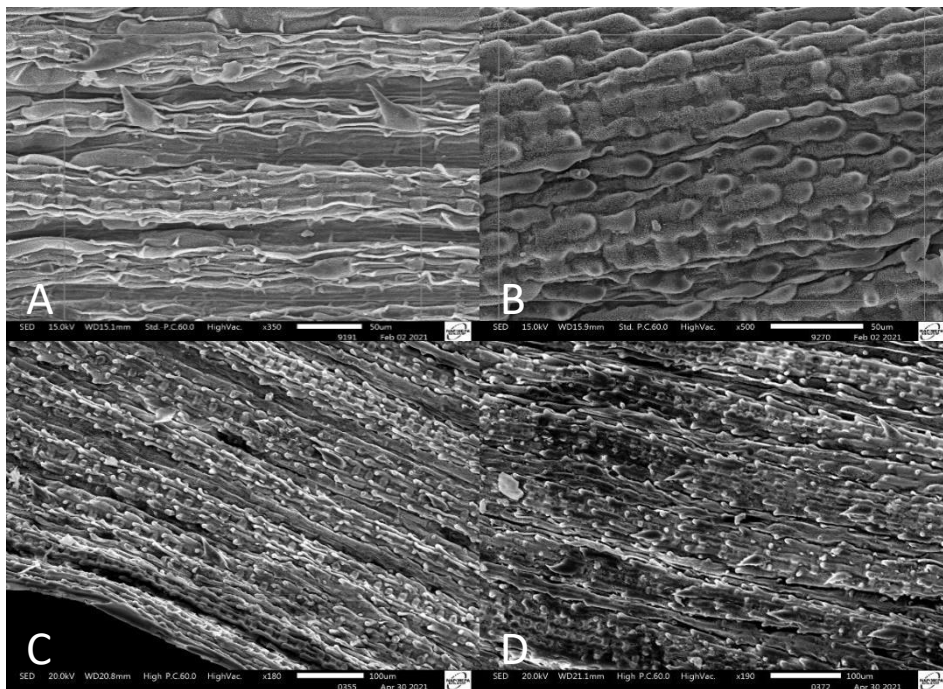


Figura 1. Presença de tricomas filiformes (A) e tricomas glandulares (B, C e D) na face abaxial dos biótipos avaliados.

Todos os recortes avaliados apresentaram folhas com estômatos alinhados como geralmente observado em espécies de gramíneas (Hepworth et al., 2018) (Figura 2).

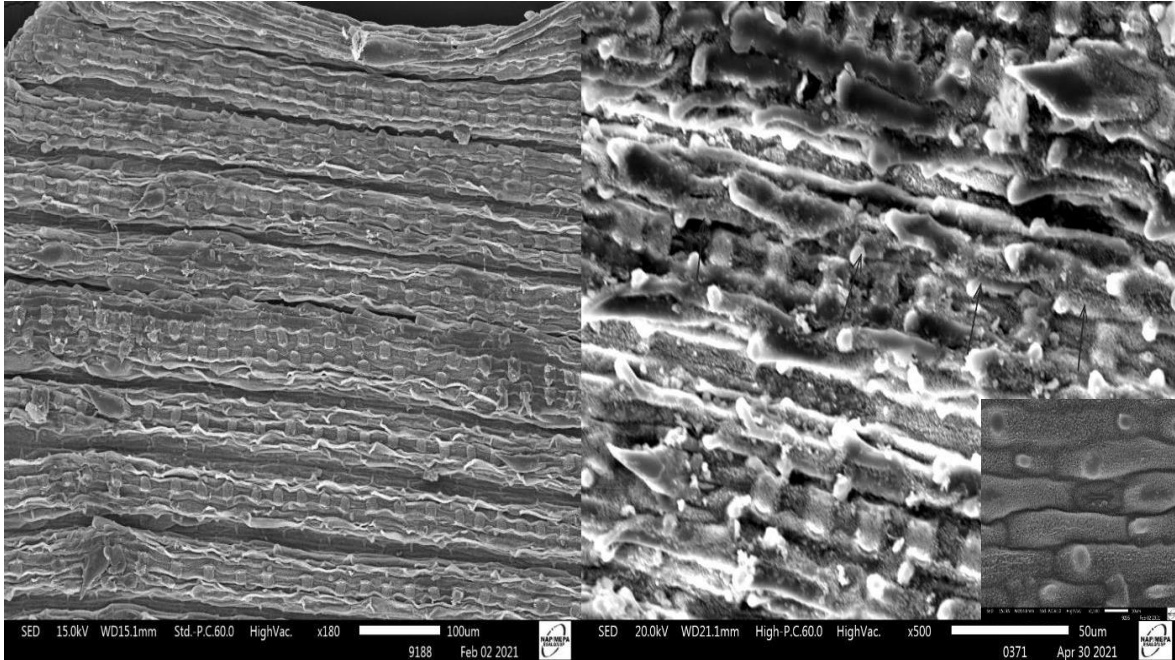


Figura 2. Estômatos na face abaxial de folhas do biótipo 1. No detalhe, estômato e célula guarda.

No presente estudo não foi observado entre os biótipos diferenças significativas nas estruturas morfológicas das folhas que indicasse quaisquer adaptações evolutivas entre os biótipos que pudesse contribuir para o aumento de seu controle ou tolerância à diferentes tipos de manejo.

2.4. Discussão

A Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD) considera que uma população foi efetivamente controlada quando as médias de sintomas visuais observados nas plantas ultrapassam os 80% (SBCPD, 1995). Todos os tratamentos foram comparados entre si e com a testemunha infestada. O tratamento apenas com grade intermediária + uma aplicação de glifosato não foi eficaz no controle em nenhuma das datas avaliadas. O glifosato possui bom controle para diversas plantas daninhas com propagação vegetativa, mas pode baixa eficácia para algumas, tais como *Commelina virginica* L. (Lorenzi, 1986; Durigan, 1988). Uma forma de aumentar a eficácia deste herbicida é realizando a sua mistura com outros herbicidas (Galli, 1991).

Ramos e Durigan (1996) observaram que o melhor controle de *Commelina virginica* L. se deu com a mistura pronta de glifosato + 2,4-D amina, nas dosagens de 0,65 + 0,81 kg ha⁻¹. Timossi et al. (2000) obtiveram bom controle de trapoeraba aplicando glifosato com imazamox ou carfentrazone.

Por apresentar longa ação residual, o herbicida indaziflam é bastante eficaz quando aplicado em pré-plantio, controlando os estolões mesmo se aplicado em baixas doses (Toffoli, 2020), por possuir ação residual maior que 150 dias há maior versatilidade quanto ao momento de aplicação (Tompkins, 2010; Kapro; Hall, 2012). Quando aplicado em pré-emergência, o indaziflam controlou entre 91 e 94% a infestação de *Digitaria ischaemum* após 195 dias de aplicação (Brosnan et al., 2011). Outros autores obtiveram resultados parecidos, de acordo com Perry et al. (2011), após 203 dias da aplicação de indaziflam ocorreu controle de 90% de *Digitaria sanguinalis*. Para as espécies *Rottboellia cochinchinensis* e *Panicum maximum*, Amim et al. (2014) relataram mais de 98% de controle com o uso de indaziflam. A possibilidade de incorporar ao solo moléculas de herbicidas proporciona maior contato da substância com as sementes, dessa forma o contato direto viabiliza maior eficácia do produto, que também atinge os estolões que são órgãos de reserva em fase inicial de desenvolvimento o que os torna mais sensíveis a ação dos herbicidas (Ramos et al., 2018).

Toffoli (2020) observou redução da ação residual em tratamento com clomazone, o que diminuiu a eficácia de controle gradual, constatando que após 92 dias da aplicação do produto o controle da grama-seda atingiu 88%.

Quanto às análises de microscopia, os tricomas filiformes pontiagudos observados podem ser associados à adaptação da espécie contra a herbivoria (Strauss et al., 2002; War et al., 2012), contribuindo ainda para uma diminuição da digestibilidade em ruminantes (Wu; Taliaferro, 2009). As características observadas indicam mecanismos de adaptação evolutiva da espécie, como já foi relatado por Khan et al. (2017). Este autor identificou células epidérmicas com paredes celulares que atuam como celas, comumente relacionadas às espécies pertencentes à família Poaceae. Estas células parecem estar ligadas ao aumento da superfície para maior absorção de luz (Castro et al., 2009). Outras características observadas em estudos anteriores são as glândulas de sal em espécies sem estresse ambiental. As glândulas de sal são responsáveis pela excreção de sódio, indicando assim uma tolerância à salinidade (Oross; Thomson, 1982).

Nas angiospermas, há uma relação negativa entre conteúdo de DNA e densidade estomática (Beaulieu et al., 2008) uma vez que com o aumento do tamanho dos estômatos, geralmente diminui a densidade dessas estruturas (Hetherington; Woodward, 2003; Franks;

Beerling 2009), como observado em *C. dactylon*. Tufail et al. (2017) observou em seus estudos, estômatos com pequenas dimensões em biótipos de *C. dactylon*, o que pode estar relacionado a um controle fisiológico mais eficiente, onde as células regulam o turgor, uma vez que menos turgor é necessário para a abertura e fechamento estomático. Além disso, densidades estomáticas mais altas com estômatos menores fornecem taxas fotossintéticas mais altas (Franks et al., 2009; Drake et al., 2013; Vráblová et al., 2017). Isso também favorece o fechamento dos estômatos em condições ambientais desfavoráveis, onde a condutância estomática é mais rapidamente reduzida (Hetherington; Woodward, 2003).

2.5. Conclusão

A suscetibilidade dos biótipos de grama-seda variou conforme o tratamento empregado para obtenção de novas plantas e pelas condições de aplicação do herbicida glifosato.

Não foram observados, nos biótipos avaliados, diferenças nas estruturas morfológicas que pudessem indicar alguma adaptação evolutiva ou que corroborasse para a compreensão da diminuição de suscetibilidade ao herbicida e diminuindo seu controle.

Em campo, os tratamentos com uso associado de herbicida pré e pós emergente + grade intermediária apresentaram melhor resultado no controle de plantas daninhas. Contudo se faz necessários mais estudos, em diferentes ambientes de produção para confirmar esse resultado.

Também é importante ressaltar que em nenhum dos tratamentos houve aumento de produtividade da cana de açúcar.

Referências

- Amarante Junior, O.P.D.; Santos, T.C.R.D.; Brito, N.M.; Ribeiro, M.L. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química nova**, v.25, n.4, p.589-593, 2002. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>.
- Amim, R.T.; Freitas, S.P.; Freitas, I.L.J.; Gravina, G.A.; Paes, H.M.F. Controle de plantas daninhas pelo indaziflam em solos com diferentes características físico-químicas. **Planta Daninha**, v.32, n.4, p.791-800, 2014. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000400014>.
- Beaulieu, J.M.; Leitch, I.J.; Patel, S.; Pendharkar, A.; Knight, C.A. Genome size is a strong predictor of cell size and stomatal density in angiosperms. **New Phytologist Foundation**, v.179, n.4, p.975-986, 2008. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02528.x>.
- Borgato, E.A.; Gonçalves Netto, A. Resistência múltipla e cruzada: casos no Brasil e mecanismos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: Christoffoleti, P.J.; Nicolai, M. **Aspectos da resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 4ed. Piracicaba: HRAC, 2016.

- Brosnan, J.; McCullough, P.E.; Breeden, G.K. Smooth crabgrass control with indaziflam at various spring timing. **Weed Technology**, v.25, n.3, p.363-366, 2011. doi: <https://doi.org/10.1614/WT-D-11-00005.1>.
- Castro, E.M. de; Pereira, F.J.; Paiva, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 234p. 2009.
- Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB]. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar: segundo levantamento, safra 2022/23, agosto de 2022**. Brasília: CONAB, 2022. 59p.
- Christoffoleti, P.J.; López-Ovejero, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v.21, n.3, p.507-515, 2003. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000300020>.
- Dias, F.F. Alguns elementos sobre a cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Brasil. **Geosul**, v.36, n.79, p.116-142, 2021. doi: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e73805>.
- Drake, P.L.; Froend, R.H.; Franks, P.J. Smaller, faster stomata: scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. **Journal Experimental Botany**, v.64, n.2, p.495-505, 2013. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/ers347>.
- Durigan, J.C. **Controle químico de plantas daninhas na citricultura**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. p.18. (Boletim Informativo).
- Franks, P.J.; Beerling, D.J. Maximum leaf conductance driven by CO₂ effects on stomatal size and density over geologic time. **Proceedings of the National Academy Sciences**, v.106, n.25, p.10343-10347, 2009. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0904209106>.
- Galli, A.J.B. Avaliação da eficiência de glyphosate em mistura com diversos produtos, no controle de *Commelina virginica* (trapoeraba) em citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 18., 1991, Brasília. **Resumos...** Brasília: SBHED, 1991. p.104-105.
- Hepworth, C.; Caine, R.S.; Harrison, E.L.; Sloan, J.; Gray, J.E. Stomatal development: focusing on the grasses. **Current Opinion in Plant Biology**, v.41, p.1-7, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.07.009>.
- Hetherington, A.M.; Woodward, F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, v.424, p.901-908, 2003. doi: <https://doi.org/10.1038/nature01843>.
- Horridge, G.; Tamm, S. Critical point drying for scanning electron microscopic study of ciliary motion. **Science**, v.163, n.3869, p.818, 1969. doi: <https://doi.org/10.1126/science.163.3869.8>.
- Johnson, B.J. Tolerance of four seeded commom bermudagrass (*Cynodon dactylon*) types to herbicides. **Weed Technology**, v.9, n.4, p.794-800, 1995. doi: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00024234>.

