

WENDEL MAGNO DE SOUZA

**MOBILIDADE, PERSISTÊNCIA NO SOLO E EFICÁCIA DO INDAZIFLAM
APLICADO ISOLADAMENTE E EM MISTURA COM OUTROS HERBICIDAS NA
CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

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

T

S729m
2022 Souza, Wendel Magno, 1994-
Mobilidade, persistência no solo e eficácia do indaziflam
aplicado isoladamente e em mistura com outros herbicidas na
cultura da cana-de-açúcar / Wendel Magno Souza. – Viçosa,
MG, 2022.

1 tese eletrônica (104 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.143>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Cana-de-açúcar - Doenças e pragas - Controle. 2. Ervas
daninhas - Controle. 3. Tebuthiuron (Herbicida).
4. Sulfentrazone (Herbicida). 5. Diuron (Herbicida).
6. Hezazinone (Herbicida). 7. Lixiviação. I. Freitas, Francisco
Cláudio Lopes de, 1968-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.6195

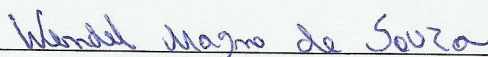
WENDEL MAGNO DE SOUZA

**MOBILIDADE, PERSISTÊNCIA NO SOLO E EFICÁCIA DO INDAZIFLAM
APLICADO ISOLADAMENTE E EM MISTURA COM OUTROS HERBICIDAS NA
CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

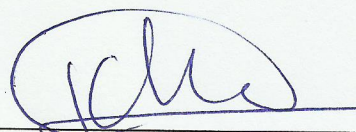
APROVADA: 26 de outubro de 2022

Assentimento:



Wendel Magno de Souza

Autor



Francisco Cláudio Lopes de Freitas

Orientador

*Aos meus pais Maria Aparecida e
Adalberto e a minha irmã Raiane.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS que sempre está ao meu lado me dando forças e me protegendo, nos momentos felizes e tristes.

Aos meus pais Maria Aparecida e Adalberto, pelo amor e carinho incondicional e por acreditarem em mim em todos os momentos.

A minha irmã Raiane, pela paciência, conselhos, ensinamentos e por sempre estar ao meu lado, me incentivando.

A minha noiva Ariana, pelo amor e carinho durante esse trajeto percorrido.

À Universidade Federal de Viçosa, pela formação acadêmica e pela oportunidade de estar finalizando mais uma etapa.

Ao Departamento de Agronomia - UFV e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de poder aprimorar meus conhecimentos.

Ao meu orientador Francisco Cláudio Lopes de Freitas pela confiança, ensinamentos e conselhos.

Agradeço a todos integrantes do grupo em Manejo Integrado de Plantas Daninhas, pelos ótimos anos de convivência e amizade. Em especial ao Rodrigo Faria, Maria Carolina, Saulo, Sarah, Cristiane, Úrsula, Guilherme, Valter, Grazielle, Luís Henrique e Júlio Reis.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Estudo.

Enfim, agradeço a todos que torcem por mim. **MUITO OBRIGADO!**

RESUMO

SOUZA, Wendel Magno de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2022. **Mobilidade, persistência no solo e eficácia do indaziflam aplicado isoladamente e em mistura com outros herbicidas na cultura da cana-de-açúcar.** Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.

A cana-de-açúcar possui ciclo de 300 a 550 dias, a depender da época de plantio. Nesse período, a cultura está sujeita à interferência pelas plantas daninhas que causam perdas na produtividade e dificultam práticas culturais e a colheita. Diante disso, é necessário o uso de herbicidas com longo período residual, aplicados isoladamente ou em mistura. Entretanto, a eficácia no controle das plantas daninhas, a seletividade para a cultura e o risco de contaminação ambiental são dependentes dos atributos do solo e propriedade físico-químicas das moléculas. Esta pesquisa foi conduzida em três etapas: A primeira em casa de vegetação, onde se avaliou a eficácia do indaziflam sobre o controle de plantas daninhas aplicado em três solos com características físicas e químicas distintas, isoladamente e em mistura com os herbicidas tebuthiuron, sulfentrazone e a mistura diuron + hexazinone. A segunda, foi conduzida em campo em duas áreas distintas, com solos com diferentes atributos. Avaliou-se a seletividade do indaziflam e tebuthiuron a cana-de-açúcar e a eficácia do controle das plantas daninhas destes aplicados de forma isolada e em mistura, com e sem operação de quebra-lombo. Na terceira etapa, foi avaliada a mobilidade e persistência no solo do indaziflam e tebuthiuron em experimentos conduzidos em campo em dois solos, por meio de bioensaios, bem como em laboratório por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). No primeiro trabalho, constatou-se que o indaziflam potencializou o índice de controle de plantas daninhas quando aplicado em associação com os demais herbicidas em relação à aplicação desses de forma isolada e o mesmo ocorreu para os respectivos herbicidas em relação ao indaziflam. Portanto, recomenda-se a aplicação do indaziflam associado aos herbicidas sulfentrazone, tebuthiuron e diuron + hexazinone. Em solos com baixo teor de matéria orgânica e de argila recomenda-se aplicar doses mais baixas do indaziflam (60 g ha^{-1} do i.a.) e em solos com elevado teor de matéria orgânica e, ou de argila deve-se aplicar o indaziflam na dose de 80 g ha^{-1} do i.a. A segunda e terceira etapa foram conduzidas em campo, onde a aplicação do indaziflam não proporcionou controle eficaz sobre algumas plantas daninhas, reduzindo a produtividade da cana-de-açúcar. Além disso, não ocorreu intoxicação e redução da massa seca das raízes das plantas de cana-de-açúcar pelo indaziflam e tebuthiuron, independente da operação de quebra-lombo. A

aplicação do tebuthiuron isolado e em associação ao indaziflam, proporcionou controle adequado das plantas daninhas. A operação de quebra-lombo exerceu controle mecânico sobre as plantas presentes na entrelinha das parcelas em que foi aplicado o indaziflam, reduzindo a competição e perda na produtividade da cana-de-açúcar. Na terceira etapa, apenas o tebuthiuron foi detectado pela CLAE, somente para a época de coleta de 30 dias após aplicação (DAA). O bioensaio demonstrou maior eficiência na detecção dos dois herbicidas em relação ao método cromatográfico, sendo ambos os herbicidas detectados em todas as avaliações (pelo menos até 300 DAA) e até 40 cm de profundidade.

Palavras-chave: Plantas daninhas. Tebuthiuron. Sulfentrazone. Diuron + hexazinone, Lixiviação

ABSTRACT

SOUZA, Wendel Magno de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2022. **Mobility, persistence in the soil and effectiveness of indaziflam applied alone and in mixture with other herbicides in sugarcane cultivation.** Advisor: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.

Sugarcane has a cycle of 300 to 550 days, depending on the planting season. During this period, the crop is subject to interference by weeds that cause losses in productivity and hinder cultural practices and harvesting. In view of this, it is necessary to use herbicides with a long residual period, applied alone or in a mixture. However, the effectiveness in controlling weeds, the selectivity for the crop and the risk of environmental contamination are dependent on the attributes of the soil and the physical-chemical properties of the molecules. This research was carried out in three stages: The first in a greenhouse, where the effectiveness of indaziflam on weed control was evaluated, applied in three soils with different physical and chemical characteristics, alone and in a mixture with the herbicides tebuthiuron, sulfentrazone and the diuron + hexazinone mixture. The second was conducted in the field in two different areas, with soils with different attributes. The selectivity of indaziflam and tebuthiuron to sugarcane was evaluated, as well as the effectiveness of weed control when applied alone and in combination, with and without the loin breaker operation. In the third step, the mobility and persistence of indaziflam and tebuthiuron in soil were evaluated in experiments conducted in the field in two soils, using bioassays, as well as in the laboratory using high-performance liquid chromatography (HPLC). In the first study, it was found that indaziflam potentiated the weed control index when applied in association with other herbicides in relation to their application alone, and the same occurred for the respective herbicides in relation to indaziflam. Therefore, the application of indaziflam associated with sulfentrazone, tebuthiuron and diuron + hexazinone herbicides is recommended. In soils with low organic matter and clay content, it is recommended to apply lower doses of indaziflam (60 g ha^{-1} of the a.i.) and in soils with high organic matter and/or clay content, indaziflam should be applied in the dose of 80 g ha^{-1} of a.i. The second and third stages were conducted in the field, where the application of indaziflam did not provide effective control over some weeds, reducing sugarcane productivity. In addition, there was no intoxication and reduction in the dry mass of the roots of sugarcane plants by indaziflam and tebuthiuron, regardless of the loin breaking operation. The application of tebuthiuron alone and in association with indaziflam provided adequate weed control. The loin

breaker operation exercised mechanical control over the plants present between the rows of the plots where indaziflam was applied, reducing competition and loss of sugarcane productivity. In the third stage, only tebuthiuron was detected by HPLC, only for the collection period of 30 days after application (DAA). The bioassay showed greater efficiency in detecting the two herbicides compared to the chromatographic method, with both herbicides being detected in all evaluations (at least up to 300 DAA) and up to 40 cm depth.

Keywords: Weeds. Tebuthiuron. Sulfentrazone. Diuron + hexazinone. Leaching

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
Capítulo I.....	20
Eficácia do indaziflam aplicado isolado e em mistura com outros herbicidas em solos com características distintas	20
RESUMO	20
ABSTRACT	21
1. INTRODUÇÃO	22
2. MATERIAL E MÉTODOS	23
2.1 Caracterização dos experimentos.....	23
2.2 Delineamento experimental	24
2.3 Preparo do solo e adubação	24
2.4 Semeadura das plantas daninhas.....	25
2.5 Aplicação dos herbicidas	25
2.6 Avaliações.....	25
2.7 Análises estatísticas	26
3. RESULTADOS	26
3.1 Experimento 1 - Solo de Oratórios-MG	26
3.2 Experimento 2 - Solo do Aeroporto, Viçosa -MG.....	31
3.3 Experimento 3 - Solo Vale da Agronomia, Viçosa-MG.....	35
4. DISCUSSÃO.....	40
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
Capítulo II.....	48
Seletividade e controle de plantas daninhas pelo indaziflam e tebuthiuron na cultura da cana-de-açúcar, com e sem a operação de quebra-lombo	48
RESUMO	48
ABSTRACT	49
1. INTRODUÇÃO	50
2. MATERIAL E MÉTODOS	51
2.1 Caracterização da área	51
2.2 Delineamento experimental	52
2.3 Preparo do solo	53

2.4	Plantio e adubação	54
2.5	Unidades experimentais	54
2.6	Aplicação dos herbicidas	54
2.7	Avaliação de intoxicação da cana-de-açúcar	55
2.8	Avaliações de controle de plantas daninhas	55
2.9	Produtividade	55
2.10	Análises estatísticas	55
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
3.1	Seletividade a cultura da cana-de-açúcar	56
3.2	Experimento conduzido no Latossolo Vermelho-Amarelo (2018-2019)	56
3.3	Experimento conduzido em Latossolo Amarelo (2019-2020).....	63
4.	CONCLUSÕES.....	71
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	Capítulo III	75
	Mobilidade e persistência do indaziflam e tebuthiuron nos solos cultivados com cana-de-açúcar.....	75
	RESUMO	75
	ABSTRACT	76
1.	INTRODUÇÃO	77
2.	MATERIAL E MÉTODOS	78
2.1	Caracterização da área e Delineamento experimental	78
2.2	Preparo do solo	81
2.3	Plantio e adubação	81
2.4	Aplicação dos herbicidas	81
2.5	Coleta de solo para detecção dos herbicidas.....	82
2.6	Bioensaio	82
2.7	Extração por CLAE para o Indaziflam	83
2.8	Extração por CLAE para o tebuthiuron	84
2.9	Condições cromatográficas.....	84
2.10	Validação dos métodos	85
2.11	Seletividade.....	85
2.12	Linearidade	85
2.13	Limite de detecção (LD) e Limite de quantificação (LQ)	87
2.14	Exatidão	88
2.15	Precisão intermediária.....	89

2.16 Análises estatísticas	90
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
3.1 Experimento 1 - Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) - 2018/2019	91
3.1.1 Bioensaio	91
3.1.2 Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)	93
3.2 Experimento 2 - Latossolo Amarelo (LA) - 2019/2020	95
3.2.1 Bioensaio	95
3.2.2 Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)	97
4. CONCLUSÕES.....	99
CONSIDERAÇÕES FINAIS	104

INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar é uma cultura polivalente a partir da qual é produzido principalmente açúcar e etanol (THOMAZ et al., 2022). A produção mundial no ano de 2020 foi de aproximadamente 1,86 bilhões de toneladas, sendo o Brasil responsável por cerca de 40% da produção mundial, com 757 milhões de toneladas colhidas, 41,2 toneladas de açúcar e 29,7 milhões de litros de etanol produzidos (FAO, 2020). Os subprodutos da cana-de-açúcar podem ser utilizados para geração de energia, por meio da queima do bagaço, adubação com vinhaça, e em menor escala, a cana-de-açúcar pode ser utilizada na alimentação animal e ser destinada a produção de bebidas destiladas, com destaque para cachaça.

A cana-de-açúcar possui ciclo longo, com colheita em torno de 300 a 550 dias para a cana-planta, a depender da época de plantio, estando sujeita a influência de fatores bióticos e abióticos (NICOLAI et al., 2010). Dentre os fatores bióticos, destaca-se a interferência exercida pelas plantas daninhas. As plantas daninhas competem com a cultura por água, luz, nutrientes e espaço, podem ser hospedeiras de pragas e doenças, dificultam operações de tratamentos culturais e colheita, reduzem a longevidade do canavial e causam perda de rendimento do produto final, que podem alcançar 52% quando não realizado controle (KUVA et al., 2003).

Há diversos métodos de controle de plantas daninhas, no entanto, na cultura da cana-de-açúcar, o químico e o mecânico são mais utilizados (MARTINS et al., 2022). O método mecânico, se dá pelas operações de preparo de solo e pela operação de quebra-lombo. Essa operação consiste na uniformização da superfície do solo, devido a abertura do sulco para plantio, permitindo a entrada de máquinas e equipamentos (NICOLAI et al., 2010).

Para o controle químico, normalmente utiliza-se após o plantio herbicidas pré-emergentes, com longo período residual para maior longevidade de controle. Esse fato acontece, pois, a cana-de-açúcar possui ciclo longo e crescimento inicial lento, com Período total de Prevenção a Interferência (PTPI) entre 90 a 150 dias (VICTORIA FILHO e CHRISTOFFOLETI, 2004), permitindo a passagem de luz para germinação das sementes e crescimento das estruturas de propagação vegetativa das plantas daninhas. Entretanto, herbicidas com longo período residual estão mais sujeitos à contaminação do solo e da água, além de poderem inviabilizar o cultivo de espécies sensíveis em sucessão (*carryover*) (ROSE et al., 2022).

No manejo de plantas daninhas na cana-planta, além da aplicação em pré-emergência, simultaneamente ou logo após o quebra-lombo, comumente é realizada uma segunda aplicação de herbicidas (NICOLAI et al., 2010). Essa aplicação visa assegurar que as plantas daninhas

não se desenvolvam após revolvimento do solo e exposição do banco de sementes, proporcionando controle satisfatório até o fechamento do dossel da cultura. Entre os herbicidas mais utilizados na cultura e com característica de longo período residual no solo podemos citar o indaziflam, o tebuthiuron, o sulfentrazone e a mistura diuron + hexazinone.

O indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl¹H-inden¹-yl]-6-[(1RS)¹-fluoroethyl]¹,3,5-triazine-2,4-diamine) foi introduzido para aplicação nos Estados Unidos em 2011 e no Brasil em 2016, sendo registrado atualmente para diversas culturas perenes (MAPA, 2022). Pertence ao grupo químico fluoroalkyltriazine, cujo mecanismo de ação está relacionado à inibição da biossíntese de celulose, fazendo com que novas células da parede celular não sejam formadas, resultando na paralisação do desenvolvimento da planta (BRABHAM et al., 2014). Com isso, dificilmente o indaziflam irá afetar tecidos completamente desenvolvidos, visto que não ocorre a síntese de celulose e a parede celular já se encontra totalmente formada (GUERRA et al., 2013).

O indaziflam possui meia-vida estimada no solo ($t_{1/2}$) maior do que 150 dias, possui baixa solubilidade em água ($S_w = 2,2 \text{ mg L}^{-1}$ a 20°C), baixa sorção nos solos ($K_{oc} < 1.000 \text{ mL g}^{-1}$), é um ácido fraco com pKa de 3,50 e é considerado uma molécula apolar ($\log K_{ow}$ em pH 4; 7 ou 9 = 2,80) (LEWIS et al., 2016). Este herbicida exerce ação de controle sobre plantas monocotiledôneas e eudicotiledôneas, sendo mais eficaz para as monocotiledôneas (AMIM et al., 2014; SEBASTIAN et al., 2017).

O tebuthiuron (1-(5-tert-butyl¹,3,4-thiadiazol-2-yl)¹,3-dimethylurea) é utilizado a vários anos, sendo um dos principais herbicidas aplicados na cultura da cana-de-açúcar. O tebuthiuron atua no fotossistema II, pertence ao grupo químico das ureias substituídas, é utilizado em pré-emergência e tem ação sobre plantas monocotiledôneas e eudicotiledôneas, podendo chegar a um tempo de meia-vida no solo em torno de 115 a 400 dias, a depender dos atributos (FARIA, 2013; GUIMARÃES et al., 2022). Além disso, este possui elevada solubilidade em água ($S_w = 2500 \text{ mg L}^{-1}$ a 20°C) e baixa sorção nos solos ($K_{oc} = 80 \text{ mL g}^{-1}$) (PPDB, 2022). Esses dois últimos fatores associados, podem aumentar o risco de lixiviação e consequentemente aumentar o risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas, sendo necessário entender o comportamento dessas moléculas no solo.

O sulfentrazone pertence ao grupo químico das triazolinonas dos inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX ou PPO), possui tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) em solos brasileiros em torno de 180 dias, elevada solubilidade em água ($S_w = 780 \text{ mg L}^{-1}$ a 20°C), baixa retenção nos colóides do solo ($K_{oc} = 43$), é um herbicida ácido fraco (pKa = 6,56) e possui

coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}) de 9,79 (PPDB, 2022). O sulfentrazone possui ação de controle sobre plantas eudicotiledoneas, gramíneas (Poaceae) e titirica (*Cyperus rotundus*) (MENDES et al., 2022).

Os herbicidas diuron e hexazinone são inibidores do fotossistema II e são normalmente usados em mistura na cana-de-açúcar. O diuron possui persistência no solo de 120 a 242 dias (RODRIGUES e ALMEIDA, 2018) e pelo fato de ser sorvido em elevada intensidade pelos coloides orgânicos e minerais do solo pode ter sua atividade influenciada pelas características do solo, especialmente a matéria orgânica (MENDES et al., 2022). Possui baixa mobilidade no solo e por isso é comumente associado ao hexazinone, que possui maior mobilidade, controlando plantas daninhas que germinam em maiores profundidades, especialmente aquelas de sementes maiores, como corda-de-viola. Quando aplicados em mistura, exercem controle de plantas daninhas eudicotiledôneas e gramíneas (Poaceae). Todavia, a eficácia no controle de plantas daninhas pode ser comprometida, principalmente, em solos com elevado teor de matéria orgânica (ROCHA et al., 2013).

A dinâmica de herbicidas no solo está relacionada às características dos herbicidas como solubilidade em água, coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), coeficiente de sorção - K_d , constante de ionização ácido (pK_a) ou básica (pK_b), tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), volatilidade, fotodegradação e degradação microbiana (COMINO et al., 2017; TEIXEIRA, 2019), aos atributos do solo (CTC, pH, matéria orgânica, textura), a atividade microbiana, as condições ambientais (índice de precipitação pluviométrica/umidade, temperatura e luminosidade) (SOUZA, 2018) e ainda, práticas culturais, como operações de preparo do solo (arações e gradagens) e quebra-lombo.

Na operação de quebra-lombo é realizada uma espécie de amontoa do solo da entrelinha no sulco da cana-de-açúcar (NICOLAI et al., 2010), removendo parte do herbicida da entrelinha para a linha de plantio. Esse transporte pode aumentar a concentração do herbicida próximo às plantas da cana-de-açúcar, o que pode vir a causar intoxicação, visto que há relatos de agricultores que o indaziflam estava perdendo a seletividade toponômica, causando perda de estande. Dessa forma, estudos para entender a influência da operação de quebra-lombo sobre esses herbicidas são necessários.

Além do controle eficaz das plantas infestantes é necessário conhecer os aspectos relacionados ao comportamento dos herbicidas no solo, de modo a entender a mobilidade do produto no perfil do solo e persistência, que pode resultar em redução da concentração da molécula ativa nas camadas superficiais e consequente perda de eficácia no controle das plantas

daninhas, intoxicação da cultura em caso de perda da seletividade por posicionamento do herbicida (toponômica) e risco de contaminação ambiental, sobretudo de corpos de águas.

Para se analisar os resíduos e comportamento dos herbicidas no solo, são comumente utilizados dois métodos de detecção: cromatográfico e bioensaio (TEIXEIRA, 2019). Os processos cromatográficos, apresentam menor tempo para análise, boa resolução, possibilidade de quantificação e boa sensibilidade a compostos (TEJU et al., 2017). No entanto, esse método possui um custo elevado e é de difícil acesso (SECCIA et al., 2011).

O método do bioensaio permite a detecção dos herbicidas no solo, com baixo custo, com período de avaliação em torno de 21 dias, tempo suficiente para ocorrer à resposta biológica. O método biológico pode apresentar maior sensibilidade na detecção dos herbicidas, em relação ao método cromatográfico. O método cromatográfico não detecta o produto em concentrações abaixo do Limite de detecção (LD), enquanto que as plantas sensíveis sofrerão injúrias, demonstrando sintomas, mesmo sobre baixas concentrações no solo (SOUZA, 2018; TEIXEIRA, 2019). Dessa maneira, esses dois métodos, permitem avaliar o comportamento dos herbicidas no solo, com intuito de realizar recomendações seguras, com controle eficaz das plantas daninhas e menor impacto ambiental.

Em face à busca pela sustentabilidade nos ecossistemas, a avaliação dos riscos de contaminação ambiental pelos herbicidas ganha destaque. Uma das possibilidades de reduzir essa contaminação seria a redução da dose aplicada, mantendo eficácia de controle (COSTA et al., 2020). Além disso, conhecer a dinâmica dos produtos em campo, observando a tecnologia de aplicação adequada, considerando a interação com os atributos do solo, pode minimizar a possível contaminação do ambiente, como corpos de águas superficiais e subterrâneas (MENDES et al., 2022).

Diante ao exposto, essa pesquisa foi composta por três capítulos. No primeiro capítulo o experimento foi realizado em casa de vegetação, onde se avaliou a eficácia do indaziflam sobre o controle de plantas daninhas aplicado em três solos com características físicas e químicas distintas, isoladamente e em mistura com os herbicidas tebuthiuron, sulfentrazone e a mistura diuron + hexazinone. No segundo e terceiro capítulos os experimentos foram conduzidos em campo em duas áreas com solos com diferentes atributos. No segundo capítulo, o objetivo foi avaliar se o quebra-lombo interferiu na seletividade do indaziflam e tebuthiuron para a cana-de-açúcar e a eficiência de controle das plantas daninhas, aplicados isolados e em mistura. Na terceira etapa, avaliou-se a mobilidade e persistência no solo do indaziflam e do tebuthiuron analisados por meio de bioensaios e cromatografia líquida de alta eficiência.