- Lucena, R.A.F.; Demartelaere, A.C.F.; Preston, H.A.F.; Preston, W.; Feitosa, S. Dos. S.F.; Ferreira, A. Dos. S.; Silva, H.F. Da; Santos, J.J.M. dos. Survey soil structure as function of mechanized harvesting differents stages sugarcane production areas in the municipality Pureza-RN. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.9, p. 64881-64892, 2020. doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-066>.
- Kapro, J.; Hall, J. Indaziflam, a new herbicide for pre-emergent controlo of weed in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentais. In: **23rd Asian-Pacific Weed Science Society Conference**. 2012. p.224.
- Karnovsky, M.J. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. **The Journal of Cell Biology**, v.27, n.2, p.137-138, 1965.
- Khan, R.; Ahmad, M.; Zafar, M.; Ullah, A. Scanning electron and light microscopy of foliar epidermal characters: a tool for plant taxonomists in the identification of grasses. **Microscopy Research and Technique**, v.80, n.10, p.1123-1140, 2017. doi: <https://doi.org/10.1002/jemt.22909>.
- Kissmann, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. São Paulo: Basf, 1997. 825p.
- Kitajima, E.W.; Leite, B. **Curso introdutório de microscopia eletrônica de varredura**. 37 p. 1998.
- Lorenzi, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 7ed. Nova Odessa, 1986. 379p.
- Mitich, L.W. Bermudagrass. **Weed Technology**, v.3, n.2, p.433-435, 1989. doi: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00032103>
- Oross, J.W.; Thomson, W.W. The ultrastructure of the salt glands of *Cynodon* and *Distichlis* (Poaceae). **American Journal of Botany**, v.69, n.6, p.939-949, 1982. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1982.tb13337.x>.
- Perry, D.H.; McElroy, J.S.; Doroh, M.C.; Walker, R.H. Indazinflam utilization for controlling problemtic turfrass weed. **Applied Turfgrass Science**, v.8, p.1-7, 2011. doi: <https://doi.org/10.1094/ATS-2011-0428-01-RS>.
- Ramos, H.H.; Durigan, J.C. Avaliação da eficiência de uma mistura pronta de glyphosate mais 2,4-D no controle de *Commelina virginica* L. em citros. **Planta Daninha**, v.14, n.1, p.33-41, 1996. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-83581996000100004>.
- Ramos, A.R.; Felisberto, P.A.C.; Timossi, P.C.; Netto, A.P.C. Características agrônômicas da mucuna-preta em diferentes épocas de sementeira. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.4, p.1051-1058, 2018. doi: <https://doi.org/10.19084/RCA17140>.
- Rodrigues, B.N.; Almeida, F.S. **Guia de herbicidas**. Londrina: Edição dos autores. 697p. 6ed. 2011.

- Satichivi, N.M.; Wax, L.; Stoller, E.; Briskin, D. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, v.48, n.6, p.675-679, 2000. doi: [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0675:AATOGI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0675:AATOGI]2.0.CO;2).
- Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários [AGROFIT]. 2022. **MAPA – Coordenação-geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS**. Consulta de ingrediente ativo. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em 05 jun. 2022.
- Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas [SBCPD]. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD. 42p. 1995.
- Strauss, S.Y.; Rudgers, J.A.; Lau, J.A.; Irwin, R.E. Direct and ecological costs of resistance to herbivory. **Trends in Ecology & Evolution**, v.17, n.6, p.278-285, 2002. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02483-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02483-7).
- Streibig, J.C.; Kudsk, P.; Jensen, J.E. A general joint action model for herbicide mixtures. **Pesticide Science**, v.53, n.1, p.21-28, 1998. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199805\)53:1<21::AID-PS748>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199805)53:1<21::AID-PS748>3.0.CO;2-L).
- Timossi, P.C.; Alves, P.L.C.A.; Mattos, E.D. Avaliação da eficácia de glyphosate, aplicado isolado ou em mistura com outros herbicidas, no controle de uma população de trapoeirinha em pomares cítricos In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22. 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** p.437.
- Toffoli, C.R. **Possibilidades de controle químico de grama-seda (*Cynodon dactylon*) com o indaziflam**. 2020. 55f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2020.
- Tompkins, J. **Pesticide fact sheet: indaziflam**. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: https://www.epa.gov/opp00001/chem_search/registration/fs_PC080818_26-jul-10.pdf. Acesso 05 mai. 2022.
- Tufail, A.; Ahmad, F.; Hameed, M.; Ahmad, R. Growth performance and stomatal behavior in relation to ecotypic adaptations in *Cynodon dactylon* (L.) Pers. **Pakistan Journal Botany**, v.49, n.4, p.1395–1403, 2017.
- Vráblová, M.; Vrábl, D.; Hronková, M.; Kubásek, J.; Šantrůček, J. Stomatal function, density and pattern, and CO₂ assimilation in *Arabidopsis thaliana tmm1* and *sdd1 1* mutants. **Plant Biology**, v.19, n.5, p.689-701, 2017. doi: <https://doi.org/10.1111/plb.12577>.
- War, A.R.; Paulraj, M.G.; Ahmad, T.; Buhroo, A. A.; HUSSAIN, B.; Ignacimuthu, S.; Sharma, H. C. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant Signaling & Behavior**, v.7, n.10, p.1306–1320, 2012. doi: <https://doi.org/10.4161/psb.21663>.

Wu, Y.; Taliaferro, C.M. Bermudagrass. In: Singh, R.J. (ed). **Genetic Resources, Chromosome Engineering, and crop improvement: forage crops**. v.5. New York, 2009. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203489260>.

3. AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE ¹⁴C-GLIFOSATO EM GRAMA-SEDA (*Cynodon dactylon*) EM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA NO SOLO COM ADIÇÃO DE ADJUVANTE, E ESTRESSE OXIDATIVO

Resumo

O controle de plantas daninhas após aplicação de herbicidas varia de acordo com a suscetibilidade dos biótipos presentes na área e a grama-seda (*Cynodon dactylon*) trata-se de uma espécie tolerante ao glifosato. A fisiologia dos herbicidas nas plantas é um importante fator a ser estudado para compreender o comportamento dos herbicidas em cada biótipo. O estudo do metabolismo também pode auxiliar a elucidação dos mecanismos de tolerância das plantas. O presente estudo objetivou avaliar a absorção e translocação do herbicida glifosato em biótipos de grama seda com e sem adição de adjuvante e em diferentes teores de água no solo. O estresse oxidativo também foi avaliado em três biótipos após aplicação do herbicida. Biotipos de grama seda foram avaliados para caracterização da suscetibilidade ao herbicida glifosato. O herbicida foi aplicado com e sem adição de adjuvante. Avaliação de controle visual (%) e posterior aferição de matéria seca (g) foram realizadas 28 dias após a aplicação. A determinação do teor de água no solo foi realizada e biótipos de grama seda foram conduzidos em vasos plásticos contendo 40% e 70% da capacidade de campo. A absorção e translocação de ¹⁴C-Glifosato foi realizada em ambos os biótipos, nas duas capacidades de campo, com e sem adição de adjuvante. Para estudo de estresse oxidativo as plantas foram coletadas aos 0, 7, 14 e 21 dias após aplicação do herbicida glifosato, conservadas em nitrogênio líquido, maceradas e processadas para a determinação da peroxidação lipídica através da detecção de malonaldeído (MDA) e quantificação de peróxido de hidrogênio (H₂O₂). A adição de glifosato na calda de pulverização promoveu maior absorção e translocação em ambas as capacidades de campo testadas. O estresse oxidativo ocorreu nas plantas até três semanas após avaliação e a resposta de peroxidação de lipídeos (MDA) foi variável por biótipo. Estudo das enzimas envolvidas no sistema antioxidante pode proporcionar mais informações sobre o metabolismo do herbicida na espécie.

Palavras-chave: Estresse Enzimático, Fisiologia de Herbicidas, Planta Daninha

Abstract

Weed control after herbicide application varies according to the susceptibility of the biotypes present in the area and bermuda grass (*Cynodon dactylon*) is a species tolerant to glyphosate. The physiology of herbicides in plants is an important factor to be studied to understand the behavior of herbicides in each biotype. The study of metabolism can also help to elucidate the tolerance mechanisms of plants. The present study aimed to evaluate the absorption and translocation of the herbicide glyphosate in silk grass biotypes with and without addition of adjuvant and at different soil water contents. Oxidative stress was also evaluated in three biotypes after herbicide application. bermuda grass biotypes were evaluated for characterization of susceptibility to glyphosate herbicide. The herbicide was applied with and without addition of adjuvant. Visual control assessment (%) and subsequent measurement of dry matter (g) were performed 28 days after application. The determination of soil water content was carried out and silk grass biotypes were conducted in plastic pots containing 40% and 70% of field capacity. The absorption and translocation of ¹⁴C-Glyphosate was performed in both biotypes, in the two field capacities, with and without addition of adjuvant.

For the study of oxidative stress, the plants were collected at 0, 7, 14 and 21 days after application of the glyphosate herbicide, preserved in liquid nitrogen, macerated and processed for the determination of lipid peroxidation through the detection of malondialdehyde (MDA) and quantification of peroxide of hydrogen. The addition of glyphosate in the spray solution promoted greater absorption and translocation in both tested field capacities. Oxidative stress occurred in plants up to three weeks after evaluation and the lipid peroxidation response (MDA) was variable by biotype. Study of the enzymes involved in the antioxidant system can provide more information about the metabolism of the herbicide in the species.

Keywords: Enzymatic stress, physiology of herbicides, weeds.

3.1. Introdução

Tolerância e resistência de plantas daninhas a herbicidas são conceitos distintos utilizados para descrever o baixo sucesso de controle das plantas daninhas após aplicação de determinados herbicidas. Enquanto a resistência de plantas daninhas ao herbicida refere-se a capacidade da planta de sobreviver e se reproduzir após aplicação de uma determinada dose que, em condições normais, controla o restante da população, a tolerância de plantas daninhas a herbicidas refere-se a capacidade inata de uma espécie a sobreviver e se reproduzir após a exposição a dose recomendada de herbicida, e está relacionada a variabilidade genética e não a um processo de seleção após consecutivas aplicações de um determinado produto (Klingman, Ashton e Noordhoff, 1975; Harrison; Loux, 1995).

Atualmente, o herbicida mais utilizado no controle de grama-seda em cana-de-açúcar é o glifosato. Trata-se de um herbicida sistêmico, absorvido pelas folhas e transportado por toda a planta. A absorção dos herbicidas depende da presença de água, tanto no solo quanto na planta, para que o mesmo possa ser translocado. A movimentação dos herbicidas pelos tecidos vasculares é imprescindível para que as moléculas cheguem aos sítios de ação, onde irão exercer sua atividade (Satichivi et al., 2000).

Apesar de não ser um herbicida seletivo, algumas plantas apresentam mecanismos de defesa que impedem que os herbicidas atinjam o sítio de ação. Este mecanismo pode estar relacionado com a resistência de algumas espécies de plantas daninhas à herbicidas ou relacionado a suscetibilidade diferencial entre biótipos. A absorção dos herbicidas depende da presença de água, tanto no solo quanto na planta, para que o mesmo possa ser translocado. A redução da absorção ou da translocação do herbicida na planta é um exemplo destemecanismo (Christoffoleti; López-Ovejero, 2003).

Em alguns casos as plantas daninhas absorvem o herbicida, porém o composto permanece retido na folha, apresentando baixa translocação para o restante da planta, de

forma que a quantidade de produto que atinge o alvo é bem reduzida, não sendo capaz de causar efeito fitotóxico (Borgato; Gonçalves Netto, 2016).

A adição de produtos à calda de pulverização que auxiliem no contato do herbicida com a planta podem aumentar sua absorção e a translocação do herbicida. A cobertura foliar e um fator determinante para sucesso de controle de herbicidas aplicados em pós emergência. Em alguns casos, adição de adjuvante a calda de pulverização pode reduzir a dose de produto necessária (Vargas; Roman, 2006).

Divididos em duas categorias, adjuvantes podem ser classificados como: surfactantes (modificando a propriedade da superfície dos líquidos) ou aditivos (que possuem ação direto sobre a cutícula (Fleck, 1993).

As respostas das plantas a aplicação de herbicidas pode ser ampla, variando desde nenhuma resposta até a morte das plantas. Em casos de suscetibilidade diferencial, alguns biótipos apresentam uma resposta enquanto outros podem apresentar resposta totalmente diferente. Os herbicidas, após absorvidos e translocados, atuam diretamente no sítio de ação produzindo algum tipo de estresse. Sistemas catabólicos das plantas são usados para degradar os xenobióticos e em alguns casos a produção deste estresse pode ser letal, enquanto em outros casos pode haver a metabolização e substituição das enzimas através da via *de novo* síntese (Borella et al., 2019).

No caso do glifosato, herbicida do grupo dos inibidores da enzima 5-enolpiruvilchiquimato3-fosfato sintase (EPSPs), a inibição da produção de proteínas devido a falta dos aminoácidos aromáticos e a alteração nas respostas de sinalização celular e defesa das plantas levam a um elevado nível de estresse letal aos biótipos sensíveis. O conjunto de reações que ocorrem a nível celular geram espécies reativas de oxigênio (EROs), entre as quais, destaca-se o peróxido de hidrogênio, que em altas concentrações leva a morte das plantas (Pandhair; Sekhon, 2006).

Desta forma, objetivou-se avaliar a adição de adjuvante ao glifosato no controle da planta daninha, bem como absorção e translocação do herbicida em biótipos com suscetibilidade diferencial ao herbicida em dois níveis de água do solo. Objetivou-se também avaliar o estresse oxidativo nos diferentes biótipos após aplicação de glifosato através da avaliação da peroxidação lipídica (MDA) e do conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

3.2. Material e Métodos

Coleta do material e propagação

Para a propagação vegetativa do material estolões de 5 centímetros de plantas desenvolvidas dos biótipos Sp 1 15 (Biotipo 1), Sp 3 7 (Biotipo 2) e Sp 25 7 (Biotipo 3) foram obtidos e acondicionados em bandeja contendo substrato vegetal até o desenvolvimento de raízes e folhas verdadeiras. Plantas com 2 folhas desenvolvidas foram transplantadas para vasos plásticos contendo solo para condução dos experimentos. As características físicas e químicas do solo são descritas na Tabela 8.

Tabela 8. Características físicas e químicas do solo.

Atributos	Unidades	Solo médio
pH (CaCl ₂)	-	5,1
M.O	g kg ⁻¹	30,0
pH (CaCl ₂)	mg kg ⁻¹	12,0
K	mmolc kg ⁻¹	2,3
Ca	mmolc kg ⁻¹	38,0
Mg	mmolc kg ⁻¹	18,0
H+Al	mmolc kg ⁻¹	28,0
SB	mmolc kg ⁻¹	58,3
CTC	mmolc kg ⁻¹	86,3
Areia Total	g kg ⁻¹	639,0
Silte	g kg ⁻¹	58,0
Argila	g kg ⁻¹	303,0
Classe textura	-	médio-argiloso

Fonte: Laboratório do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ, USP, Piracicaba, São Paulo. pH - potencial hidrogeniônico; K - potássio; Ca - cálcio; Mg - magnésio; CTC - capacidade de troca catiônica; P - fósforo; M.O - matéria orgânica; H+Al - acidez potencial; BS - saturação por base.

Aplicação de herbicidas

Os tratamentos foram aplicados utilizando um pulverizador costal experimental, pressurizado à CO₂, com pressão constante de 2 bar, velocidade de 4 km/h. Utilizou-se os bicos Magnojet 110.02 AD, correspondendo à uma vazão de 200L ha⁻¹, posicionado à 0,5m acima do alvo.



Figura 3 – Aplicação de herbicidas nos experimentos de controle de grama-seda, Piracicaba – SP, 2021.

Fonte: próprio autor.

Determinação de ED₅₀ para os biótipos de grama-seda tolerantes ao glifosato

Ensaio foram conduzidos no Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, Piracicaba - SP. Estolões de grama-seda foram transplantados em vasos plásticos de 1L, em casa de vegetação. O grau de suscetibilidade dos biótipos no estágio recomendado de aplicação e as doses necessárias para a redução de controle em 50%, foram determinadas.

O herbicida glifosato (Zapp Qi[®]) com e sem adição de adjuvante específico para dessecação (0,05%)* foi utilizado, nas doses de 0, 360, 480, 720, 1440, 2880, 4320 e 5760 g e.a. ha⁻¹, com quatro repetições por tratamento.

A avaliação de controle foi realizada de acordo com escala da ALAM (1974), com porcentagem de controle variando de 0 a 100%. Aos 28 dias após a aplicação a parte aérea das plantas foi coletada e acondicionada em estufa com circulação de ar à 65°C até obtenção de peso constante para aferição de matéria seca. Os dados de curva dose-resposta foram submetidos à análise de variância e quando significativos foram ajustados ao modelo de regressão não-linear. Para determinação da dose necessária para reduzir o crescimento da planta em 50% (ED₅₀) com base na redução de massa seca foi utilizado software R.

* O adjuvante utilizado neste experimento foi o HELPER DESSEK – ICL.

Absorção e translocação de ¹⁴C-Glifosato

Para avaliação da absorção e translocação de glifosato, os biótipos de grama-seda foram cultivados em vasos de 240ml em duas condições de água no solo: 70% da capacidade de campo e 40% da capacidade de campo. A determinação de capacidade de campo dos vasos foi realizada no laboratório de física do solo, do departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP. Os vasos, preenchidos com terra fina seca ao ar e pesados, foram depositados em bandejas para adição de água, de modo que a saturação do solo ocorra por

capilaridade, retirando oxigênio dos poros contidos no solo. Após a saturação, os vasos foram retirados das bandejas e acondicionados sobre um suporte para drenagem da água não retida. Os vasos foram novamente pesados e por diferença de massa, determinada a capacidade de campo.



Figura 4 – Determinação da capacidade de campos em vasos de grama-seda, Piracicaba-SP, 2021.

Fonte: próprio autor.

Soluções de trabalho foram preparadas, utilizando o herbicida radiomarcado ^{14}C -glifosato, com produto comercial (Zapp QI[®]) na dose de $1.440 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, sendo uma solução preparada com adição do adjuvante e outra sem o adjuvante. A absorção do herbicida foi avaliada 3, 9, 24, 48 e 72 horas após a aplicação.

Os tratamentos foram aplicados conforme descrito anteriormente nas plantas, com a terceira folha expandida coberta para evitar contato com a solução de herbicida. A solução contendo o herbicida + herbicida radiomarcado foi aplicada com uma microseringa (Hamilton[®]) na terceira folha expandida da grama seda (Figura 5). Nos tempos de avaliação determinados acima as folhas contendo aplicação de herbicida radiomarcado foram removidas e lavadas em 3mL de solução contendo metanol + água (50% v/v). O líquido proveniente desta lavagem foi avaliado por espectrometria de cintilação líquida para determinação da porcentagem de herbicida absorvido.



Figura 5 – Aplicação de ^{14}C -Glifosato em grama-seda. Piracicaba – SP, 2021.
Fonte: próprio autor.

Após a determinação da quantidade de herbicida absorvido, as plantas foram removidas do solo e as raízes foram gentilmente enxaguadas para montagem de exsiccatas. As exsiccatas foram secas em estufa por 8 horas e após a secagem das plantas, autorradiografias foram obtidas (Figura 6). As plantas foram amostradas em: folha tratada, folhas acima da folha tratada, folhas abaixo da folha tratada e raiz. As amostras foram submetidas à combustão em um oxidador biológico (OX 600 Harvey Instruments) e a radioatividade quantificada por espectrometria de cintilação líquida de modo a obter a quantidade de herbicida translocado pela planta.



Figura 6 – Elaboração de exsiccatas para obtenção das imagens de translocação do herbicida glifosato em grama-seda. Piracicaba - SP, 2021.

Fonte: próprio autor.

Os dados de quantidade de herbicida absorvido, não absorvido e translocado foram submetidos a análise de variância e as interações foram analisadas. Quando significativas as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

Análise de estresse oxidativo: caracterização de peroxidação lipídica e peróxido de hidrogênio

Três biótipos de grama-seda foram transplantados conforme descrito anteriormente. As plantas foram conduzidas em vasos por 50 dias até o momento de aplicação de glifosato 1.440 g e.a. ha⁻¹. A aplicação do herbicida foi realizada conforme descrito anteriormente para o experimento de curva dose-resposta.

Amostras de tecido vegetal foram coletadas antes da aplicação (controle), 7, 14 e 21 dias após a aplicação de herbicida e armazenadas em nitrogênio líquido. A maceração de 0,2g de tecido vegetal foi realizada com nitrogênio líquido e homogeneizada com adição de 2mL de TCA (ácido tricloroacético) e 0,04g de polivinilpirrolidona (PVPP) (m/m). A peroxidação lipídica foi determinada pelo teste do ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) através da quantificação de malondialdeído (MDA), de acordo com metodologia proposta por Cakmak e Horst (1991).

O homogeneizado foi dividido em dois tubos Eppendorf e centrifugado a 10.000 rpm por 10 minutos, seguido de leitura em espectrofotômetro a 535 e 600nm para obtenção do teor de substâncias reativas ao ácido (TBARS).

A quantificação de peróxido de hidrogênio foi realizada conforme metodologia proposta por Alexieva et al. (2001) a partir da mesma amostra preparada para determinação de MDA. Uma alíquota de 0,2mL foi adicionada a 1mL de solução contendo 0,8ml de KI 1 mol L⁻¹ e 0,2 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 mol L⁻¹ pH 7,5. A amostra foi mantida em ambiente escuro e refrigerada por uma hora antes da leitura em espectrofotômetro a 390 nm.

Os dados de leitura de peróxido de hidrogênio e malonaldeído foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e quando significativos foram ajustados a equações de regressão.

3.3. Resultados

Determinação de ED₅₀ para os biótipos de grama-seda tolerantes ao glifosato

As curvas de controle dos biótipos 1 e 2 são apresentadas na Figura 7. Em ambos os biótipos, a associação de glifosato ao adjuvante (0,05% v/v) promoveu maior nota de controle visual em relação a aplicação do herbicida isolado, em todas as doses testadas. A porcentagem de redução da massa seca das plantas, aos 28 dias após a aplicação, em relação ao controle sem aplicação também foi maior nos tratamentos contendo associação do herbicida ao adjuvante (Figura 8).

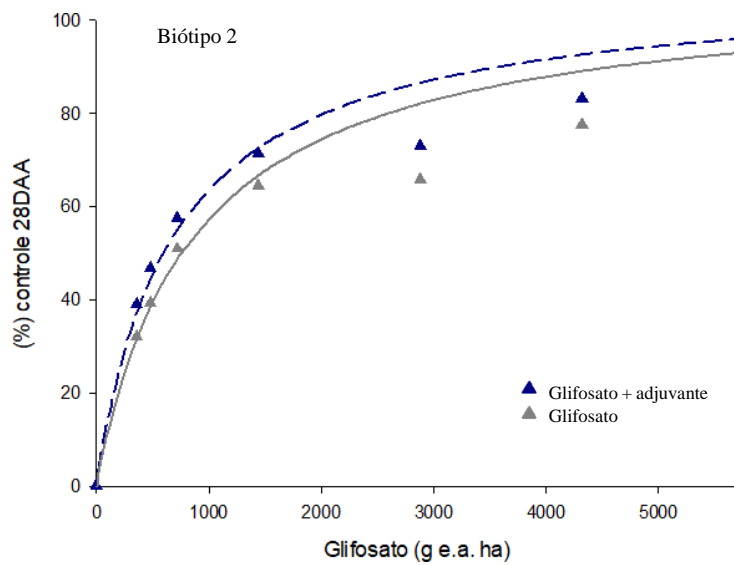
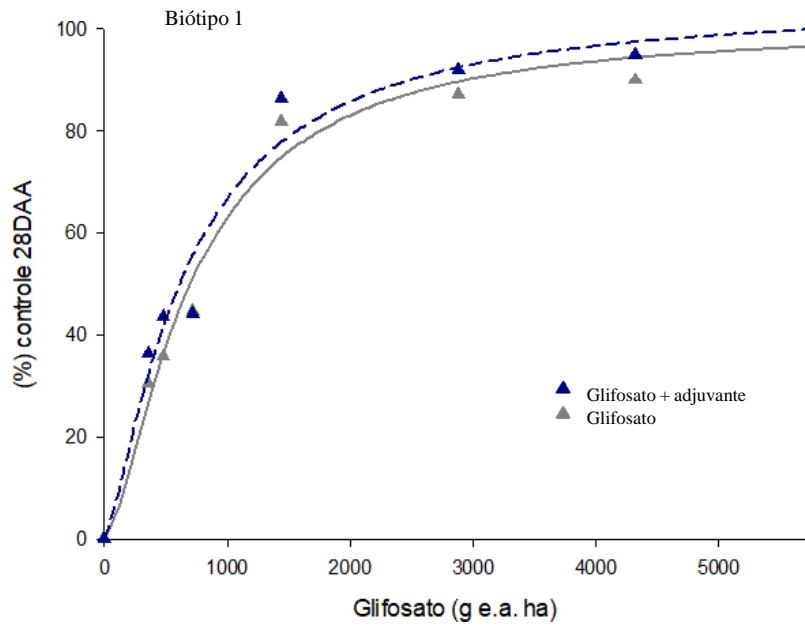


Figura 7. Controle visual de grama-seda (*Cynodon dactylon*) aos 28 dias após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba – SP, 2021.

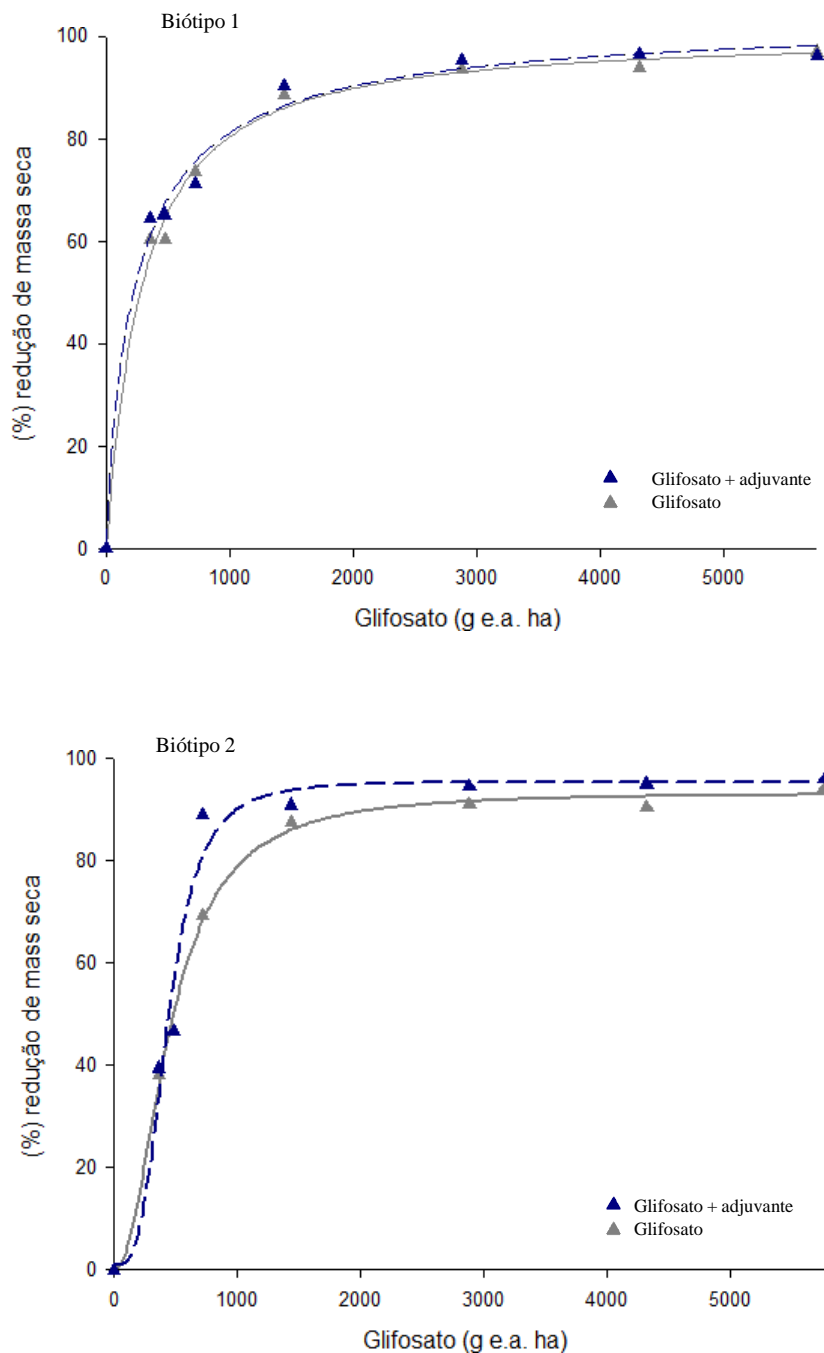


Figura 8. Porcentagem de redução de massa seca de grama-seda (*Cynodon dactylon*) em relação ao controle sem aplicação 28 dias após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba – SP, 2021.

A dose necessária para redução de 50% da matéria seca de plantas foi de 620,26 g e.a. ha⁻¹ nos tratamentos contendo glifosato e de 574,04 g e.a. ha⁻¹ nos tratamentos contendo adição de adjuvante, apresentando o segundo tratamento uma redução da dose de glifosato de 46,2 g e.a. ha⁻¹. Foi observada redução de crescimento das plantas nos tratamentos com a aplicação de

glifosato com adjuvante específico para dessecação, além de sintomas de amarelecimento e necrose (Figuras 9 e 10).



Figura 9. Controle visual biótipo 1, aos 28 dias após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba – SP, 2021.

Fonte: próprio autor.

Observou-se nos tratamentos com menor dose (360, 480 e 720 g e.a. ha⁻¹) redução do crescimento e desenvolvimento das plantas, além de sintoma de superbrotação de novos perfilhos, os quais não desenvolveram e os sintomas foram mais pronunciados nos tratamentos contendo associação entre glifosato e adjuvante. Para a espécie de grama-seda, o controle deve ser superior a 90%, visando um bom manejo em áreas de cana-de-açúcar, uma vez que o preparo de solo para o plantio pode fragmentar a planta e em casos de controle inferior a 90%, estolões que ainda apresentarem vigor, após fragmentados e separados da planta-mãe, originam novas plantas, através da reprodução assexuada, podendo espalhar a planta daninha na área de cultivo.