Acredita-se com os resultados obtidos nessas pesquisas será possível auxiliar os agricultores na tomada de decisão, sobre como utilizar esses produtos com menor risco ambiental, a depender das condições de solo e clima, mantendo eficácia de controle, reduzindo custos e perdas de produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- BRABHAM, C.; LEI, L.; GU, Y.; STORK, J.; BARRETT, M.; DE BOLT, S. Indaziflam Herbicidal Action: A Potent Cellulose Biosynthesis Inhibitor. **Plant Physiology**, v. 166, n. 3, p. 1177-1185, 2014.
- COMINO, J. R.; BOGUNOVIC, I.; MOHAJERANI, H.; PEREIRA, P.; CERDÀ, A.; SINOGA, J. D. R.; RIES, J. B. The Impact of Vineyard Abandonment on Soil Properties and Hydrological Processes. **Vadose Zone Journal**, v. 16, n. 12, p. 1-7, 2017.
- DA COSTA, Y. K. S.; DE FREITAS, F. C. L.; DA SILVEIRA, H. M.; MENDES NASCIMENTO, R. S.; SEDIYAMA, C. S.; ALCÁNTARA-DE LA CRUZ, R. Herbicide selectivity on macauba seedlings and weed control efficiency. **Industrial Crops and Products**, v. 154, p. 112725, 2018.
- FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- FARIA, A. T. Sorção, dessorção, lixiviação e meia-vida do tebuthiuron em latossolos brasileiros. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.
- FARIA, A. T.; SOUZA, M. F.; ROCHA DE JESUS PASSOS, A. B.; DA SILVA, A. A.; SILVA, D. V.; ZANUNCIO, J. C.; ROCHA, P. R. R. Tebuthiuron leaching in three Brazilian soils as affected by soil pH. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 5, p. 1–12, 2018.
- FILHO, R. V.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana. **Visão Agrícola**, v. 1, n. 1806–6402, p. 32-37, 2004.
- GUERRA, N.; OLIVEIRA JÚNIOR, S. R.; CONSTANTIN, J.; MENDES, A.; NETO, O.; GUILHERME, PEREIRA BRAZ, B. Aminocyclopyrachlor e indaziflam: Seletividade, controle e comportamento no ambiente. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 285-295, 2013.

GUIMARÃES, A. C. D.; DE PAULA, D. F.; MENDES, K. F.; DE SOUSA, R. N.; ARAÚJO, G. R.; INOUE, M. H.; TORNISIELO, V. L. Can soil type interfere in sorption-desorption, mobility, leaching, degradation, and microbial activity of the ¹⁴C-tebuthiuron herbicide. **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 6, p. 100074, 2022.

KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. 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, n. 1, p. 37-44, 2003.

LEWIS, K. A.; TZILIVAKIS, J.; WARNER, D. J.; GREEN, A. An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 22, n. 4, p. 105064, 2016.

MAPA; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portal Agrofit- Consulta aberta de defensivos agrícolas**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/primeira_pagina/extranet/AGROFIT.html>. Acesso em: 31 mar. 2022.

MARTINS, L.; BACHAREL, R.; AGRONOMIA, E.; JUNIO, L.; FERREIRA BACHAREL, L.; ALVES, M.; BACHAREL, B.; RODRIGUES, M.; BACHAREL, M.; NAVES, R.; BACHAREL, B.; DA, T.; MOURA BACHAREL, S. Eficácia do herbicida indaziflam no controle das plantas daninhas perenes *Digitaria nuda*, *Rottboellia exaltata* e *Panicum maximum* no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 2, p. 1882–1869, 2022.

MENDES, K. F.; SILVEIRA, R. F.; TAKESHITA, V.; ALONSO, F. G.; TORNISIELO, V. L. Estudos de comportamento de herbicida no solo utilizando ¹⁴C-radiomarcado. In: MENDES, K. F.; INOUE, M. H.; TORNISIELO, V. L. **Herbicidas no Ambiente: Impacto e detecção**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2022. p. 410–474.

MENDES, K. F.; SILVA, A. A.; MIELKE, K. C. Classificação, seleividade e mecanismo de ação de herbicidas. In: MENDES, K. F.; SILVA, A. A. (Org.). **Plantas Daninhas: Herbicidas**. Oficina de textos ed. São Paulo, SP: 2022. v. 2. p. 7-56.

NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; CORRÊA, R. A. de L.

Programas de manejo químico de plantas daninhas em plantio de cana-de-açúcar fundamentados em duas aplicações de herbicidas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 2, n. 3, 2010.

PPDB: PESTICIDE PROPERTIES DATABASE. **Tebuthiuron (Ref: EL 103)**. Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/614.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 7ed. Londrina, PR: Edição dos autores. 2018. 764p.

ROSE, M. T.; ZHANG, P.; ROSE, T. J.; SCANLAN, C. A.; MCGRATH, G.; VAN ZWIETEN, L. Herbicide residues in Australian grain cropping soils at sowing and their relevance to crop growth. **Science of The Total Environment**, v. 833, p. 155105, 2022.

SEBASTIAN, D. J.; FLEMING, M. B.; PATTERSON, E. L.; SEBASTIAN, J. R.; NISSEN, S. J. Indaziflam: a new cellulose-biosynthesis-inhibiting herbicide provides long-term control of invasive winter annual grasses. **Pest management science**, v. 73, n. 10, p. 2149-2162, 2017.

SECCIA, S.; ALBRIZIO, S.; FIDENTE, P.; MONTESANO, D. Development and validation of a solid-phase extraction method coupled to high-performance liquid chromatography with ultraviolet-diode array detection for the determination of sulfonylurea herbicide residues in bovine milk samples. **Journal of Chromatography A**, v. 1218, n. 9, p. 1253-1259, 2011.

SOUZA, W. M. Influência dos atributos do solo na sorção e lixiviação do indaziflam em solos tropicais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, 2018.

TEIXEIRA, M. F. F. Sorção, dessorção e lixiviação do indaziflam em solos com atributos distintos e adição de esterco bovino. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil, 2019.

TEJU, E.; TADESSE, B.; MEGERSA, N. Salting-out-assisted liquid-liquid extraction for the preconcentration and quantitative determination of eight herbicide residues simultaneously in different water samples with high-performance liquid chromatography. **Separation Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 719-729, 2017.

THOMAZ, E. L.; MARCATTO, F. S.; ANTONELI, V. Soil erosion on the Brazilian sugarcane cropping system: An overview. **Geography and Sustainability**, v. 3, n. 2, p. 129-138, 2022.

Capítulo I

Eficácia do indaziflam aplicado isolado e em mistura com outros herbicidas em solos com características distintas

RESUMO

O indaziflam é um herbicida com longo período residual, utilizado em culturas perenes como a cana-de-açúcar. A eficácia de controle varia com as características do solo e com as espécies infestantes. Dessa maneira, é comum aplicar o indaziflam em mistura com outros herbicidas para aumentar a eficiência de controle de plantas daninhas. Os herbicidas sulfentrazone, tebuthiuron e a mistura diuron + hexazinone são amplamente utilizados na cana-de-açúcar e possuem potencial para serem utilizados em mistura com o indaziflam. Contudo, pouco se sabe sobre a associação desses herbicidas ao indaziflam para o manejo de plantas daninhas. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficácia do indaziflam em diferentes doses, aplicado isoladamente, e associado aos herbicidas tebuthiuron, sulfentrazone e diuron + hexazinone, em três solos com diferentes atributos. Foram realizados três experimentos em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo cada experimento em um solo. Foram avaliadas cinco doses de indaziflam (0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹ i.a.) aplicadas isoladamente e combinadas com outros três herbicidas (tebuthiuron, sulfentrazone, diuron + hexazinone), aplicados em dose única, de acordo com os atributos dos solos. Aos 28 e 56 dias após aplicação (DAA) foram realizadas avaliações de controle das plantas infestantes. Aos 56 DAA as plantas foram identificadas, contadas, cortadas rente ao solo e destinadas à estufa de circulação forçada de ar (65° C) para determinação da massa de matéria seca da parte aérea. O indaziflam aumentou o índice de controle de plantas daninhas quando aplicado em associação com os demais herbicidas em relação à aplicação desses de forma isolada (0,0 g ha⁻¹ de indaziflam) e o mesmo ocorreu para os respectivos herbicidas em relação ao indaziflam. Dessa maneira, recomenda-se a aplicação do indaziflam associado a tebuthiuron, sulfentrazone ou diuron + hexazinone independentemente do tipo de solo. A dose de indaziflam necessária para o controle de plantas daninhas variou com os entre os tipos de solo. Em solos com baixo teor de matéria orgânica e de argila recomenda-se aplicar doses menores do indaziflam (60 g ha⁻¹ do i.a.) e em solos com maiores teores de matéria orgânica e/ou de argila deve-se aplicar o indaziflam na dose de 80 g ha⁻¹ do i.a., associados aos herbicidas supracitados.

Palavras-chave: Mistura de Herbicidas, Tebuthiuron, Sulfentrazone, Controle de Plantas Daninhas

Efficacy of indaziflam applied alone and in mixture with other herbicides in soils with different characteristics

ABSTRACT

Indaziflam is an herbicide with a long residual period, used in perennial crops such as sugarcane. Despite the good control rate for eudicot and grass weeds (Poaceae), it has been observed that depending on soil characteristics such as texture, organic matter content, and pH, the application of this herbicide has not efficiently controlled weeds of some species. In this way, a mixture with other herbicides such as sulfentrazone, tebuthiuron, and a mixture of diuron + hexazinone is commonly used. However, little is known about the association of these herbicides with indaziflam for weed management. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effectiveness of indaziflam applied at different doses, alone, and associated with the herbicides tebuthiuron, sulfentrazone, and diuron + hexazinone, in three soils with different attributes on weed control. Three experiments were carried out in a randomized block design, with four replications, each experiment in one soil. Five doses of indaziflam (0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹ a.i.) applied alone and combined with three other herbicides (tebuthiuron, sulfentrazone, diuron + hexazinone) were evaluated. At 28 and 56 days after application (DAA), control evaluations of the main weeds and total control were performed. At 56 DAA, the plants were cut close to the ground, counted, identified, and taken to the greenhouse to determine the shoot dry matter mass. Indaziflam increased the weed control index when applied in association with the other herbicides in relation to their application alone. The same occurred for the respective herbicides in relation to indaziflam. Therefore, the application of indaziflam associated with another soil-independent herbicide is recommended. In soils with a low content of organic matter and clay, it is recommended to apply lower doses of indaziflam, around 60 g ha⁻¹ of the a.i., and in soils with a high content of organic matter and/or clay, indaziflam should be applied at a dose of 80 g ha⁻¹ of the a.i., associated with another herbicide.

Keywords: Herbicide Mixture. Tebuthiuron. Sulfentrazone. Weed Control

1. INTRODUÇÃO

A utilização sem o conhecimento do comportamento de herbicidas no ambiente, pode reduzir a eficácia de controle das plantas daninhas e causar danos potenciais às culturas (GONZÁLEZ-DELGADO et al., 2022), reduzindo a produtividade e a qualidade do produto final. A biodisponibilidade dos herbicidas no solo está relacionada com as suas características físico-químicas (COMINO et al., 2017), atividade microbiana, condições ambientais (DURÃES et al., 2018; PEREZ-LUCAS et al., 2020) e com as práticas culturais adotadas.