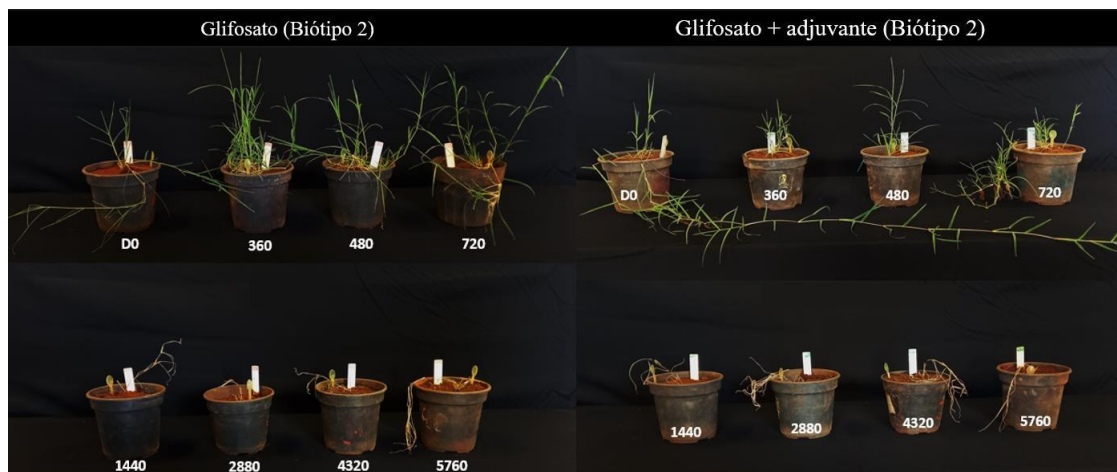


Figura 10. Controle visual biótipo 2, aos 28 dias após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba – SP, 2021.

Fonte: próprio autor.

O manejo da espécie é geralmente realizado de maneira integrada, com a utilização de herbicidas pré e pós emergentes, em associação com manejo físico. A adição de adjuvante ao glifosato na operação de dessecção pode auxiliar no controle, através do aumento de absorção do produto e da maior translocação do glifosato pela planta, reduzindo o vigor dos estolões.

Absorção e translocação de ¹⁴C-Glifosato em biótipos de grama-seda

Os dados de avaliações de absorção e translocação de glifosato em função do teor de água do solo (70% e 40% da capacidade de campo – “cc”) e da aplicação de glifosato ou glifosato com adjuvante são apresentados a seguir.

A interação entre biótipo \times capacidade de campo \times adjuvante não apresentou efeito significativo (pvalue > 0.05), desta forma os resultados foram descritos separadamente para cada capacidade de campo.

Em relação à porcentagem de herbicida não absorvida no biótipo 1 (Figura 11), percebe-se, nas duas condições de água do solo, que a porcentagem não absorvida pela planta é menor no tratamento contendo adjuvante. No ensaio conduzido com 40% da capacidade de campo, nota-se que após 24h, 48h e 72h a porcentagem de herbicida não absorvida é bastante reduzida. Da mesma forma, a porcentagem de herbicida absorvido pelo biótipo 1, com 40% capacidade de campo apresenta aumento progressivo, nos mesmos tempos de avaliação (24h, 48h e 72h), conforme apresentado na Figura 12.

A quantidade de herbicida absorvido pelo biótipo 1, em condição de 70% da capacidade de campo também é superior nos tratamentos contendo adjuvante, em relação a

aplicação do herbicida isolado. A porcentagem de herbicida translocado apresentou maiores valores na associação de glifosato + adjuvante, além de destaque para maior translocação do herbicida nas plantas conduzidas em condição de umidade do solo de 40% da capacidade de campo (Figura 13).

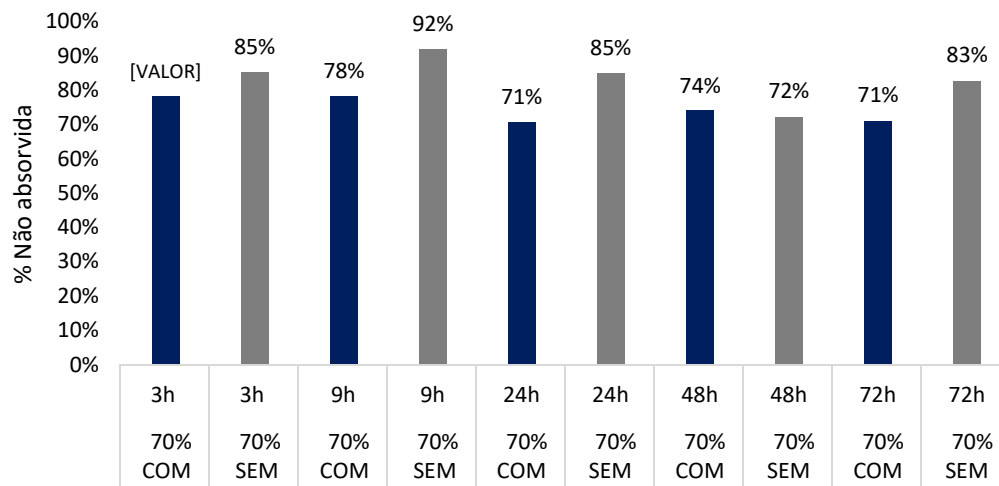
Autorradiografias das plantas de grama-seda cultivadas em 70% da capacidade de campo, 3, 9, 24, 48 e 72 horas após aplicação com e sem adição de adjuvante são apresentadas nas figuras 14 e 15. As imagens demonstram gradual aumento na quantidade de herbicida translocado e é possível notar maior translocação nos tratamentos contendo adjuvante.

Para as plantas cultivadas em 40% da capacidade de campo, as autorradiografias das avaliações realizadas 3, 9, 24, 48 e 72 horas após aplicação são apresentadas nas figuras 16 e 17.

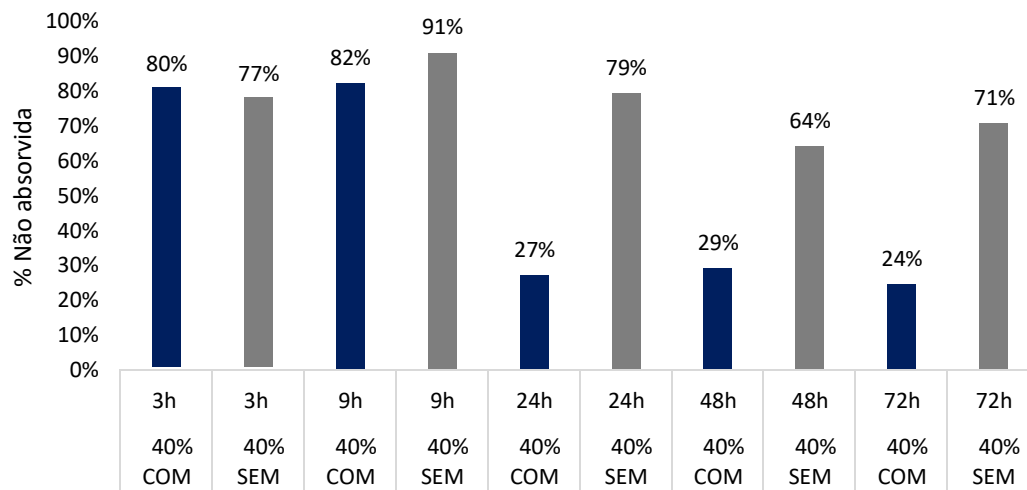
Dados referentes à absorção e translocação de glifosato para o biótipo 2 são apresentados nas Figuras 18, 19 e 20, respectivamente. Autorradiografias das plantas do biótipo 2 são apresentadas nas figuras 21 e 22 (70% capacidade de campo) e figuras 23 e 24 (40% capacidade de campo).

A fisiologia do herbicida na planta no segundo biótipo apresentou resultado similar ao biótipo 1, com maior absorção e maior translocação de glifosato nos tratamentos contendo adjuvante e maior absorção e translocação nas plantas conduzidas em 40% da capacidade de campo. As plantas conduzidas em condição limitante de água apresentaram maior absorção e maior translocação de glifosato aplicado com adjuvante.

A maior absorção do herbicida em ambos os biótipos, com adição de adjuvante pode estar relacionado ao efeito de espalhamento do produto após interceptado pelas folhas de grama-seda. Em relação ao teor de água no solo, os resultados obtidos evidenciam aumento na absorção e translocação do herbicida nos tratamentos contendo adição de adjuvantes, em condição de estresse hídrico (40% CC), ao contrário dos resultados descritos em literatura.



B1 - 70% da capacidade de campo



B1 - 40% da capacidade de campo

Figura 11. Porcentagem de herbicida não absorvido no biótipo 1, com 70% e 40% da capacidade de campo, com e sem adição de adjuvante.

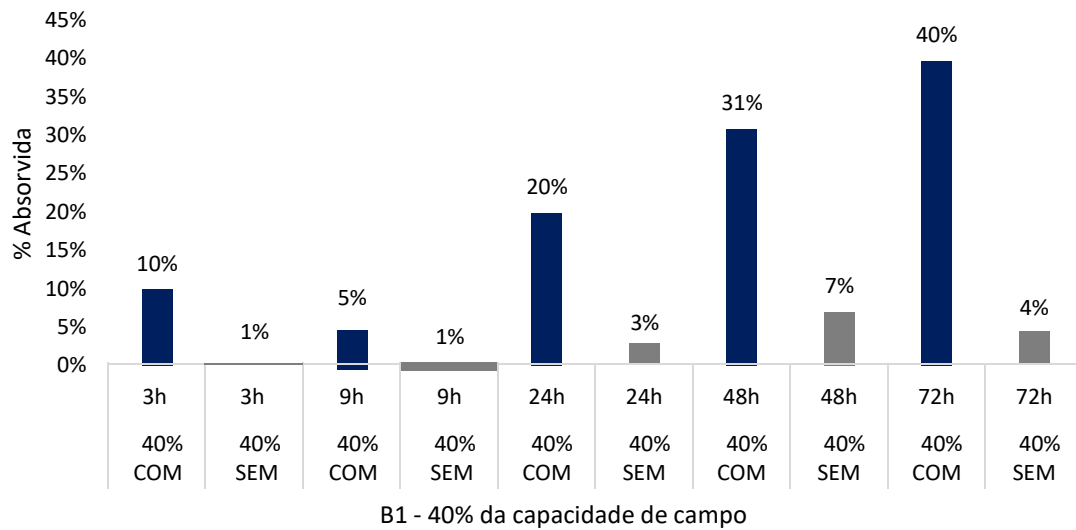
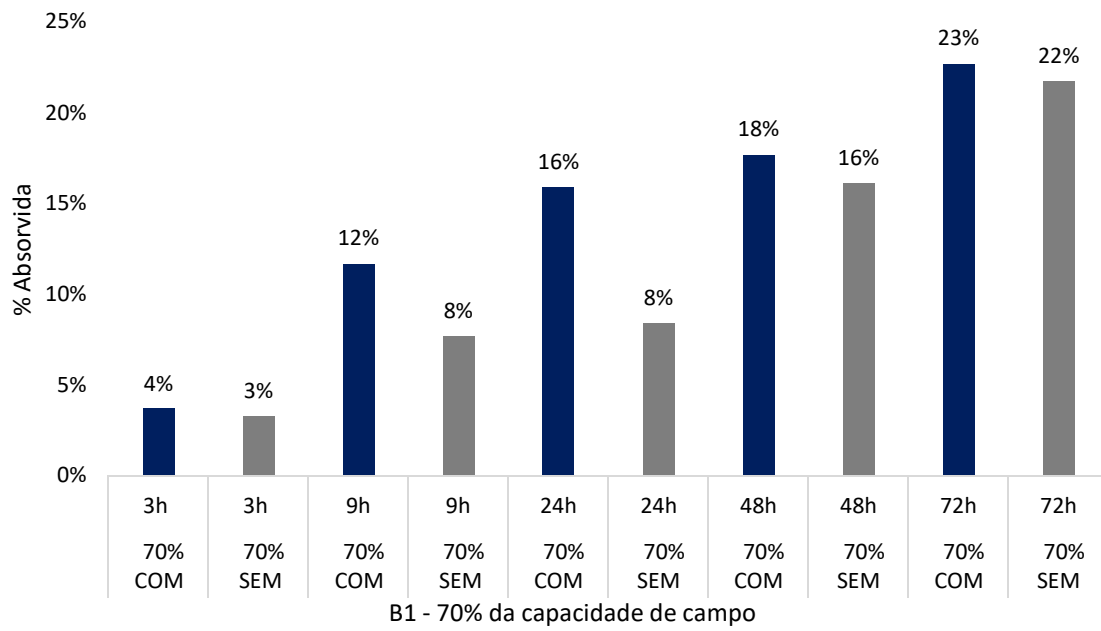


Figura 12. Porcentagem de herbicida absorvido no biótipo 1, com 70% e 40% da capacidade de campo, com e sem adição de adjuvante.