Entre as novas moléculas herbicidas registradas para uso no Brasil está o indaziflam (N-[(1R,2S)-2,3-dihydro-2,6-dimethyl-1H-inden-1-yl]-6-[(1R)-1-fluoroethyl]-1,3,5-triazine-2,4-diamine). Trata-se de um herbicida aplicado em pré-emergência pertencente à classe química “fluoroalkyltriazine” e tem como mecanismo de ação a inibição da biossíntese de celulose na parede celular, fazendo com que novas células não sejam formadas, ocorrendo paralisação do desenvolvimento da planta (GUERRA et al., 2013; BRABHAM, 2016). Este herbicida apresenta longa persistência e possui ótima eficácia para o controle de diversas espécies de plantas daninhas gramíneas e algumas eudicotiledôneas (TOMPKINS, 2010; AMIM et al., 2014).

Apesar de bom controle de plantas daninhas e da sua ação residual, tem-se observado que o uso do indaziflam isolado possui controle baixo para algumas espécies (AMIM et al., 2014), requerendo a aplicação em mistura com outros herbicidas, como sulfentrazone, tebuthiuron e a mistura diuron + hexazinone. Essa é a realidade do cultivo da cana-de-açúcar, visto que no sistema de cana-crua, não há possibilidade de eliminação de plantas daninhas por meio da queimada na etapa de colheita. No entanto, a mistura de herbicidas pode influenciar o comportamento das moléculas dos produtos no solo, sendo necessário conhecer a ação e a dinâmica desses herbicidas em solos diferentes (CARNEIRO et al., 2020) para garantir maior espectro de ação e eficácia de controle, possibilitando o uso de doses menores e mais seguras para as culturas e o meio ambiente.

Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficácia do indaziflam aplicado em diferentes doses isoladamente e associado com os herbicidas tebuthiuron, sulfentrazone e a mistura diuron + hexazinone, em três solos com diferentes atributos sobre o controle de plantas daninhas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos experimentos

Foram conduzidos três experimentos, um para cada tipo de solo, em casa de vegetação na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão do Vale da Agronomia (UEPE Vale da Agronomia), pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG.

Os solos foram coletados nas camadas de 0 a 20 cm na UEPE Vale da Agronomia (Solo Vale) em Viçosa- MG, na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão em Produção de Grandes Culturas e Bioenergia (UEPE GCBE - Aeroporto) (Solo Aeroporto) em Viçosa-MG e na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão em Melhoramento Genético em Cana- de-açúcar (UEPE CECA) localizada em Oratórios-MG (Solo Oratórios). As características químicas e físicas dos três solos estudados estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos físico-químicos dos três solos.

Solo	¹ pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)	----- (Cmol _c dm ⁻³) -----						---- (%) ----			
Oratórios	5,0	7,8	46	0,71	0,21	0,4	1,98	1,04	1,44	3,02	34,4	27,8
Aeroporto	4,8	2,2	76	0,69	0,37	0,7	5,28	1,25	1,95	6,53	19,1	35,9
Vale	5,9	6,7	190	2,61	0,68	0,0	2,97	3,78	3,78	6,75	56,0	0,0
	Areia		Silte		Argila		Classe textural		MO			
	----- % -----						(dag kg ⁻¹)					
Oratórios	63		11		26		Franco-Argilo-Arenosa		1,07			
Aeroporto	46		12		42		Argila		2,15			
Vale	39		11		50		Argila		2,45			

¹pH: água, KCl e CaCl₂- relação 1:2,5. P-K: Extrator Mehlich 1. Ca-Mg e Al: Extrator: KCl – 1 mol L⁻¹. H + Al – Acidez potencial – Extrator: acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; SB - Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – Índice de saturação de bases; m - Índice de saturação de alumínio; MO – Matéria orgânica

²Análises realizadas segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA 1997).

2.2 Delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos em esquema fatorial 5x4 no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. O primeiro fator foi composto pela aplicação de cinco doses de indaziflam (0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹ i.a.). O segundo correspondeu a aplicação de três herbicidas (tebuthiuron, sulfentrazone e diuron+hexazinone) em dose única de acordo com os atributos de cada solo (Tabela 1) e a testemunha sem aplicação dos mesmos. Cada unidade experimental foi composta por um vaso de 10 dm³, preenchido com solo coletado em áreas sem histórico de aplicação de herbicidas.

2.3 Preparo do solo e adubação

Os solos foram passados em peneira com malha de 4 mm e posteriormente foi realizada a calagem com aplicação de calcário com PRNT de 85% nas amostras do Aeroporto e Oratórios com base nos resultados obtidos na análise dos solos (Tabela 1), visando normalizar o pH para a faixa agricultável (5,5 e 6,5) e saturação de bases para 60%, 30 dias antes da implantação dos experimentos. Para a amostra do Vale não houve necessidade de realização da calagem. Próximo ao dia da instalação dos experimentos, foi realizada a adubação com 3,0 kg da

formulação N-P-K 06-30-06 e 3,0 kg de superfosfato simples por m³ de solo com base nas análises físico-químicas dos solos (Tabela 1).

2.4 Semeadura das plantas daninhas

Com intuito de incrementar o banco de sementes dos solos, foi realizada a semeadura de braquiária (*Urochloa brizantha*), picão-preto (*Bidens pilosa*) e corda-de-viola (*Ipomoea triloba*). Em cada vaso, foram semeadas 10 sementes de corda-de-viola, 20 sementes de picão-preto e 20 sementes de braquiária.

As sementes de corda-de-viola foram escarificadas com lixa para quebrar a dormência e posteriormente foram distribuídas nos vasos à profundidade de 6,0 a 7,0 cm, antes de completar o volume de solo, simulando uma situação de campo. A braquiária e o picão-preto foram semeadas a 2,0 cm de profundidade.

2.5 Aplicação dos herbicidas

As doses dos herbicidas tebuthiuron, sulfentrazone e diuron+hexazinone foram definidas de acordo com a textura dos solos (Tabela 2). A aplicação dos herbicidas foi realizada no dia 07 de dezembro de 2020, de forma simultânea, utilizando-se um pulverizador costal pressurizado por CO₂, equipado com uma barra com duas pontas de pulverização TTI 11002, espaçadas de 50 cm, na pressão de 2,0 bar, calibrada para aplicar o volume de calda de 140 L ha⁻¹.

Tabela 2 - Dose dos herbicidas tebuthiuron, sulfentrazone e diuron+hexazinone aplicados em associação com indaziflam nos diferentes tipos de solos.

Herbicida	Solo Oratórios	Solo Aeroporto	Solo Vale
	----- g ha ⁻¹ do i.a. -----		
Tebuthiuron	900	1000	1100
Sulfentrazone	600	700	800
Diuron + hexazinone	732+213	878+256	976+284

Após a aplicação, os vasos foram transferidos para casa de vegetação, onde foram mantidos até o final do experimento com irrigação por microaspersão, de modo a manter a umidade em torno de 60 a 80% da capacidade de campo.

2.6 Avaliações

Aos 28 e 56 dias após aplicação (DAA) foram realizadas avaliações visuais de controle

total de plantas daninhas, e as que foram semeadas (*U. brizantha*, *B. pilosa* e *I. triloba*), além de outras espécies infestantes, o índice total foi baseado nas espécies presentes e o nível de infestação. As avaliações foram realizadas sempre em comparação à testemunha sem aplicação de herbicidas, em seu respectivo bloco, atribuindo-se notas de 0 a 100, onde 0 correspondeu à ausência de controle e 100 ao controle total. Aos 56 DAA, as plantas daninhas foram identificadas, contadas, cortadas rente ao solo e a parte aérea foi acondicionada em sacos de papel destinados à estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C) até atingir peso constante, para posterior determinação da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) em balança com precisão de 0,0001 g.

2.7 Análises estatísticas

Após a coleta e tabulação dos dados, estes foram submetidos à análise de variância (Teste F a 5% de significância), onde atenderam aos testes de normalidade e homocedasticidade e o efeito das doses do herbicida indaziflam aplicado isoladamente ou em mistura foram analisados separadamente para cada variável (% de controle, número de plantas e acúmulo de matéria seca) para cada espécie de planta daninha por meio de regressão.

3. RESULTADOS

Para os três experimentos foram representados somente as curvas de regressão, pois as mesmas possibilitam a explicação do fenômeno de forma abrangente, não havendo necessidade de introduzir as tabelas de desdobramento do fator herbicidas em cada dose do indaziflam.

3.1 Experimento 1 - Solo de Oratórios-MG

Aos 28 DAA, a aplicação do indaziflam isolado promoveu controle acima de 85% sobre *U. brizantha* na dose de 80 g ha⁻¹ (Figura 1A). Entretanto, para as espécies de *B. pilosa* e *I. triloba* a dose necessária para se obter mais de 85% de controle foi de 25 g ha⁻¹ e 35 g ha⁻¹, respectivamente (Figura 1B e 1C). Para as demais espécies, presentes no banco de sementes do solo, como capim-colchão (*Digitaria horizontalis*), poia-branca (*Richardia brasiliensis*) e capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), constatadas no tratamento controle, a aplicação na dose de 20 g ha⁻¹ foi suficiente para obter porcentagem de controle acima de 95% (Figura 1D). Devido ao menor controle de *U. brizantha* e a alta ocorrência dessa espécie em relação às demais, o índice de controle geral, em relação a testemunha, seguiu padrão semelhante ao ocorrido para essa espécie (Figura 1E).

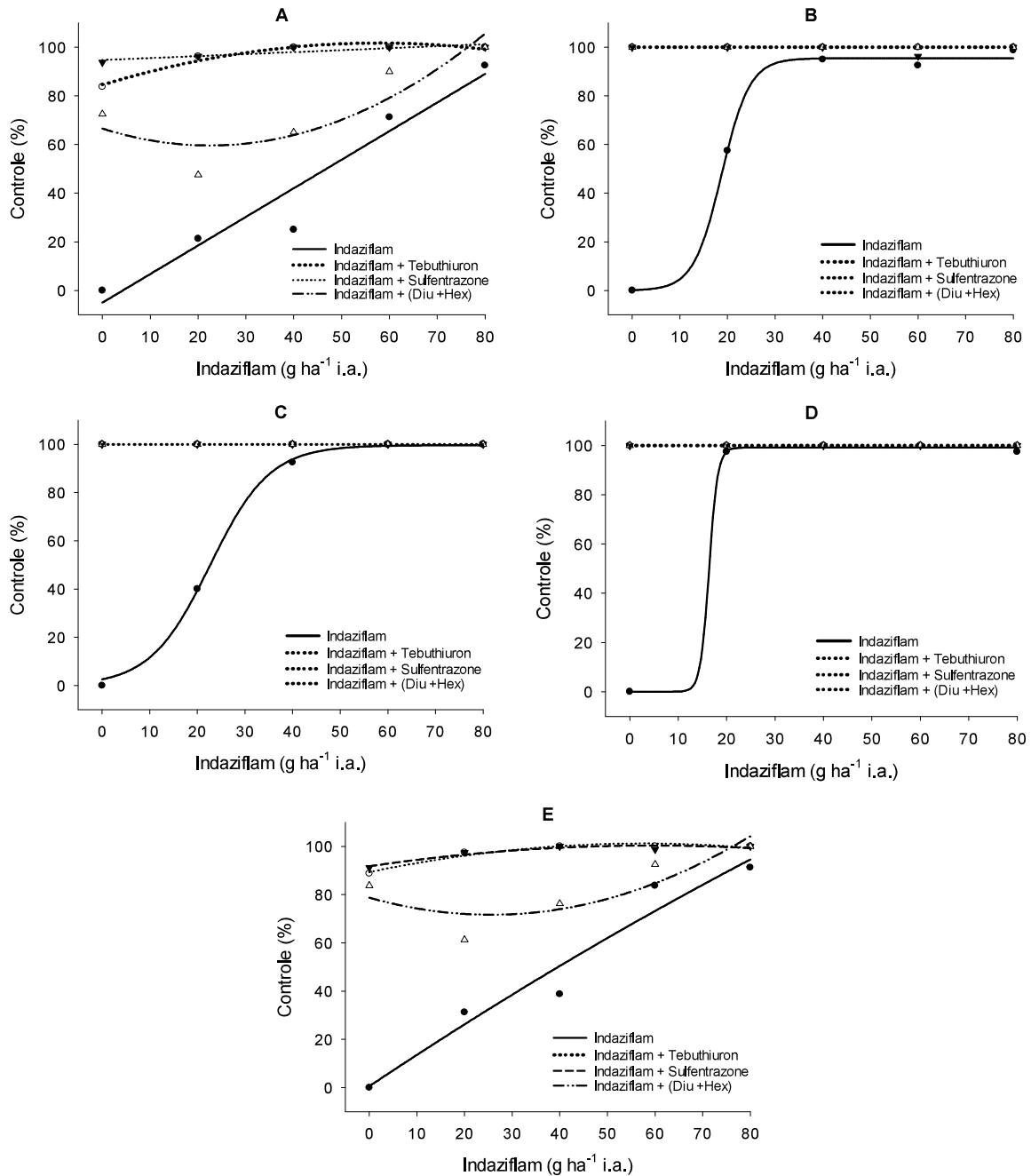


Figura 1 - Porcentagem de controle de *Urochloa brizantha* (A), *Bidens pilosa* (B), *Ipomoea triloba* (C), outras espécies de plantas daninhas (D) e total (E), aos 28 dias após a aplicação (DAA) do herbicida indaziflam nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹ i.a. isolado e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (900 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (600 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (Diu: 732 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (Hex: 213 g ha⁻¹ i.a.) para o solo de Oratórios-MG.

A aplicação do indaziflam em associação aos outros herbicidas proporcionou incremento nos índices de controle em relação à aplicação isolada para as doses mais baixas do indaziflam (Figura 1). O sulfentrazone aplicado isoladamente proporcionou controle eficiente

de todas as espécies de plantas daninhas aos 28 DAA. A associação entre sulfentrazone ou tebuthiuron + indaziflam aplicado em doses superiores a 40 g ha⁻¹ ou com a mistura diuron + hexazinone com o indaziflam na dose de 80 g ha⁻¹ proporcionaram controle acima de 90% para todas as espécies de plantas daninhas (Figura 1E).

Os índices de controle aos 56 DAA, seguiram padrões semelhantes ao ocorrido para os 28 DAA, com controle acima de 80% para o indaziflam isolado apenas na maior dose sobre as espécies presentes (Figura 2). O tebuthiuron aplicado isolado (dose 0 do indaziflam), proporcionou controle sobre *U. brizhanta* acima de 85%, enquanto que o sulfentrazone e a mistura diuron + hexazinone, aplicados isoladamente, obtiveram taxas de controle baixas para *U. brizantha*, com valores de 76,71 e 58,75%, respectivamente (Figura 2A).

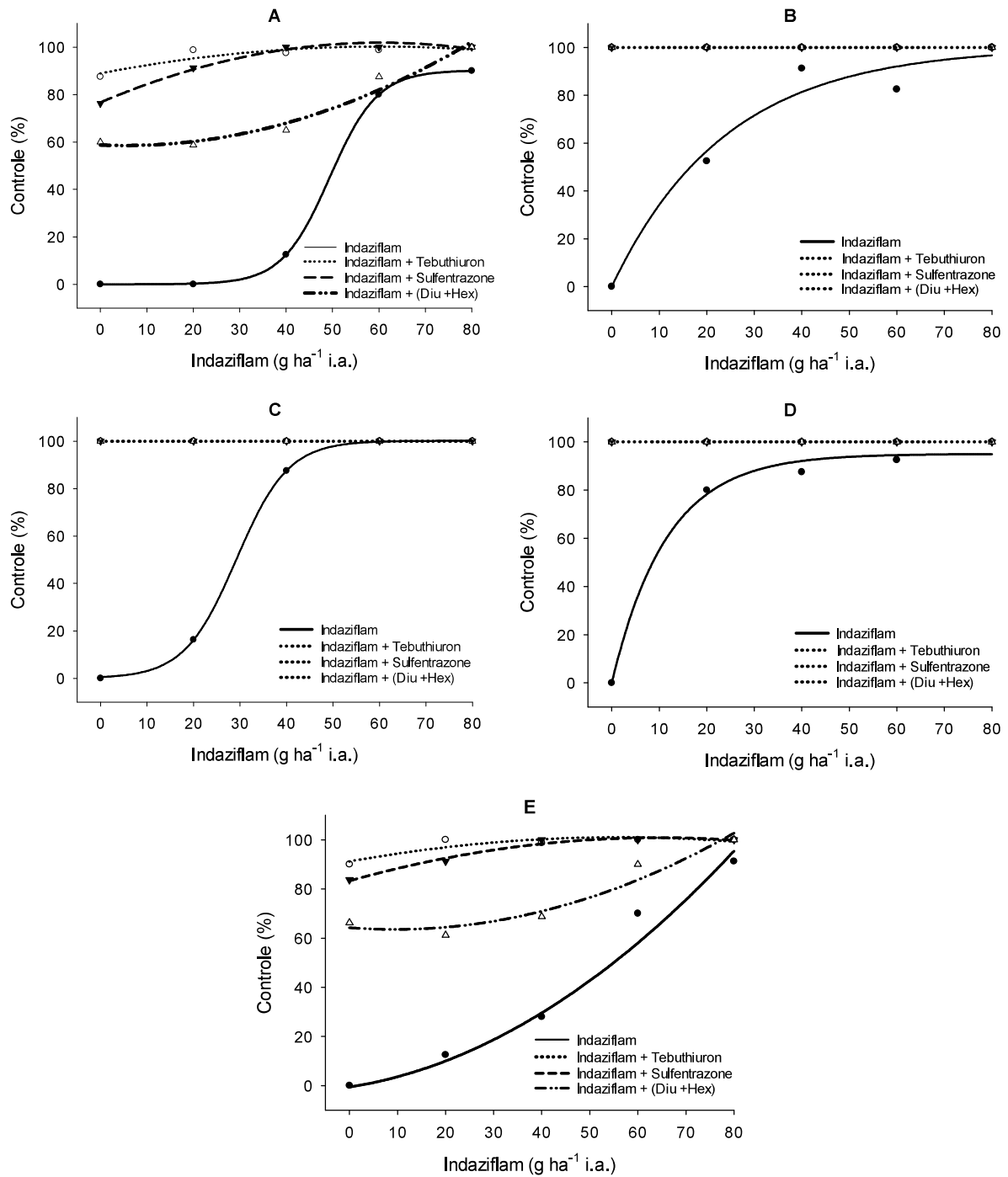


Figura 2 - Porcentagem de controle de *Urochloa brizantha* (A), *Bidens pilosa* (B), *Ipomoea triloba* (C), outras espécies de plantas daninhas (D) e total (E), aos 56 dias após a aplicação (DAA) do herbicida indaziflam nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹ i.a. isolado e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (900 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (600 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (Diu: 732 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (Hex: 213 g ha⁻¹ i.a.) para o solo de Oratórios-MG.

As equações utilizadas nos modelos de regressão estão listadas na tabela 4.

As equações utilizadas nos modelos de regressão estão listadas na tabela 3.

Tabela 3 - Equações para as curvas de porcentagem de controle nas Figuras 1 e 2, aos 28 e 56 dias após a aplicação (DAA) do do indaziflam (I) nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹, em aplicação isolada e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (T: 900 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S: 600 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (D: 732 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (H: 213 g ha⁻¹ i.a.) para o solo do Oratórios-MG.

28 DAA		56 DAA	
<i>U. brizantha</i> (Figura 1A)		<i>U. brizantha</i> (Figura 2A)	
*Y _I = -5,00+1,17x	R ² =0,96	Y _I = 90,23/(1+e ^{-(x-49,41)/5,14})	R ² =0,99
Y _{I+T} = 84,64+0,592x-0,005x ²	R ² =0,96	Y _{I+T} = 89,00+0,375x-0,003x ²	R ² =0,81
Y _{I+S} = 94,750+0,08x	R ² =0,80	Y _{I+S} = 76,714+0,835x-0,006x ²	R ² =0,99
Y _{I+(D+H)} = 66,571-0,619x+0,013x ²	R ² =0,80	Y _{I+(D+H)} = 58,750-0,081x+0,008x ²	R ² =0,96
<i>B. pilosa</i> (Figura 1B)		<i>B. pilosa</i> (Figura 2B)	
Y _I = 95,44/(1+e ^{-(x-18,77)/2,95})	R ² =0,99	Y _I = 100,27(1-e ^(-0,041x))	R ² =0,97
Y _{I+T} = 100,00		Y _{I+T} = 100,00	
Y _{I+S} = 99,25		Y _{I+S} = 100,00	
Y _{I+(D+H)} = 100,00		Y _{I+(D+H)} = 100,00	
<i>I. triloba</i> (Figura 1C)		<i>I. triloba</i> (Figura 2C)	
Y _I = 99,62/(1+e ^{-(x-22,64)/6,25})	R ² =0,99	Y _I = 100,19/(1+e ^{(-x-29,19)/5,586})	R ² =0,99
Y _{I+T} = 100,00		Y _{I+T} = 100,00	
Y _{I+S} = 100,00		Y _{I+S} = 100,00	
Y _{I+(D+H)} = 100,00		Y _{I+(D+H)} = 100,00	
Outras (Figura 1D)		Outras (Figura 2D)	
Y _I = 99,17/(1+e ^{-(x-16,36)/0,891})	R ² =0,99	Y _I = 95,03(1-e ^(-0,086x))	R ² =0,99
Y _{I+T} = 100,00		Y _{I+T} = 100,00	
Y _{I+S} = 100,00		Y _{I+S} = 100,00	
Y _{I+(D+H)} = 100,00		Y _{I+(D+H)} = 100,00	
Total (Figura 1E)		Total (Figura 2E)	
Y _I = 2,00+1,17x	R ² =0,95	Y _I = -0,571+0,307x+0,011x ²	R ² =0,96
Y _{I+T} = 89,393+0,410x-0,003x ²	R ² =0,96	Y _{I+T} = 91,250+0,350x-0,003x ²	R ² =0,81
Y _{I+S} = 91,786+0,290x-0,002x ²	R ² =0,92	Y _{I+S} = 83,357+0,545x-0,004x ²	R ² =0,98
Y _{I+(D+H)} = 78,75-0,556x+0,010x ²	R ² =0,75	Y _{I+(D+H)} = 64,250-0,143x+0,007x ²	R ² =0,94

*Indaziflam (I); Tebuthiuron (T), Sulfentrazone (S); Diuron+ Hexazinone (D+H)

O número de plantas por vaso decresceu de forma exponencial com aumento da dose do indaziflam, quando aplicado isolado, com tendência à estabilização próximo de zero a partir de 40 g ha⁻¹ (Figura 3A). O acúmulo de matéria seca decresceu linearmente com o aumento da dose (Figura 3B), quando o indaziflam foi aplicado isoladamente, com índices satisfatórios alcançados na maior dose, de 80 g ha⁻¹ i.a., indicando, que apesar da redução na densidade de plantas, as demais doses não são eficazes no controle das plantas infestantes propiciando o crescimento das plantas não controladas.