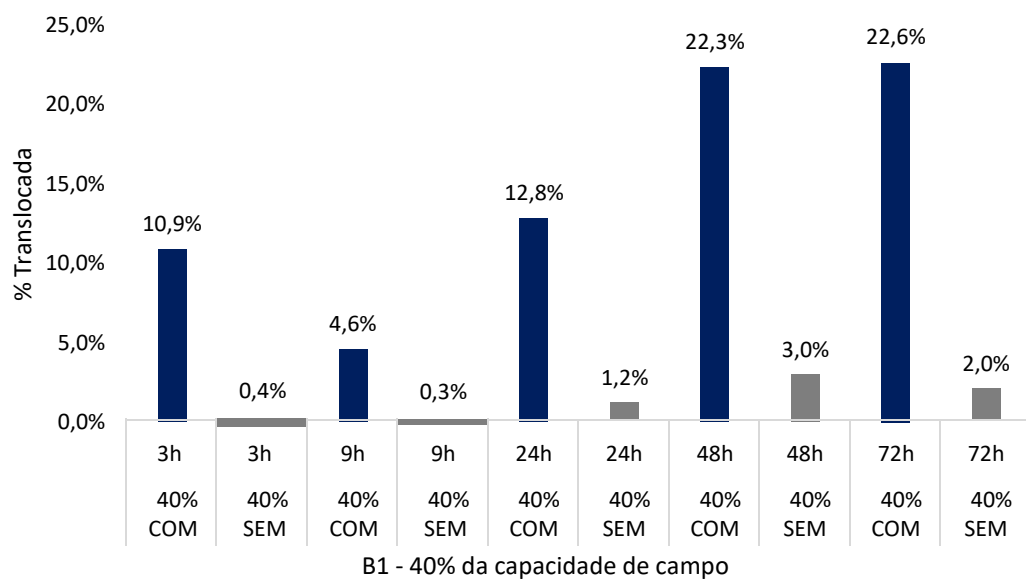
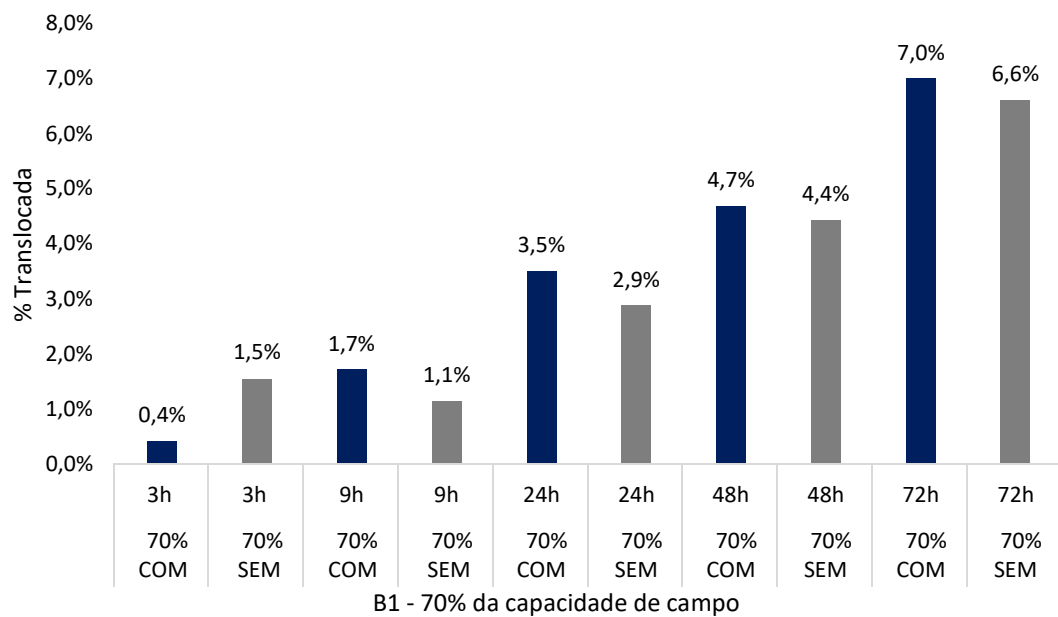


Figura 13. Porcentagem de herbicida translocado no biótipo 1, com 70% e 40% da capacidade de campo, com e sem adição de adjuvante.

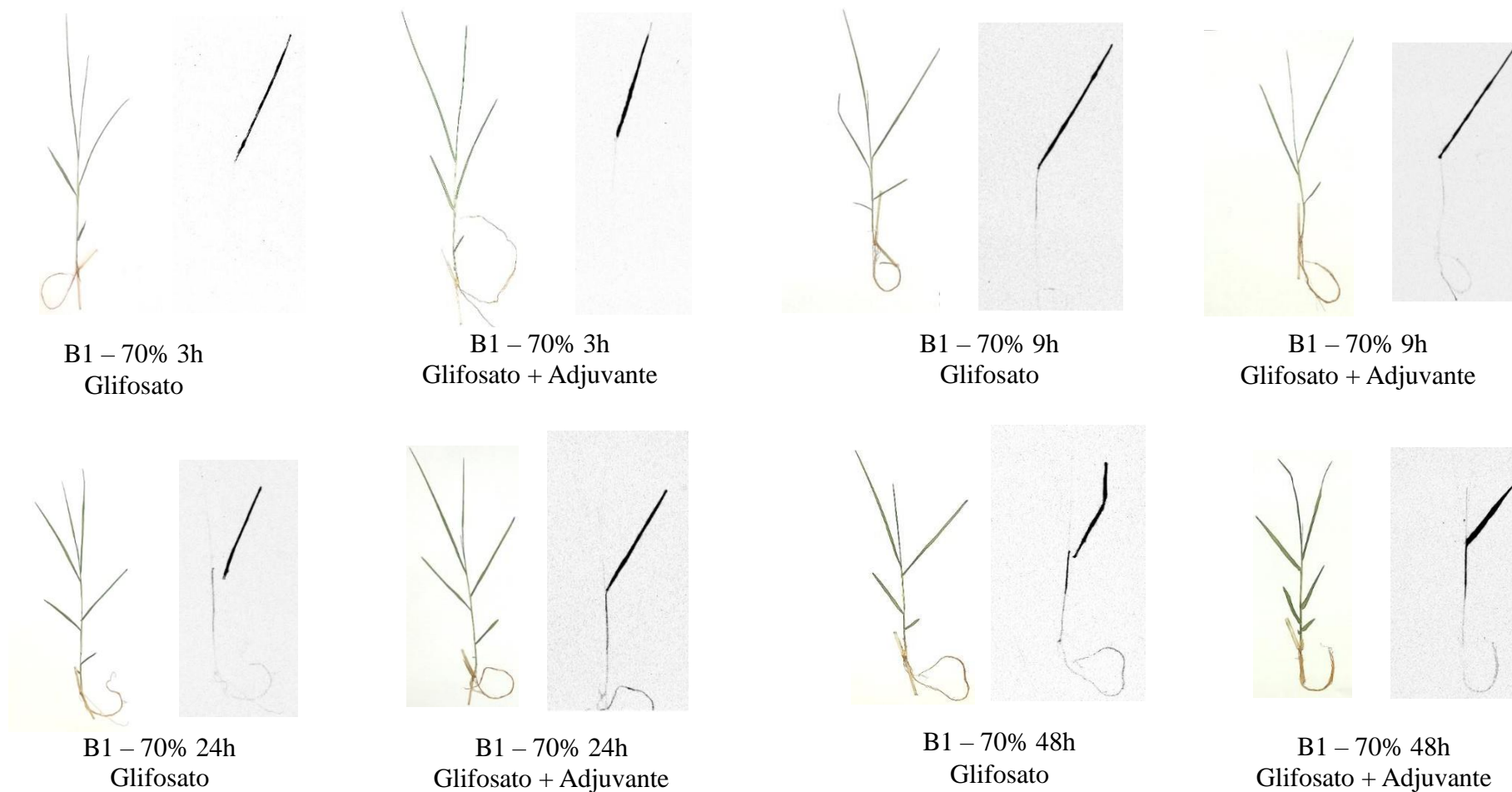


Figura 14. Autorradiografias de grama-seda (*C. dactylon*) cultivada em 70% da capacidade de campo, após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba-SP, 2021.



Figura 15. Autorradiografias de grama-seda (*C. dactylon*) cultivada em 70% da capacidade de campo, após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba-SP, 2021.

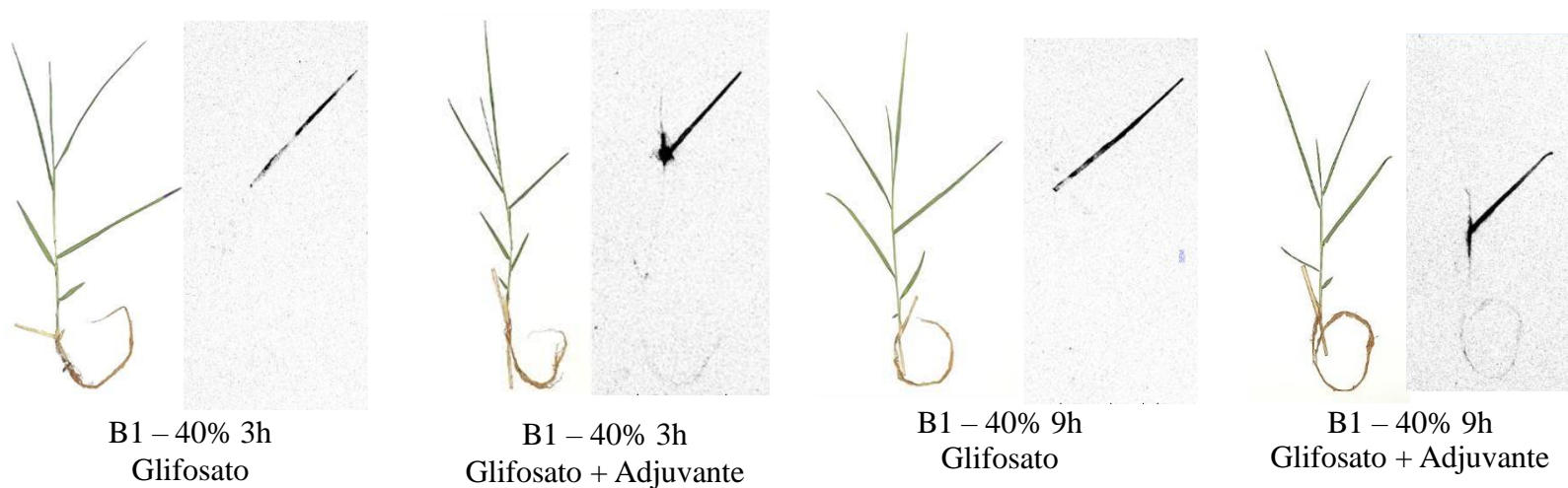


Figura 16. Autorradiografias de grama-seda (*C. dactylon*) cultivada em 40% da capacidade de campo, após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba-SP, 2021.

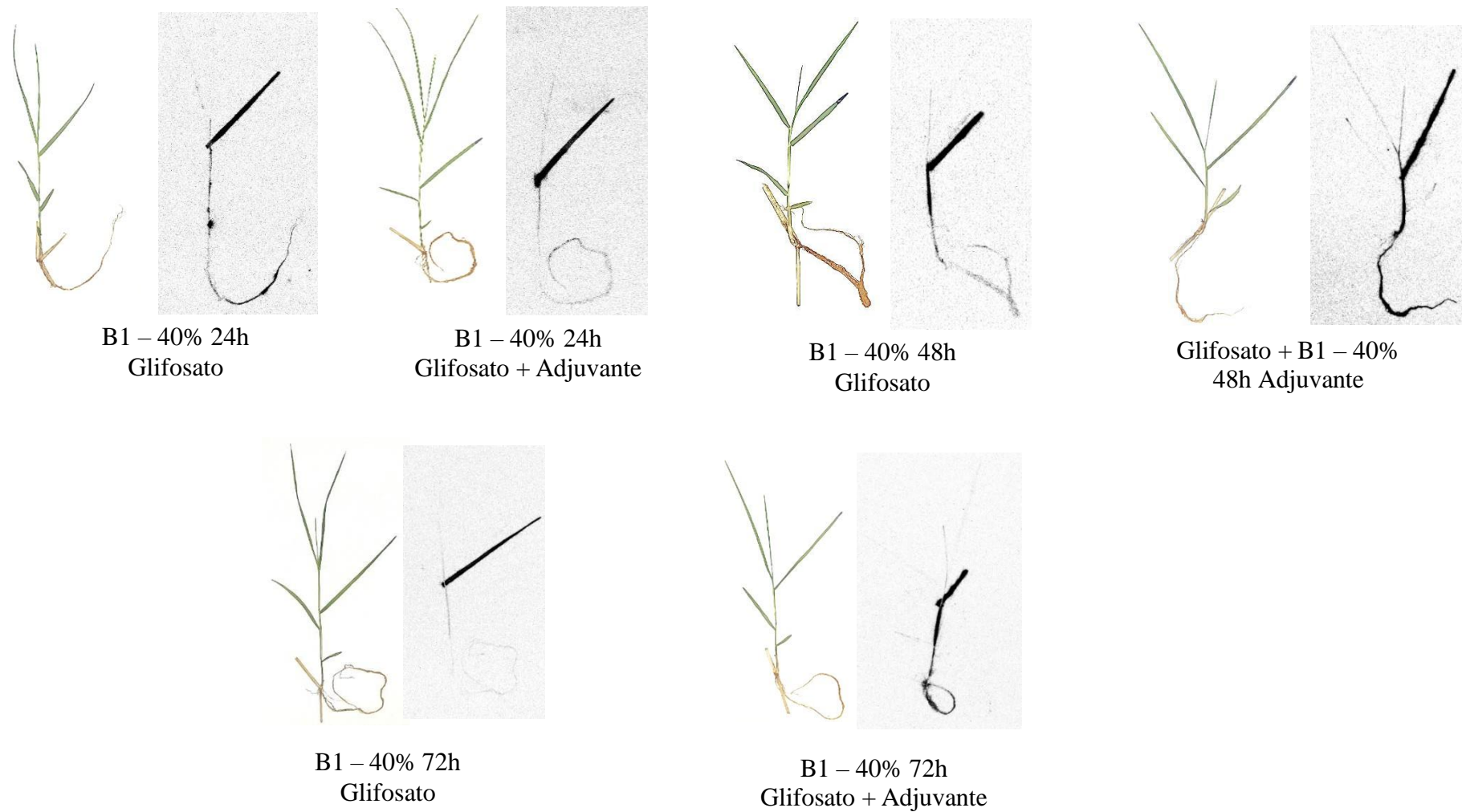


Figura 17. Autorradiografias de grama-seda (*C. dactylon*) cultivada em 40% da capacidade de campo, após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba-SP, 2021.