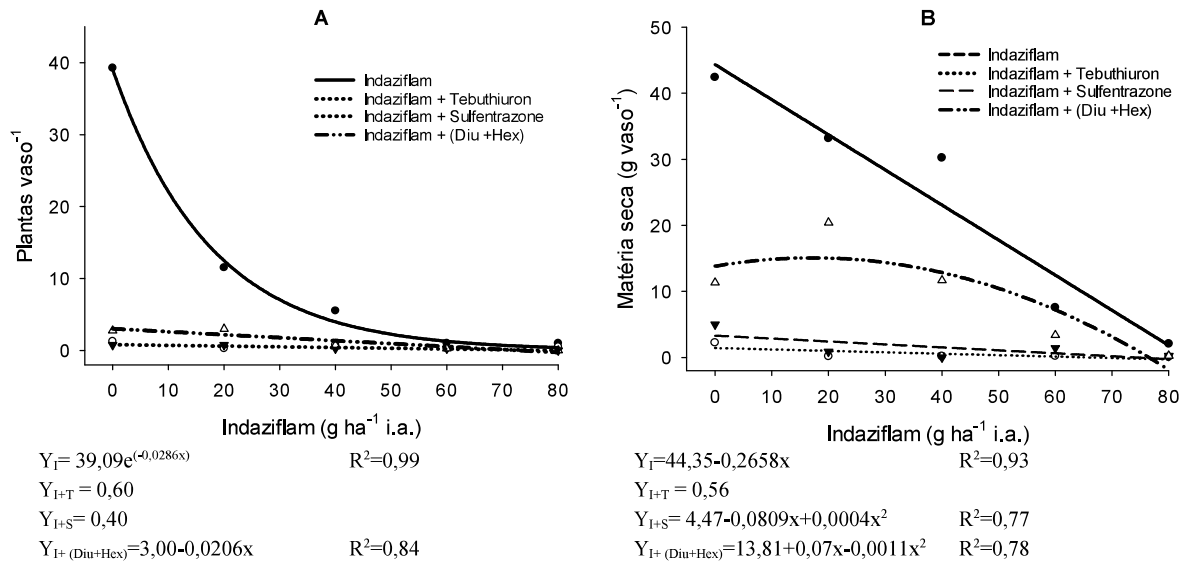


Figura 3 - Número de plantas por vaso (A) e massa de matéria seca das plantas daninhas (B) aos 56 dias após a aplicação (DAA) do indaziflam (I) nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹ i.a. aplicado isoladamente em associação com os herbicidas tebuthiuron (T = 900 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S = 600 g ha⁻¹ i.a.) e a mistura diuron (Diu = 732 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (Hex = 213 g ha⁻¹ i.a.) para o solo de Oratórios-MG.

A associação do indaziflam aos outros herbicidas reduziu o número de plantas e massa de matéria seca (Figura 3A e 3B). Contudo, a mistura diuron + hexazinone, isolado ou em associação ao indaziflam nas menores doses não exerceu controle eficaz sobre *U. brizantha* (Figura 2A), proporcionando acúmulo de massa de matéria seca maior em relação aos outros herbicidas (Figura 3B). A associação com o sulfentrazone ou tebuthiuron, proporcionou controle satisfatório, com massa de matéria seca próxima de zero, independente da dose do herbicida indaziflam para esse solo (Figura 3B).

3.2 Experimento 2 - Solo do Aeroporto, Viçosa -MG

No solo do aeroporto, aos 28 DAA, o indaziflam aplicado isoladamente obteve incremento na taxa de controle com o aumento da dose aplicada para *Urochloa brizantha* e *Ipomoea triloba*, sendo que para *Ipomoea triloba*, a dose de 60 g ha⁻¹ proporcionou 100% de controle (Figura 4A e 4C). Já *B. pilosa* e outras espécies infestantes, oriundas do banco de sementes do solo como caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*), capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) e poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), foram controladas com a dose próximos de 5,0 g ha⁻¹ (Figura 4B e 4D). A aplicação isolada dos demais herbicidas controlou a maioria das espécies, com exceção do tebuthiuron para *U. brizantha*, o qual obteve controle de 71%.

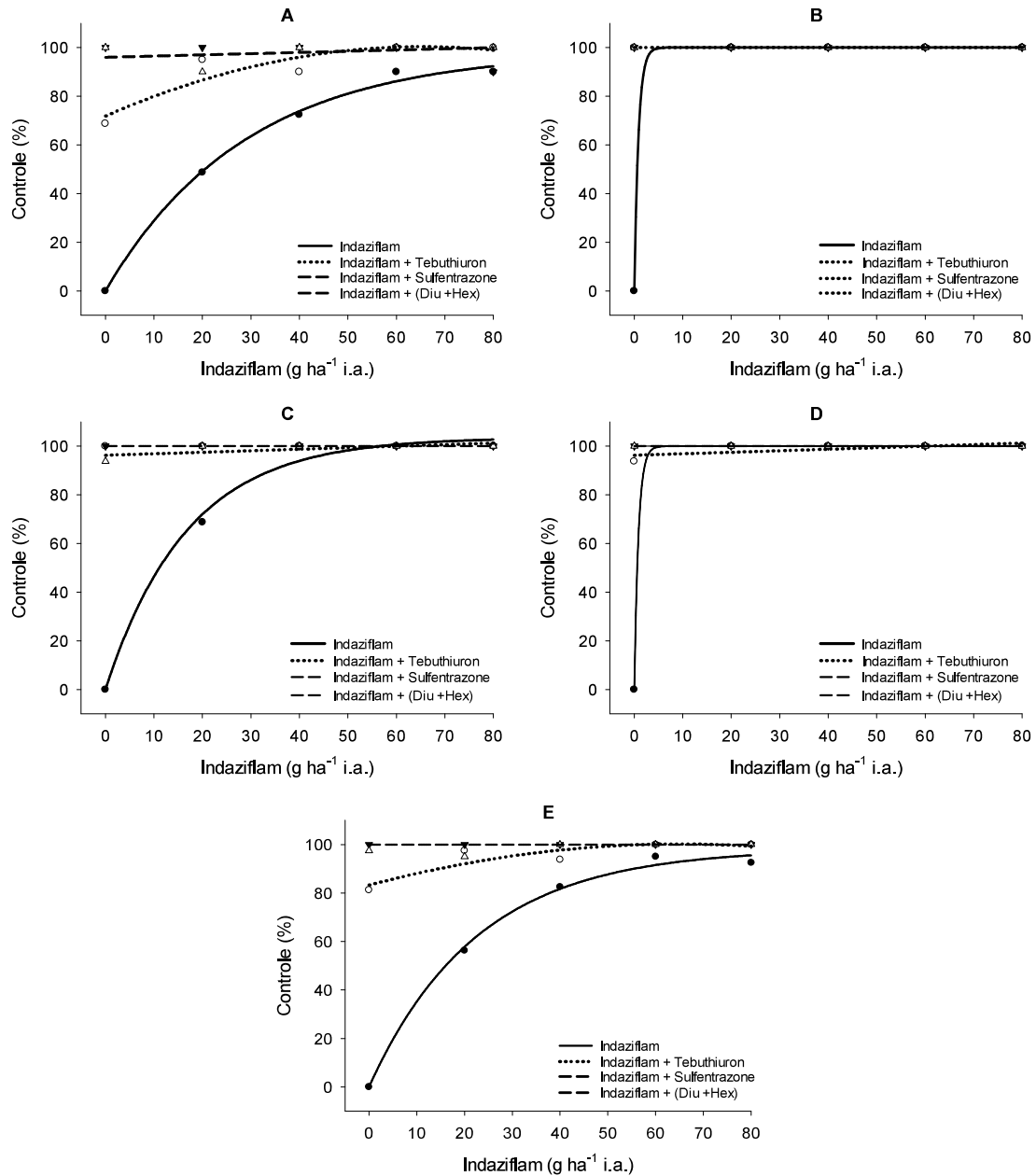


Figura 4 - Porcentagem de controle de *Urochloa brizantha* (A), *Bidens pilosa* (B), *Ipomoea triloba* (C), outras espécies de plantas daninhas (D) e total (E) aos 28 dias após a aplicação (DAA) do indaziflam nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹, em aplicação isolada e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (T: 1000 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S: 700 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (Diu: 878 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (Hex: 256 g ha⁻¹ i.a.) para o solo do Aeroporto de Viçosa, MG.

Aos 56 DAA a aplicação de sulfentrazone e diuron + hexazinone, isolados (dose 0 do indaziflam) ou em associação com o indaziflam, houve controle de 100 % sobre todas as

espécies (Figura 5). O tebuthiuron em associação com indaziflam a partir da dose de 60 g ha⁻¹, obteve controle de aproximadamente 100% (Figura 5A).

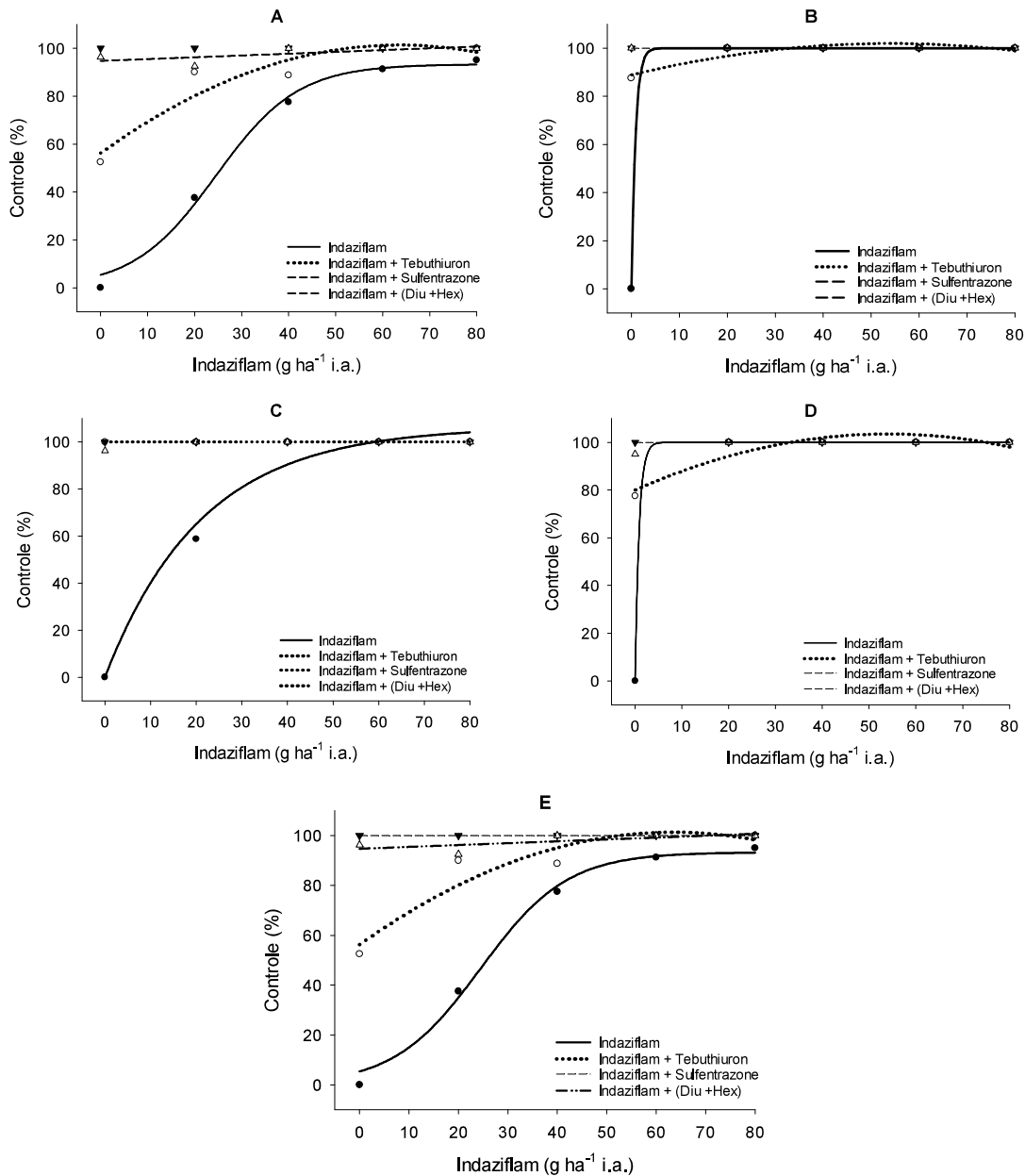


Figura 5 - Porcentagem de controle de *Urochloa brizantha* (A), *Bidens pilosa* (B), *Ipomoea triloba* (C), outras espécies de plantas daninhas (D) e total (E) aos 56 dias após a aplicação (DAA) do indaziflam nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹, em aplicação isolada e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (T: 1000 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S: 700 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (Diu: 878 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (Hex: 256 g ha⁻¹ i.a.) para o solo do Aeroporto de Viçosa, MG.