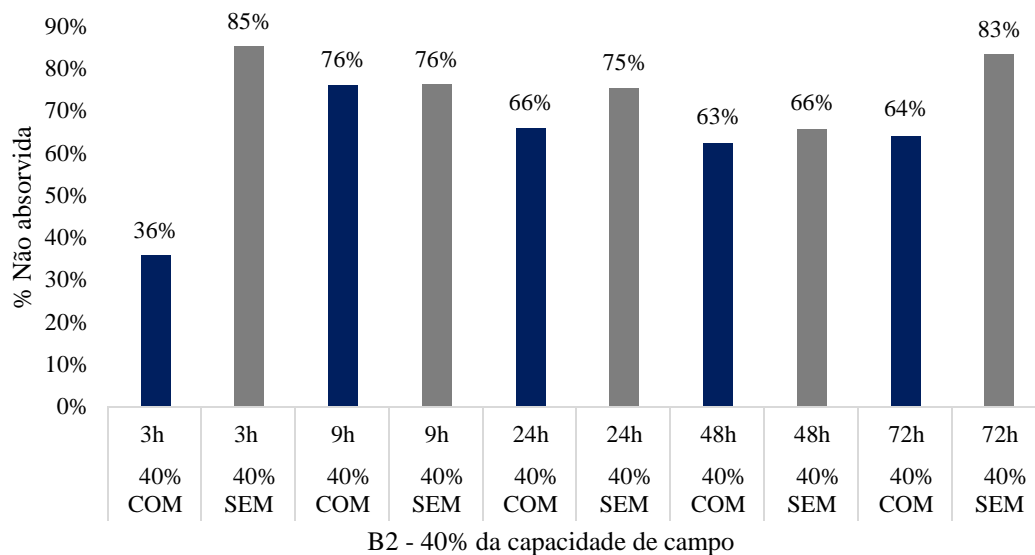
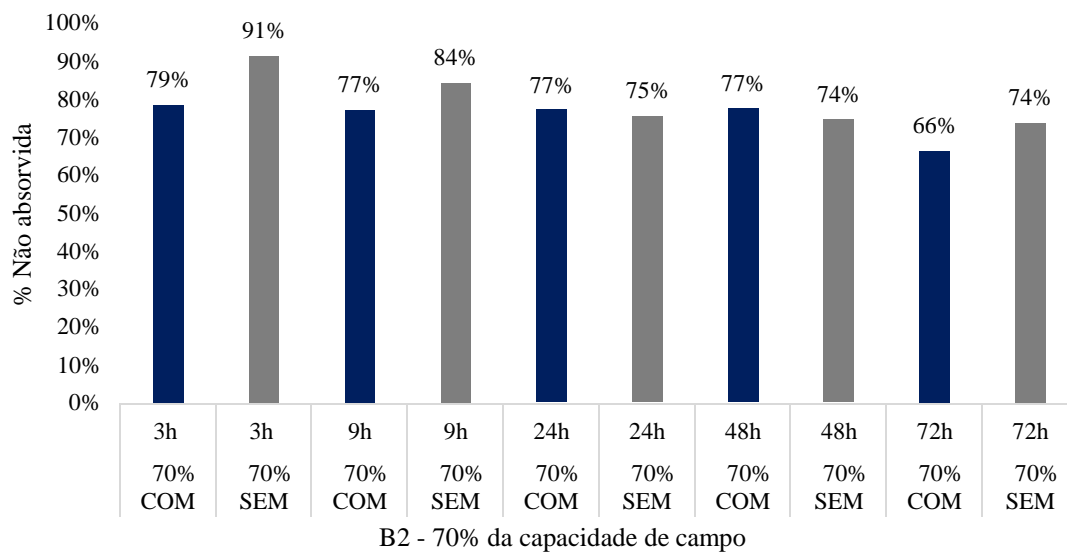


Figura 18. Porcentagem de herbicida não absorvido no biótipo 2, com 70% e 40% da capacidade de campo, com e sem adição de adjuvante.

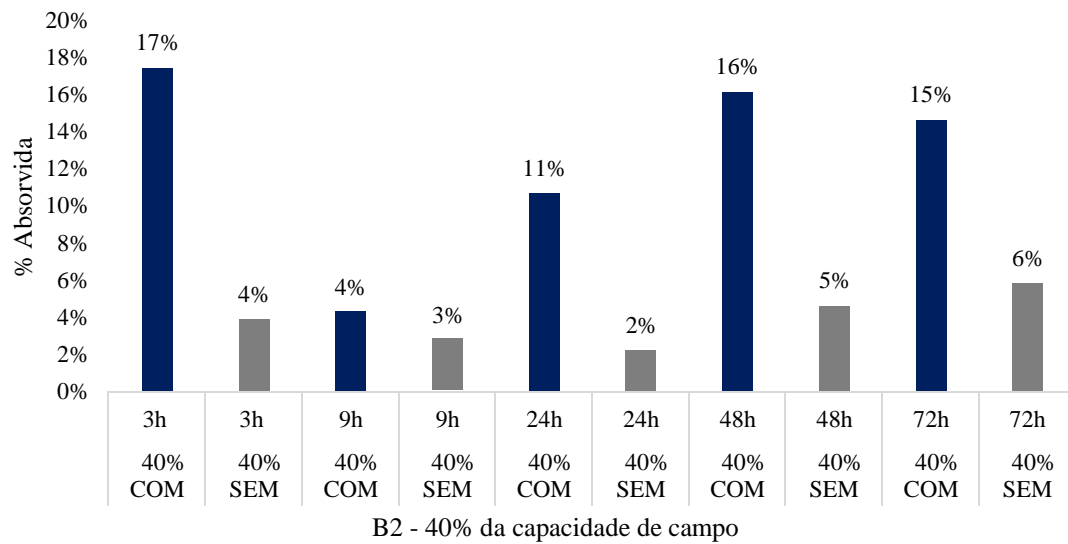
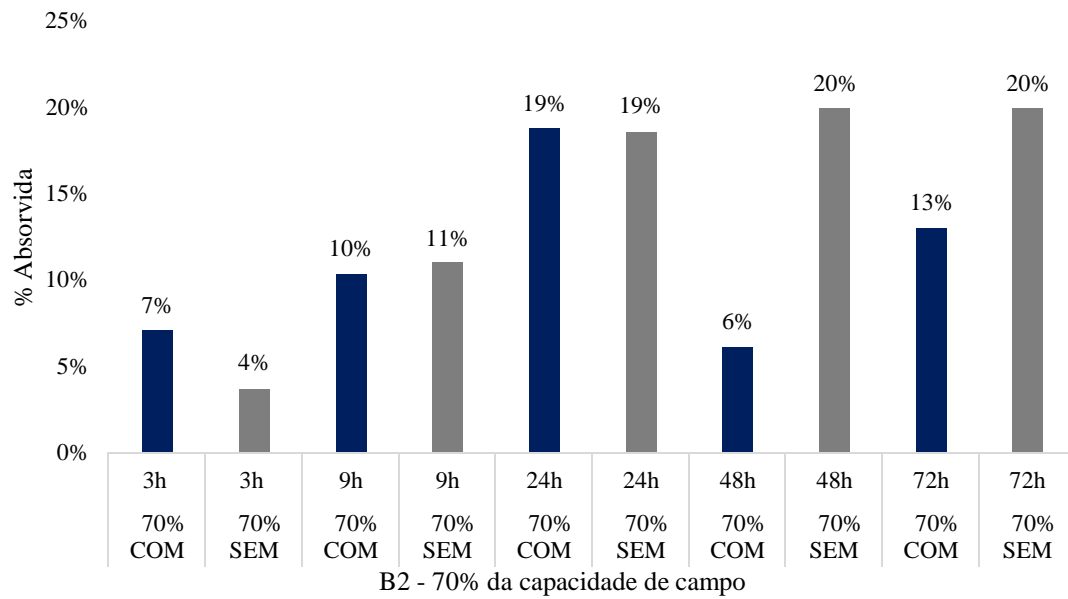
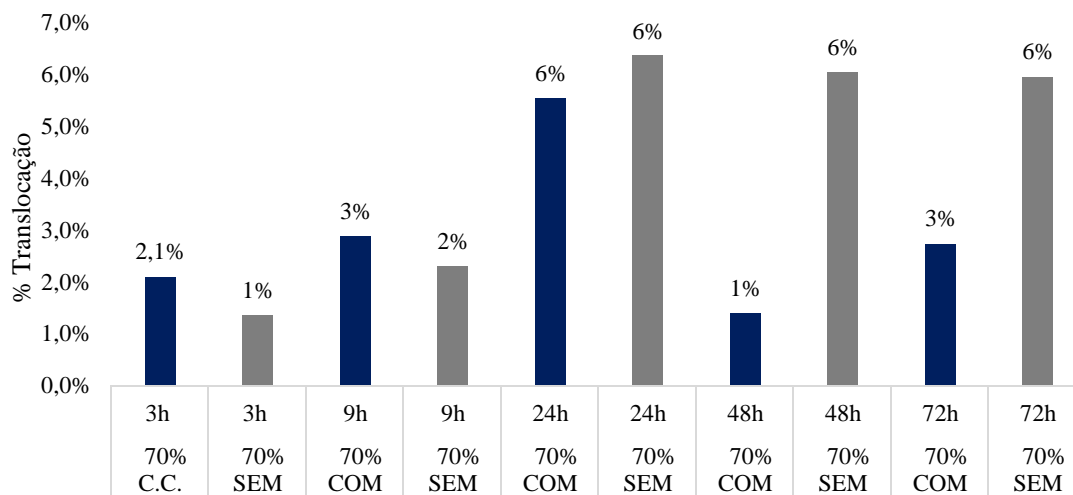
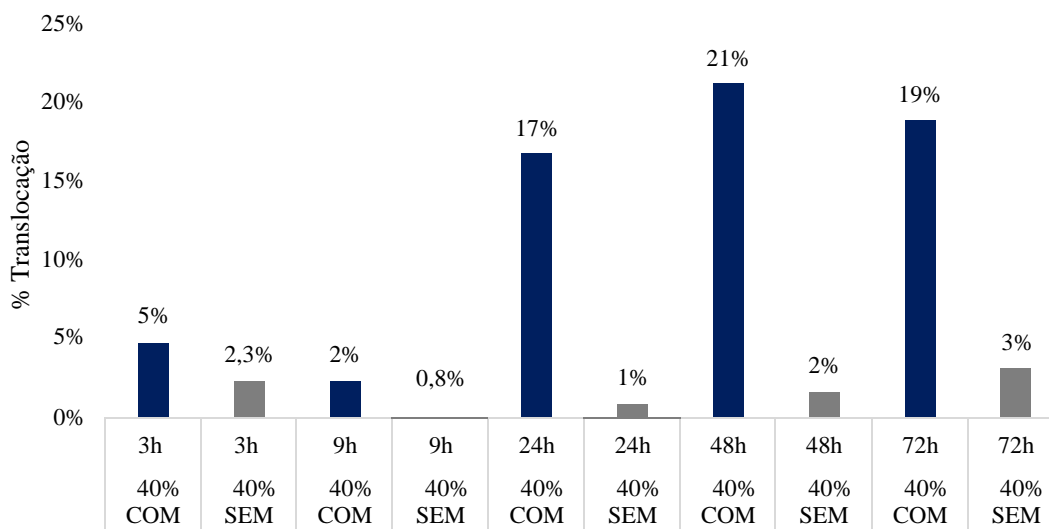


Figura 19. Porcentagem de herbicida absorvido no biótipo 2, com 70% e 40% da capacidade de campo, com e sem adição de adjuvante.



B2 - 70% da capacidade de campo



B2 - 40% da capacidade de campo

Figura 20. Porcentagem de herbicida translocado no biótipo 2, com 70% e 40% da capacidade de campo, com e sem adição de adjuvante.

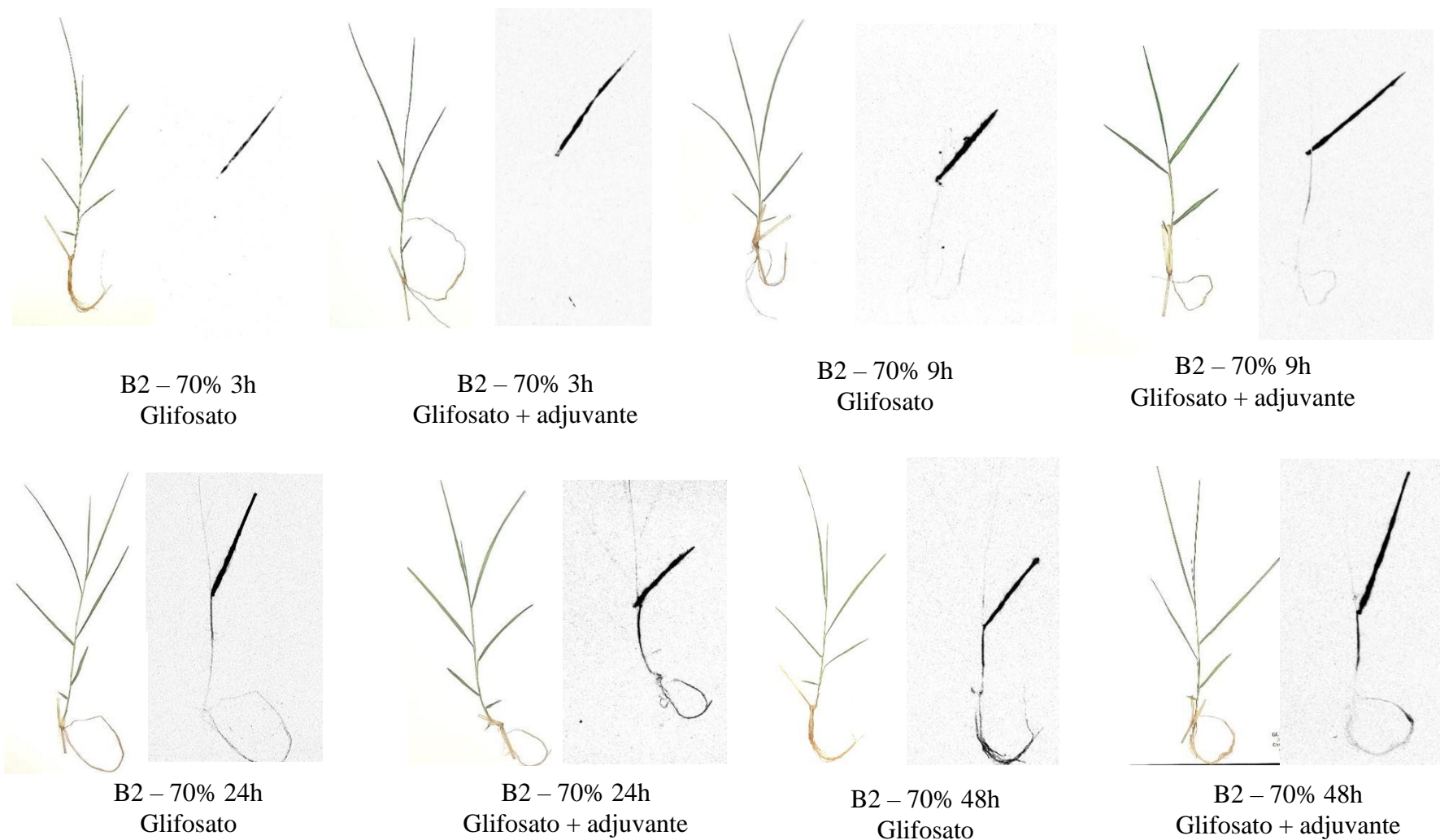


Figura 21. Autorradiografias de grama-seda (*C. dactylon*) cultivada em 70% da capacidade de campo, após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba-SP, 2021.