As equações utilizadas nos modelos de regressão estão listadas na tabela 4.

Tabela 4 - Equações para as curvas de porcentagem de controle nas Figuras 4 e 5, aos 28 e 56 dias após a aplicação (DAA) do indaziflam (I) nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹, em aplicação isolada e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (T: 1000 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S: 700 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (D: 878 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (H: 256 g ha⁻¹ i.a.) para o solo do Aeroporto de Viçosa, MG.

28 DAA		56 DAA	
<i>U. brizantha</i> (Figura 4A)		<i>U. brizantha</i> (Figura 5B)	
*Y _I = 98,53(1-e ^(0,034x))	R ² =0,99	Y _I =93,32/(1+e ^{(-x-24,46)/8,75})	R ² =0,99
Y _{I+T} = 71,89+0,873x-0,0067x ²	R ² =0,82	Y _{I+T} =56,321+1,417x-0,011x ²	R ² =0,90
Y _{I+S} = 98,00		Y _{I+S} =97,75	
Y _{I+ (D+H)} = 98,00		Y _{I+ (D+H)} =97,75	
<i>B. pilosa</i> (Figura 4B)		<i>B. pilosa</i> (Figura 5B)	
Y _I = 100,00(1-e ^(-1,16x))	R ² =0,99	Y _I =100,00(1+e ^(-1,1605x))	R ² =0,97
Y _{I+T} =100,00		Y _{I+T} =88,93+0,4821x-0,0045x ²	R ² =0,86
Y _{I+S} =100,00		Y _{I+S} =100,00	
Y _{I+ (D+H)} =100,00		Y _{I+ (D+H)} =100,00	
<i>I. triloba</i> (Figura 4C)		<i>I. triloba</i> (Figura 5C)	
Y _I = 103,57(1+e ^(-0,0594x))	R ² =0,99	Y _I =106,51(1+e ^(-0,0473x))	R ² =0,98
Y _{I+T} = 96,25+0,0625x	R ² =0,86	Y _{I+T} =100,00	
Y _{I+S} =100,00		Y _{I+S} =100,00	
Y _{I+ (D+H)} = 100,00		Y _{I+ (D+H)} =99,25	
Outras (Figura 4D)		Outras (Figura 5D)	
Y _I =100,00(1+e ^(-1,1605x))	R ² =0,99	Y _I = 100,00(1+e ^(-1,16x))	R ² =0,99
Y _{I+T} =94,46+0,1205x-0,0006x ²	R ² =0,86	Y _{I+T} = 80,07+0,867x-0,008x ²	R ² =0,85
Y _{I+S} =100,00		Y _{I+S} = 100,00	
Y _{I+ (D+H)} =100,00		Y _{I+ (D+H)} = 100,00	
Total (Figura 4E)		Total (Figura 5E)	
Y _I = 98,41(1+e ^(-0,0443x))	R ² =0,99	Y _I = 93,33/(1+e ^{(-x-24,464)/8,754})	R ² =0,99
Y _{I+T} = 83,28+0,5214x-0,004x ²	R ² =0,79	Y _{I+T} = 56,32+0,1417x-0,011x ²	R ² =0,89
Y _{I+S} = 98,75		Y _{I+S} =99,00	R ² =0,99
Y _{I+ (D+H)} =98,50		Y _{I+ (D+H)} = 94,75+0,0075x	R ² =0,60

*Indaziflam (I); Tebuthiuron (T), Sulfentrazone (S); Diuron+ Hexazinone (D+H)

O número de plantas e massa de matéria seca por vaso aos 56 DAA reduziram com aumento da dose de indaziflam (Figuras 6A e 6B), com comportamento semelhante ao experimento no solo de oratórios. Houve decréscimo exponencial para número de plantas, alcançando valor próximo de zero com a dose de 40 g ha⁻¹, enquanto que a massa de matéria seca reduziu de forma menos acentuada, com cerca de 14 g vaso⁻¹ na respectiva dose, indicando que apesar da redução substancial da população de plantas, as poucas remanescentes continuaram a se desenvolver (Figura 6B). O herbicida tebuthiuron aplicado isolado obteve

aproximadamente 5 plantas vaso⁻¹ e acúmulo de massa seca de 13,58 g vaso⁻¹, entretanto, sua associação com indaziflam na dose de 40 g ha⁻¹ proporcionou redução para aproximadamente 1 planta vaso⁻¹ e acúmulo de massa seca de 6,22 g vaso⁻¹, demonstrando a eficácia da mistura. Os herbicidas sulfentrazone e diuron + hexazinone foram eficazes com número de plantas e acúmulo de massa seca próximos a 0, independente da associação com indaziflam.

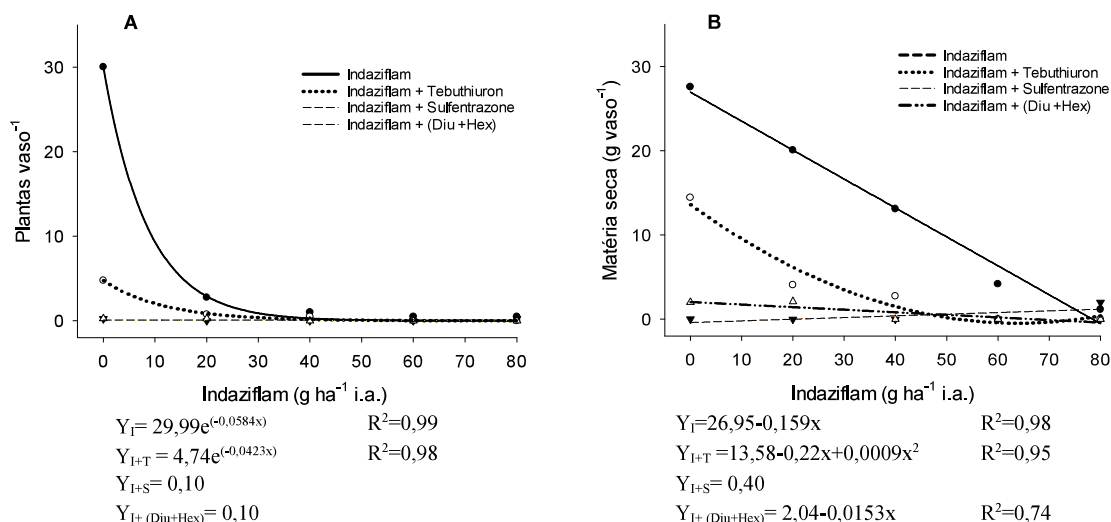


Figura 6 - Número de plantas por vaso (A) e massa de matéria seca das plantas daninhas (B) aos 56 dias após a aplicação (DAA) indaziflam (I) nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹, em aplicação isolada e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (T: 1000 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S: 700 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (Diu: 878 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (Hex: 256 g ha⁻¹ i.a.) para o solo do Aeroporto de Viçosa, MG.

3.3 Experimento 3 - Solo Vale da Agronomia, Viçosa-MG

No solo coletado na unidade de pesquisa do Vale da Agronomia, observou-se aos 28 DAA, que a porcentagem de controle aumentou, com incremento da dose para aplicação isolada do indaziflam para as espécies de *U. brizantha*, *I. triloba* e *B. pilosa* (Figuras 7B e 7C). Para *U. brizantha*, o controle pelo indaziflam foi acima de 80% a partir da dose de 72 g ha⁻¹ i.a., enquanto que para *I. triloba* e *B. pilosa* essa porcentagem de controle foi alcançada com a dose em torno de 40 g ha⁻¹ (Figura 7A). Para as demais espécies que faziam parte do banco de sementes do solo, o controle foi de aproximadamente 100% na dose de 20 g ha⁻¹. O controle geral das plantas daninhas foi influenciado pela *U. brizantha*, com aumento linear em função do aumento da dose, com 94% de controle na dose de 80 g ha⁻¹ i.a. Vale ressaltar que os herbicidas tebuthiuron e diuron + hexazinone aplicados isoladamente alcançaram, nesse solo, 82% e 65% de controle para *U. brizantha*, respectivamente. Dessa maneira, é necessário a

associação com o indaziflam nas doses de 20 e 80 g ha⁻¹ para alcançar controle adequado (Figura 7A). O sulfentrazone foi eficaz para o controle das espécies, independente da associação com indaziflam.

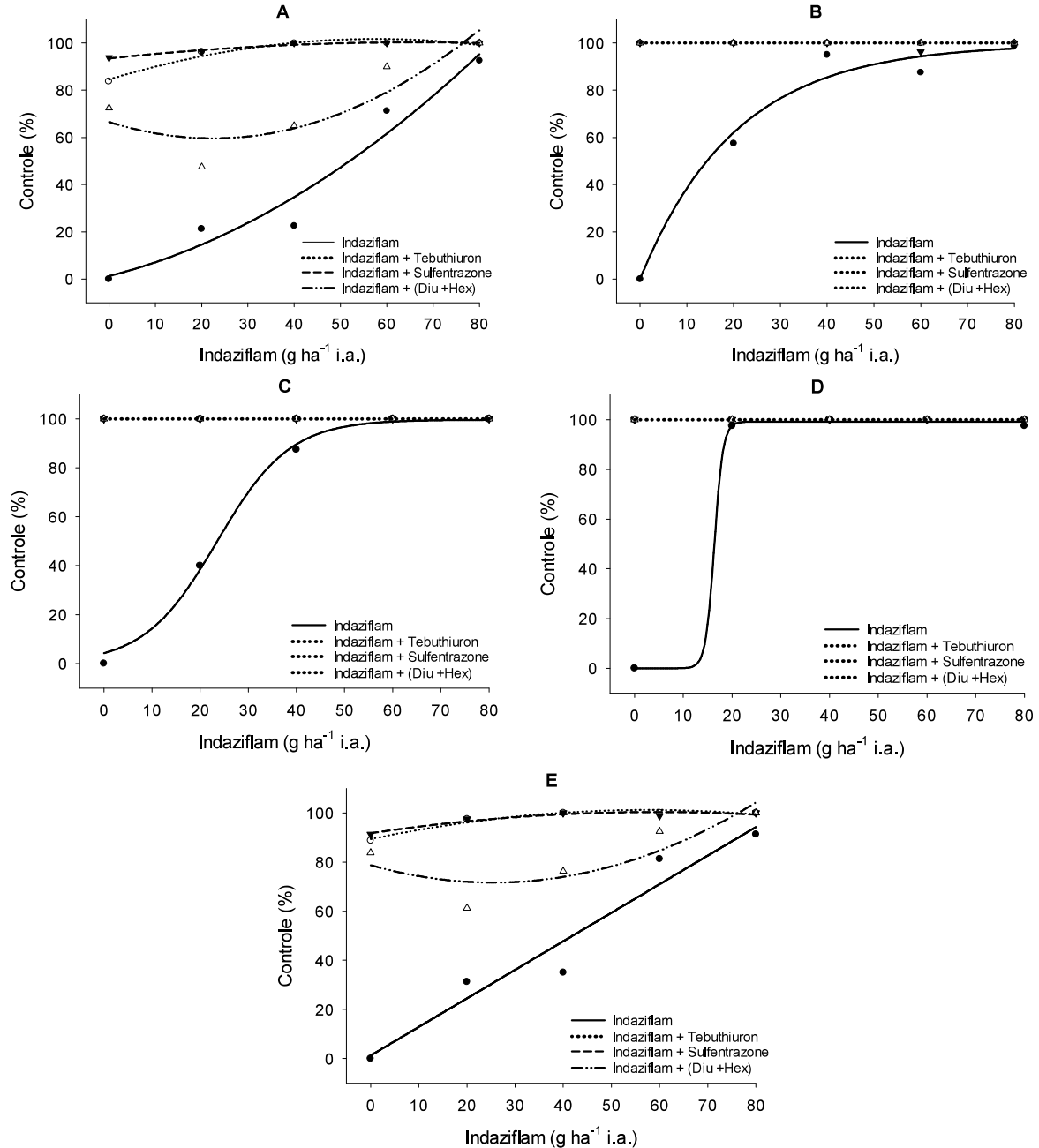


Figura 7- Porcentagem de controle de *Urochloa brizantha* (A), *Bidens pilosa* (B), *Ipomoea triloba* (C), outras espécies de plantas daninhas (D) e total (E), aos 28 dias após a aplicação (DAA) do indaziflam nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹, em aplicação isolada e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (T: 1100 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S: 800 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (Diu: 976 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (Hex: 284 g ha⁻¹ i.a.) para o solo do Vale da Agronomia, Viçosa, MG.