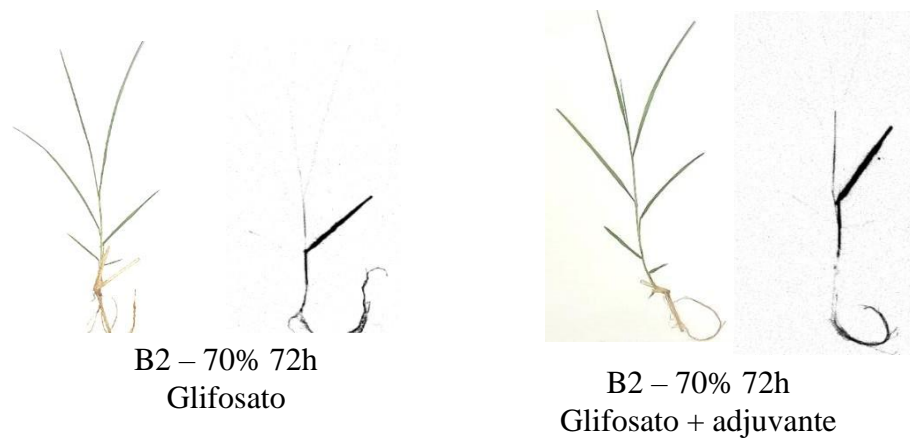


Figura 22. Autorradiografias de grama-seda (*C. dactylon*) cultivada em 70% da capacidade de campo, após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba-SP, 2021.

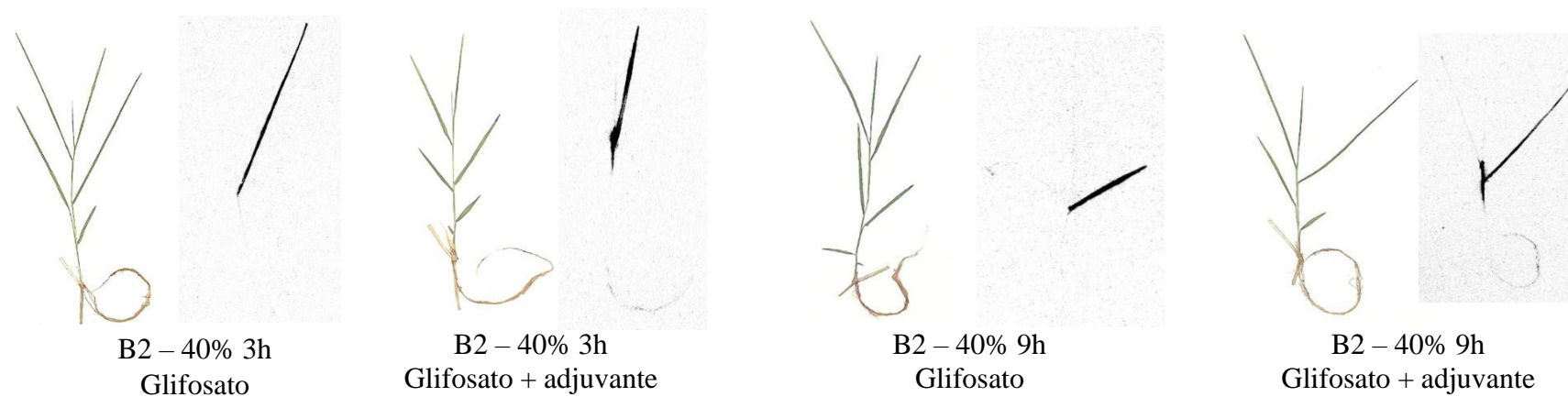


Figura 23. Autorradiografias de grama-seda (*C. dactylon*) cultivada em 40% da capacidade de campo, após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba-SP, 2021.

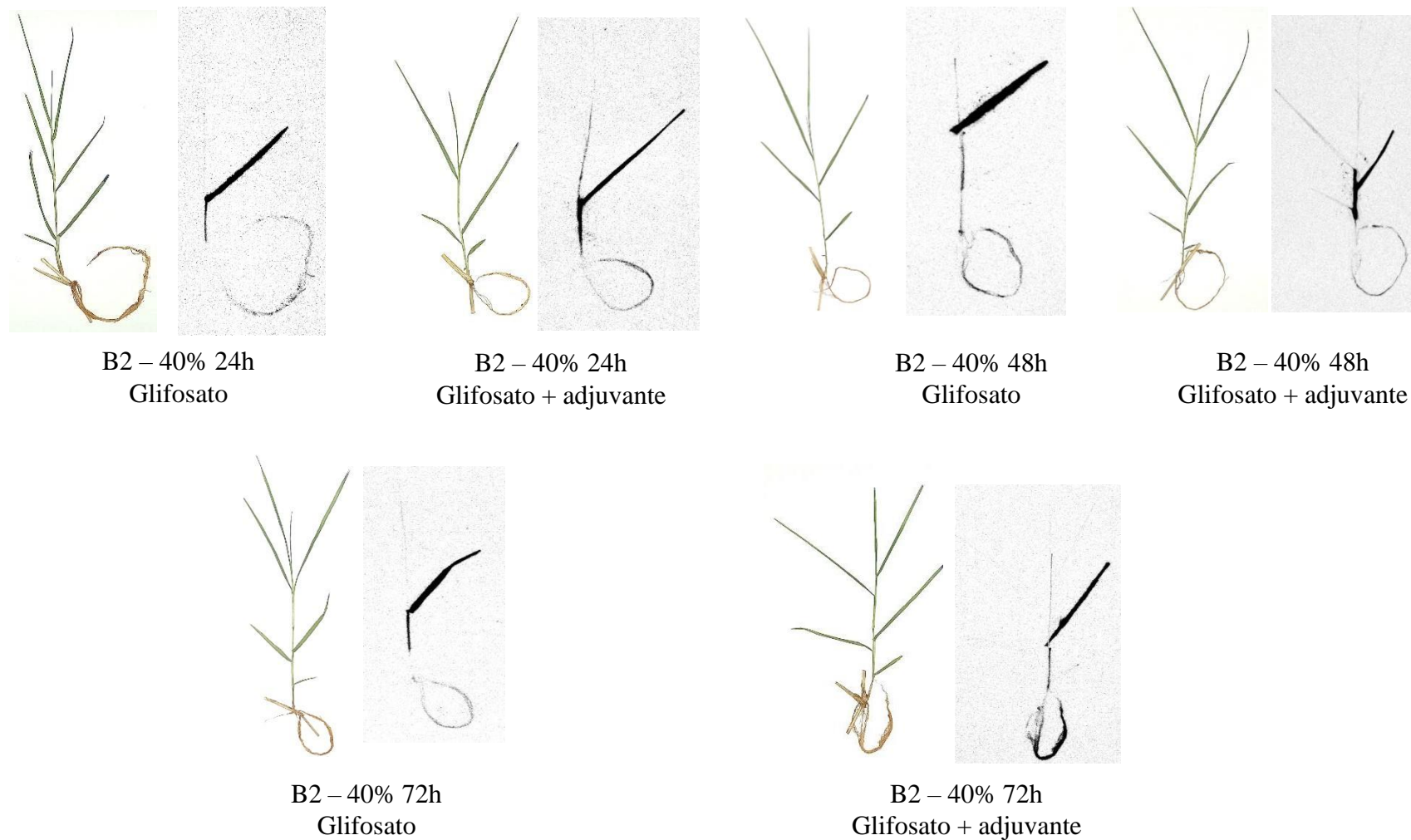


Figura 24. Autorradiografias de grama-seda (*C. dactylon*) cultivada em 40% da capacidade de campo, após a aplicação de glifosato e glifosato + adjuvante. Piracicaba-SP, 2021

Avaliação de estresse oxidativo: conteúdo de MDA e H₂O₂

O conteúdo de MDA é apresentado na figura 21. A interação entre biótipos e DAA foi significativa (p-value = 0.0120). Biótipo 1 apresenta um aumento na peroxidação lipídica nos primeiros dias após aplicação de glifosato, seguido por um declínio no teor de MDA, enquanto os biótipos 2 e 3 apresentam maior teor de peroxidação lipídica até a terceira semana após aplicação de glifosato.

Análise estatística para teor de peróxido de hidrogênio não apresentou diferença significativa para a interação de biótipo e dias após a aplicação (DAA) (p-value= 0.9597). Os dados de $\mu\text{Mol/g}$ matéria fresca para cada biótipo são descritos na figura 22. Os biótipos apresentam aumento no teor de peróxido de hidrogênio até três semanas após a aplicação.

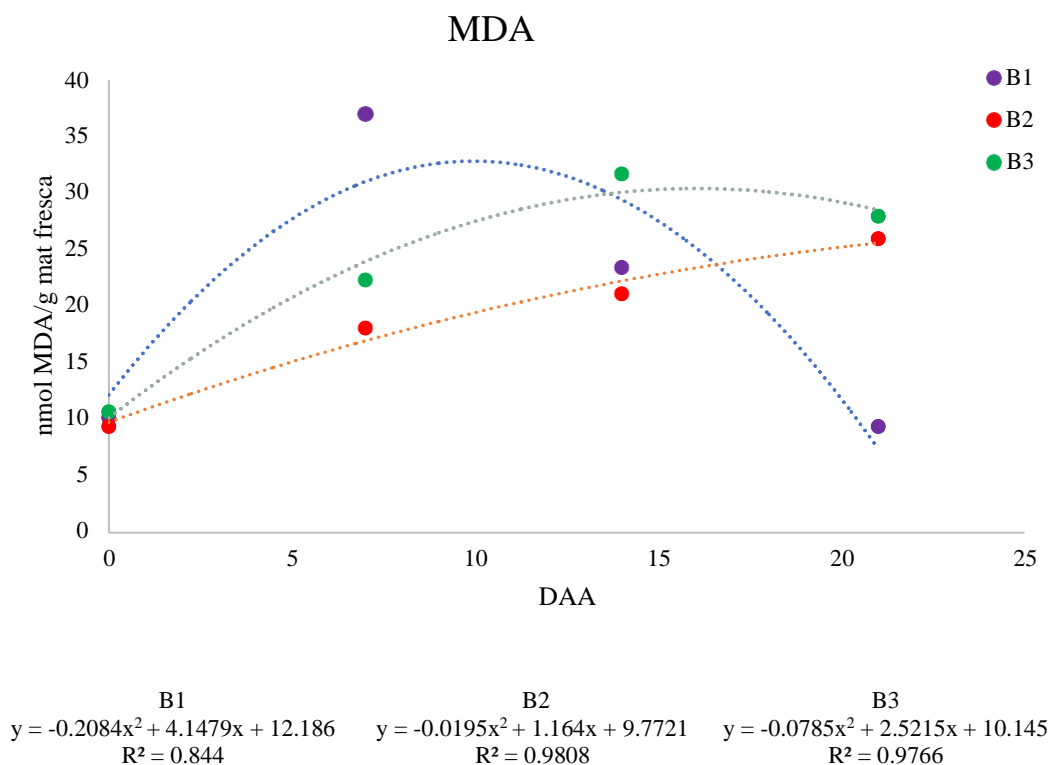


Figura 25. Quantificação peroxidação de lipídeos através da determinação de MDA em biótipos de grama-seda (*Cynodon dactylon*) aos 0, 7, 14 e 21 DAA. Piracicaba-SP, 2021.

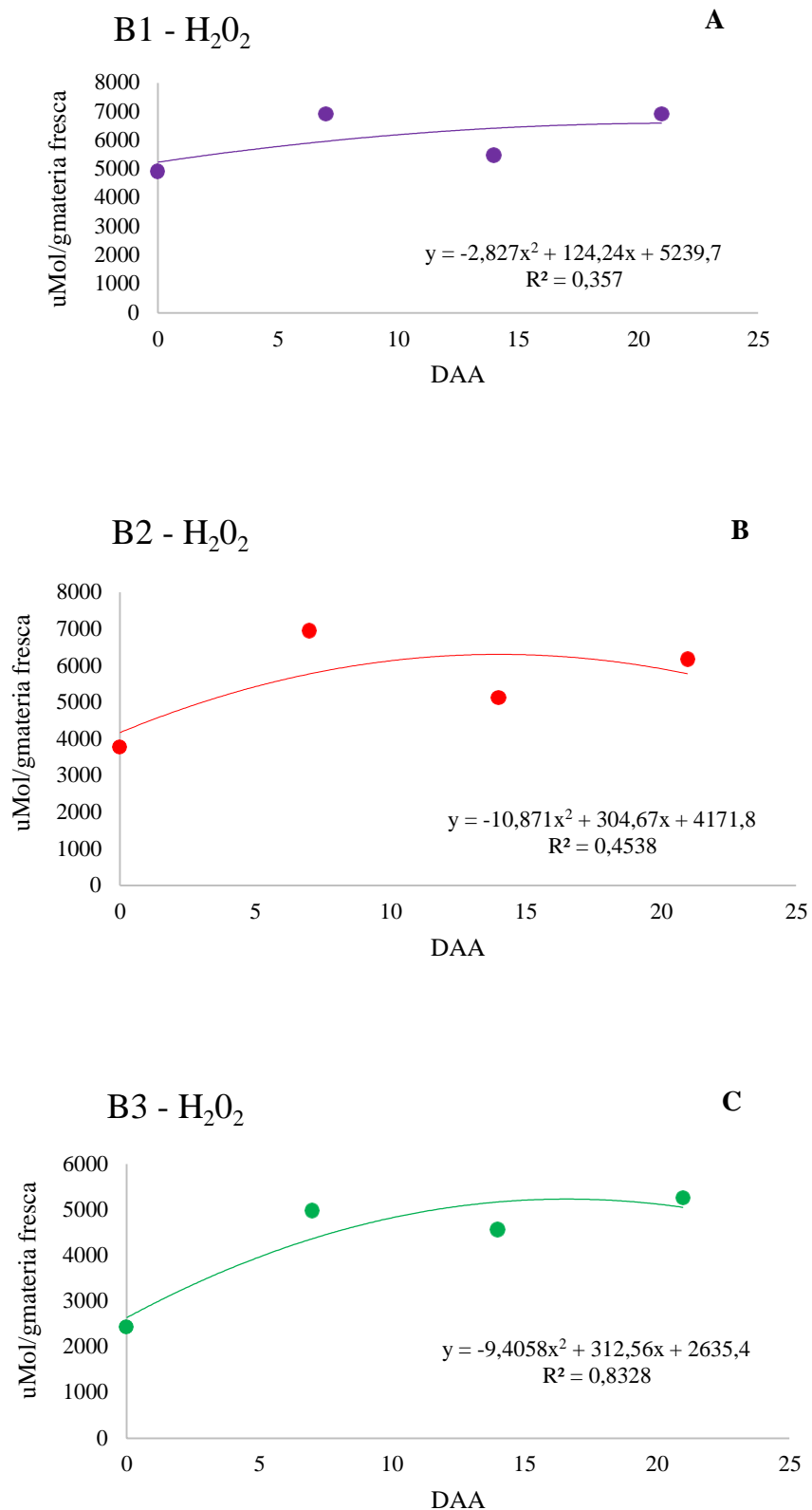


Figura 26. Quantificação de EROs (H₂O₂) em biótipos de grama-seda (*Cynodon dactylon*) aos 0, 7, 14 e 21 DAA. (A) Biótipo 1, (B) Biótipo 2, (C) Biótipo 3. Piracicaba-SP, 2021.

3.4. Discussão

O controle de plantas daninhas em tratamentos contendo associação com adjuvantes promovem maior eficácia devido à aumento de aderência na superfície foliar e incremento na absorção devido à ação de redução da tensão superficial das gotas (Cunha; Alves, 2009; Van Zyl et al., 2010).

A interação entre os defensivos agrícolas e as formulações de adjuvantes é um processo complexo e que pode variar de acordo com as condições de aplicação. O conhecimento das características dos produtos comerciais utilizados para aplicação, visando uma correta deposição e cobertura do alvo é fundamental (Bueno et al., 2013).

A utilização de adjuvantes possibilita uma facilidade operacional e maior qualidade nas aplicações de pesticidas devido a minimização de deriva, redução na evaporação de gotas e redução na incompatibilidade de misturas. Padronização do tamanho de gotas e efeito antiespumante também são benefícios relacionados ao uso destes produtos (Vargas; Roman, 2006). No entanto, o efeito da utilização de adjuvantes apresenta resultados contraditórios em literatura.

Em grama-seda a deposição de glifosato foi aumentada em tratamentos contendo adjuvante (Carbonari et al. 2005). Em contrapartida, a deposição de calda em *Brachiaria plantaginea* foi maior em tratamentos contendo maior volume de calda, porém adição de adjuvante nonil fenol etoxilado não promoveu maior deposição de calda nas plantas daninhas (Tomazela et al., 2006).

Caixeta e colaboradores (2020) não observaram aumento na eficácia de controle de *Digitaria insularis* na associação de adjuvantes com glifosato e haloxyfop. A eficácia de controle de plantas daninhas avaliada em outros experimentos também não foi alterada em função da adição de adjuvantes (Galon et al. 2007). Outros estudos apresentam aumento de controle de *Digitaria insularis* em função da adição de adjuvantes à calda de pulverização (Maciel et al. 2011; Correia e Resende, 2016; Menegasso et al., 2018).

Fatores relacionados à tecnologia de aplicação dos herbicidas, como oscilações na altura da barra, velocidade do vento, tamanho de gotas, tipo de herbicida utilizado (contato, sistêmico) e estágio de desenvolvimento das plantas daninhas podem afetar, aumentando ou diminuindo o volume de calda aplicado, causando diferenças de controle nas plantas daninhas presentes na área (Souza et al., 2007). Outro fator a se considerar é a complexidade da associação entre os adjuvantes e as formulações dos produtos comerciais. A necessidade de uso de adjuvantes em diferentes condições de manejo de plantas daninhas deve ser avaliada e não uma prática generalizada (Ryckaert et al., 2007).

A absorção de produtos fitossanitários pelas plantas sofre influência do teor de água no solo e na planta. Plantas conduzidas sob menor quantidade de água no solo apresentam alterações na sua característica que podem reduzir a quantidade de herbicida absorvido e translocado. Vitorino e Martins (2012) avaliaram controle de *Ipomoea grandifolia* em condição de déficit hídrico e observaram que o controle das plantas daninhas foi reduzido.

A reversibilidade dos sintomas de deficiência hídrica é variável de acordo com a espécie, porém usualmente as plantas apresentam espessamento de cutícula, ou desidratação da mesma, resultando na redução da absorção de herbicidas (Peregoy et al., 1990). A adição do adjuvante promoveu aumento na absorção e translocação do herbicida em condição de menor água disponível no solo (40% capacidade de campo). A utilização de adjuvantes na dessecação pode aumentar o nível de controle das plantas daninhas em condição de estresse ambiental. Em condição de maior teor de água no solo, a absorção e a translocação do produto foram aumentadas, porém o efeito foi maior em condição de estresse.

A redução de absorção de herbicidas em condições de estresse hídrico é mais afetada em herbicidas solúveis em água, comparado a herbicidas lipofílicos, sendo a formulação do produto um fator importante na escolha para dessecação de plantas em condição de estresse ambiental.

Como a absorção do herbicida é o fator mais afetado em condições de estresse, Kudsk and Kristensen (1992) citam que não é uma surpresa que a adição de adjuvantes à calda de pulverização pode auxiliar no controle devido ao aumento na absorção do ingrediente ativo. Aplicação de bentazon associado a adjuvantes resultou em maior absorção em condição de estresse 40% comparado a 80% de umidade relativa – capacidade de campo (Dannigkeit, 1977).

Em relação ao estresse oxidativo, algumas espécies de plantas daninhas apresentam como mecanismo de resistência a herbicidas uma maior produção de enzimas (superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase, que agem sob os efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio (Borella et al, 2019). Estas enzimas agem catalizando a transferência de elétrons ao H₂O₂, utilizando diferentes substratos como doadores.

A resposta da atividade do sistema antioxidante varia de acordo com o herbicida utilizado, porém o sistema enzimático das plantas atua controlando o acúmulo de EROs e limitando os danos oxidativos (Ekmekci; Terzioglu, 2005). Após a inibição da produção dos aminoácidos aromáticos (tirosina, fenilalanina e triptofano) e os processos bioquímicos desencadeados pela aplicação de glifosato, as plantas produzem espécies reativas de oxigênio (Marchi et al., 2008). A resposta de cada biótipo é variável e estudos futuros podem ser

realizados para avaliação da atividade enzimática nas plantas que apresentam menor acúmulo de EROs.

O malondialdeído (MDA) formado em plantas após a exposição a fatores de estresse, como aplicação de herbicida, reage com o ácido tiobarbitúrico (TBA) e forma um complexo (TBA₂MDA). A peroxidação dos lipídeos ocorre em plantas devido a reação dos radicais hidroxila e de oxigênio singlete com os ácidos graxos das membranas celulares, formando hidroperóxidos de lipídeos. Este é um dos eventos mais significativos do estresse oxidativo em plantas devido a diminuição da fluidez da membrana e alteração de sua permeabilidade (Queiroz, et al. 1998).

Estudos observaram aumento no teor de peroxidação lipídica em plantas tratadas com herbicidas (Choi, et al. 1999, Caetano et al. 2005). Tal aumento também foi observado após tratamento com herbicida glifosato (Ke et al., 2021). Esse aumento na concentração de MDA ocorre em resposta à ação do herbicida na planta algumas semanas após a aplicação.

3.5. Conclusões

Observou-se com os resultados do presente estudo que a adição de adjuvante à calda de pulverização aumenta a quantidade de herbicida absorvido e translocado, em condições de estresse hídrico a adição de adjuvante proporcionou aumento significativo da quantidade de glifosato absorvida e translocada.

Biótipos de grama-seda apresentam acúmulo de espécies reativas de oxigênio até três semanas após a aplicação de glifosato e teor de peroxidação lipídica diferentes em função de biótipos. Futuros estudos das enzimas relacionadas ao estresse oxidativo em plantas podem auxiliar no entendimento dos mecanismos envolvidos na tolerância de grama-seda ao herbicida glifosato em nível bioquímico.

Referências

- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell & Environment**, 24(12), 1337-1344.
- Amarante Junior, O. P. D., Santos, T. C. R. D., Brito, N. M., & Ribeiro, M. L. (2002). Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química nova**, 25(4), 589-593.

- Borgato, E. A.; Gonçalves Netto, A. (2016) Resistência múltipla e cruzada: casos no Brasil e mecanismos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: Christoffoleti, P. J.; Nicolai, M. **Aspectos da resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 4. ed. Piracicaba: HRAC, Cap. 3, p. 43-58.
- Bueno, M. R., Alves, G. S., Paula, A. D. M., & Cunha, J. P. A. R. (2013). Volumes de calda e adjuvante no controle de plantas daninhas com glyphosate. **Planta Daninha**, 31, 705-713.
- Borella, J., Langaro, A. C., Souza, A. S., Leal, J. F. L., Carvalho, G. S., Chapeta, A. C. O., Sarmento, R. R., Pinho, C. F. Estresse em plantas pela aplicação de herbicidas. In: Santos, C. A. & Ribeiro, J. C. **Desafios e sustentabilidade no manejo de plantas**. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.
- Cataneo, A. C., Chamma, K. L., Ferreira, L. C., Déstro, G. F. G., & de Sousa, D. C. F. (2005). Atividade de superóxido dismutase em plantas de soja (*Glycine max* L.) cultivadas sob estresse oxidativo causado por herbicida. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 4(2), 23-31.
- Caixeta, J. P. L., Júnior, K. S. F., Brigante, G. P., & de Souza Dias, M. (2020). Efeito de adjuvante associado a herbicidas no controle de *Digitaria insularis* L. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 18(4), 672-1.
- Cakmak, I., & Horst, W. J. (1991). Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). **Physiologia plantarum**, 83(3), 463-468.
- Carbonari, C. A., Martins, D., Marchi, S. R., & Cardoso, L. R. (2005). Efeito de surfatantes e pontas de pulverização na deposição de calda de pulverização em plantas de grama-seda. **Planta Daninha**, 23, 725-729.
- Christoffoleti, P.J., & López-Ovejero, R. (2003). Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, 21(3), 507-515.
- Choi, J.S.; Lee, H.J.; Hwang, I.T. et al. Differential susceptibilities of wheat and barley to diphenyl ether herbicide oxyfluorfen. **Pestic. Biochem. Physiol.**, v.65, p.62- 72, 1999.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar: safra 2020/2021, terceiro levantamento, dezembro de 2020**. Brasília: CONAB, 2020. 62p.
- Correia, N. M., & RESENDE, I. (2016). Associação de adjuvantes ao herbicida clethodim e o controle de *Digitaria insularis*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 30., 2016, Curitiba. Conhecimento e tecnologia a serviço do agricultor: anais. Curitiba: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2016.
- Cunha, J. P. A. R.; Alves, G. S. Características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.
- Dannigkeit, W. (1977). Der Einfluss verschiedener klimatischer Faktoren und der Formulierung auf die Aufnahme von Bentazon bei unterschiedlich empfindlichen Pflanzen. **Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz** 84, 430-9.

- Ekmekci, Y.; Terzioglu, S. Effects of oxidative stress induced by paraquat on wild and cultivated wheats. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 83, p. 69-81, 2005.
- Fleck, N. G. **Controle químico de plantas daninhas**. Porto Alegre: UFRGS, 1993. 132 p.
- Galon, L. et al. Controle de plantas e seletividade de herbicidas à cultura da soja, aplicados em dois volumes de calda. **R. Bras. Agroci.**, v. 13, n. 3, p. 325-330, 2007.
- Harrison, S. K.; Loux, M. M. Chemical weed management. In: SMITH, A. E. (Org.). **Handbook of weed management systems**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 101-153.
- Ke, M., Ye, Y., Zhang, Z., Gillings, M., Qu, Q., Xu, N., ... & Qian, H. (2021). Synergistic effects of glyphosate and multiwall carbon nanotubes on *Arabidopsis thaliana* physiology and metabolism. **Science of the Total Environment**, 769, 145156.
- Kissmann, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. São Paulo: Basf, 1997. Tomo 1. 825 p.
- Klingman, G. C.; Ashton, F. M.; Noordhoff, L. J. **Weed science: principles and practices**. EUA: John Wiley & Sons, 1975. p. 89-99.
- Kudsk, P., & Kristensen, J. L. (1992, February). **Effect of environmental factors on herbicide performance**. In Proceedings of the first international weed control congress (Vol. 1, pp. 173-186). Victoria, Australia: Weed Science Society of Victoria.
- Lorenzi, H. et al. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 6a Ed., Nova Odessa, SP: Plantarum, 339p, 2006.
- Maciel, C. D., Moraes, D. W., & Balan, M. G. (2011). Associação de adjuvantes com herbicidas na dessecação e no controle em pós-emergência de plantas daninhas na cultura do trigo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 10(3), 243-256.
- Marchi, G. et al. Documentos 227. **Herbicidas: mecanismos de ação e uso**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Cerrados Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2008.
- Menegasso, G. D., Schweig, L. A., & de Oliveira Lourenço, E. S. Controle químico de *Digitaria insularis* com herbicida combinado a diferentes adjuvantes. **Revista Faz Ciência**, 20(32), 116-116.
- Pandhair, V.; Sekhon, B.S. Reactive oxygen species and antioxidants in plants: an overview. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 15, p. 71-78, 2006.
- Peregoy, R. et al. Moisture stress effects on the absorption, translocation, and metabolism of haloxyfop in johnsongrass (*Sorghum halepense*) and large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) **Weed Sci.**, v. 38, n. 4-5, p. 331-337, 1990.
- Queiroz, C. G. S.; Alonso, A.; Maresguia, M.; Magalhães, A. C. Chilling induced changes in membrane fluidity and antioxidant enzyme activities in *Coffea arabica* L. roots. **Biology Plantarum**, Prague, v. 41, n. 3, p. 403-413, 1998.

- Richard, E.P., JR. Preemergence herbicide effects on bermudagrass (*Cynodon dactylon*) interference in sugarcane (*Saccharum spp. Hybrids*). **Weed Technol.** v.7, p. 578-584, 1993.
- Ryckaert, B. et al. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. **Crop Protec.**, v. 26, n. 10, p. 1589-1594, 2007.
- Satchivi, N. M. et al. (2000) Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Sciences**, v. 48, n. 6, p. 675-679.
- Silva, P.H.A.U.; Snaydon, R.W. Chromosome number in *Cynodon dactylon* in relation to ecological conditions. **Annals of Botany.**, v.76, p.535-537, 1995.
- Souza, R. T. et al. Aspectos metodológicos para análise de depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 195-202, 2007.
- Tomazela, M. S. et al. Avaliação da deposição da calda de pulverização em função da densidade populacional de *Brachiaria plantaginea*, do volume e do ângulo de aplicação. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 183-189, 2006.
- Vargas, L.; Roman, E. S. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 56). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do56.htm
- Van Zyl, S. A., Brink, J. C., Calitz, F. J., Coertze, S., & Fourie, P. H. (2010). The use of adjuvants to improve spray deposition and *Botrytis cinerea* control on Chardonnay grapevine leaves. **Crop Protection**, 29(1), 58-67.
- Wu, Y.Q.; Taliaferro, C.M.; Martin, D.L., Goad, C.L.; Anderson, J.A. Genetic variability and relationship for seed yield and its components in Chinese *Cynodon* accessions. **Field Crops Res.**, v.98, p.245-252, 2006.