A mistura do diuron + hexazinone com o indaziflam na dose de 20 g ha⁻¹ i.a, reduziu a porcentagem de controle de *U. brizantha* em relação a aplicação isolada do diuron + hexazinone. Esse fato, pode ser devido a uma incompatibilidade entre os as moléculas com dose menor do indaziflam (Figura 7A). Aos 56 DAA, observou-se redução nos índices de controle em relação à avaliação realizada 28 DAA. A aplicação isolada do indaziflam exerceu ação de controle de 100% somente sobre a espécie de *B. pilosa*, aplicado na dose de 80 g ha⁻¹. Entretanto, para *U. brizantha*, *I. triloba* e outras espécies infestantes que faziam parte do banco de sementes do solo, como *S. arundinaceum*, *Cyperus esculentus*, *Echinochloa* sp, o controle foi inferior a 90%, mesmo na maior dose aplicada (Figura 8).

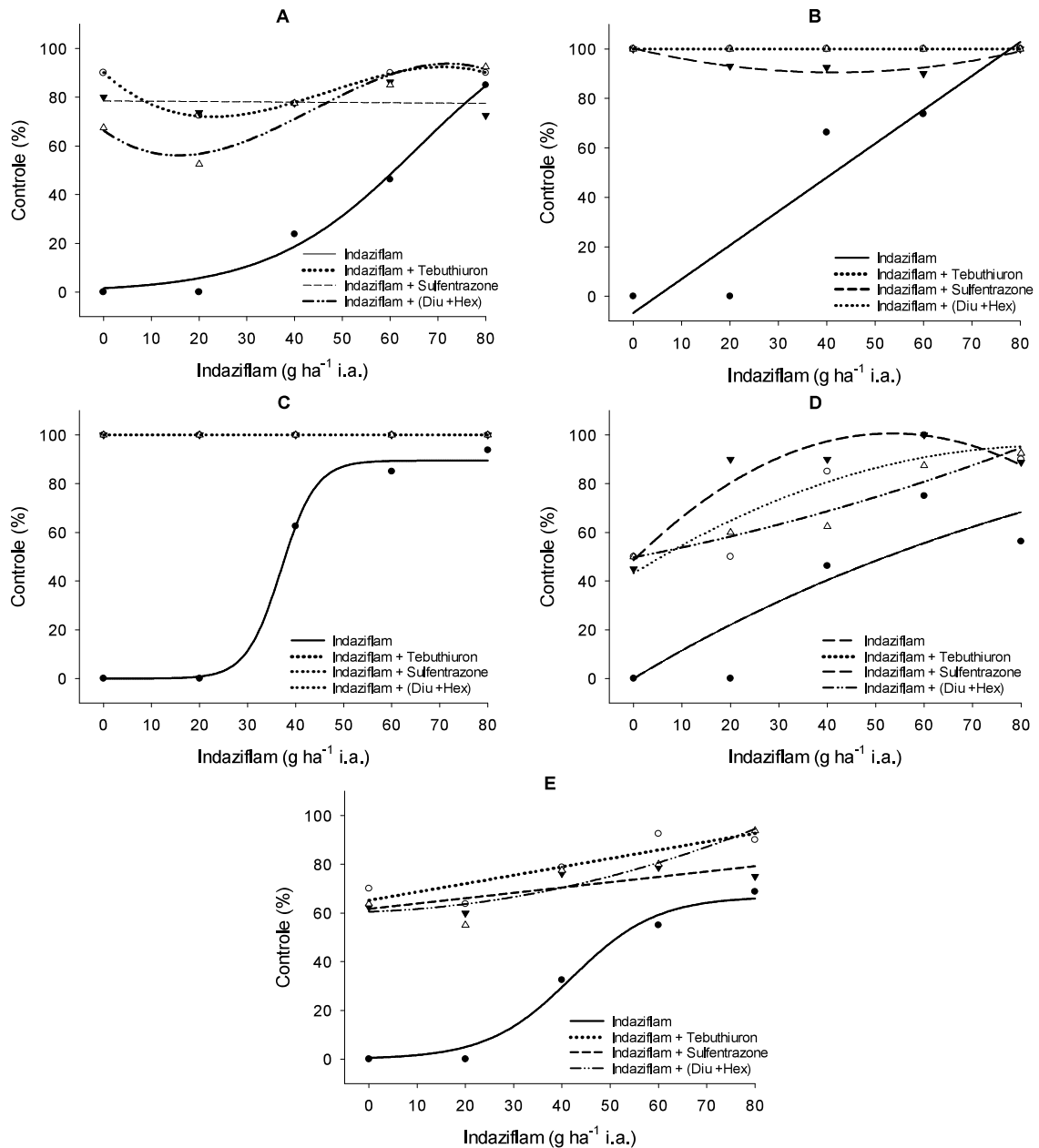


Figura 8 - Porcentagem de controle de *Urochloa brizantha* (A), *Bidens pilosa* (B), *Ipomoea triloba* (C), outras espécies de plantas daninhas (D) e total (E), aos 56 dias após a aplicação (DAA) do herbicida indaziflam nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹, em aplicação isolada e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (T: 1100 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S: 800 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (Diu: 976 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (Hex: 284 g ha⁻¹ i.a.) para o solo do Vale da Agronomia, Viçosa, MG.

Os herbicidas sulfentrazone, tebuthiuron e diuron+hexazinone não proporcionaram controle satisfatório de *U. brizantha* quando aplicados isoladamente (Figura 8A). Entretanto, o

tebuthiuron e a mistura diuron+hexazinone alcançaram aproximadamente 90% de controle quando associados ao indaziflam aplicado em doses superiores a 60 g ha⁻¹. Não houve sinergismo na associação do indaziflam ao sulfentrazone, que manteve taxa de controle próximo a 80%, independente da dose do indaziflam.

As equações e coeficientes de regressão, utilizadas para avaliar o comportamento em relação ao aumento da dose, para as duas épocas de avaliação estão listadas na tabela 5.

Tabela 5 - Equações para as curvas de porcentagem de controle nas Figuras 7 e 8, aos 28 e 56 dias após a aplicação do herbicida (DAA) do indaziflam (I) nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹, em aplicação isolada e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (T: 1100 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S: 800 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (D: 976 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (H: 284 g ha⁻¹ i.a.) para o solo do Vale da Agronomia, Viçosa, MG.

28 DAA		56 DAA	
<i>U. brizantha</i> (Figura 7A)		<i>U. brizantha</i> (Figura 8A)	
*Y _I = 1,28+0,4964x+0,0085x ²	R ² =0,95	Y _I =117,53/(1+e ^(-x-65,5563)/15,3248))	R ² =0,98
Y _{I+T} = 84,64+0,5920x-0,0050x ²	R ² =0,96	Y _{I+T} =90,07-0,89x+0,0128x ² -4,56.10 ⁻⁵ x ³	R ² =0,99
Y _{I+S} = 93,50-0,2063x+0,0138x ²	R ² =0,96	Y _{I+S} = 79,50	
Y _{I+ (D+H)} =66,57-0,619x+0,0138x ²	R ² =0,81	Y _{I+ (D+H)} =66,43-1,413x+0,00549x ² -0,0004x ³	R ² =0,92
<i>B. pilosa</i> (Figura 7B)		<i>B. pilosa</i> (Figura 8B)	
Y _I = 99,67(1-e ^(-0,0487x))	R ² =0,98	Y _I =-6,75+1,3687x	R ² =0,90
Y _{I+T} = 100,0		Y _{I+T} =100,0	
Y _{I+S} = 99,25		Y _{I+S} = 100,27-0,4721x+0,0057x ²	R ² =0,87
Y _{I+ (D+H)} = 100,0		Y _{I+ (D+H)} = 100,0	
<i>I. triloba</i> (Figura 7C)		<i>I. triloba</i> (Figura 8C)	
Y _I = 99,68/(1+e ^(-x-23,4942)/7,5481))	R ² =0,99	Y _I =89,48/(1+e ^(-x-36,9712)/3,6209))	R ² =0,99
Y _{I+T} = 100		Y _{I+T} = 100,0	
Y _{I+S} = 100,0		Y _{I+S} = 100,0	
Y _{I+ (D+H)} = 100,0		Y _{I+ (D+H)} = 100,0	
Outras (Figura 7D)		Outras (Figura 8D)	
Y _I = 99,17/(1+e ^(-x-16,3660)/0,8931))	R ² =0,99	Y _I = 131,35*(1-e ^(-0,0092*x))	R ² =0,96
Y _{I+T} = 100,00		Y _{I+T} = 43,28+1,2214x-0,0071x ²	R ² =0,82
Y _{I+S} = 100,0		Y _{I+S} = 48,61+1,9518x-0,0183x ²	R ² =0,91
Y _{I+ (D+H)} = 100,0		Y _{I+ (D+H)} = 49,79+0,3839x+0,0022x ²	R ² =0,93
Total (Figura 7E)		Total (Figura 8E)	
Y _I = 1,25+1,1625x	R ² =0,94	Y _I = 66,79/(1+e ^(-x-42,0386)/8,7459))	R ² =0,98
Y _{I+T} = 89,39+0,4107x-0,0036x ²	R ² =0,96	Y _{I+T} = 65,25+0,3438x	R ² =0,77
Y _{I+S} = 91,79+0,2902x-0,0025x ²	R ² =0,92	Y _{I+S} = 61,75+0,2188x	R ² =0,65
Y _{I+ (D+H)} =78,75-0,556x+0,0109x ²	R ² =0,75	Y _{I+ (D+H)} = 60,57+0,0679x+0,0045x ²	R ² =0,85

*Indaziflam (I); Tebuthiuron (T), Sulfentrazone (S); Diuron+ Hexazinone (D+H)

Vale ressaltar que a população de plantas daninhas foi muito elevada nesse solo, devido ao banco de sementes presente, com cerca de 120 plantas vaso⁻¹ na testemunha sem herbicidas

(dose zero do indaziflam isolado), com o aumento da dose do indaziflam, houve redução do número de plantas vaso⁻¹, alcançando valores próximos a zero com a dose de 60 g ha⁻¹ de i.a. A associação do indaziflam a outros herbicidas, já nas menores doses, reduziu o número de plantas em cerca de 97%, entretanto, houve acúmulo de matéria seca, devido a possível dominância de espécies com taxa de crescimento acentuada na unidade experimental, sobretudo a *U. brizantha* (Figura 9B).

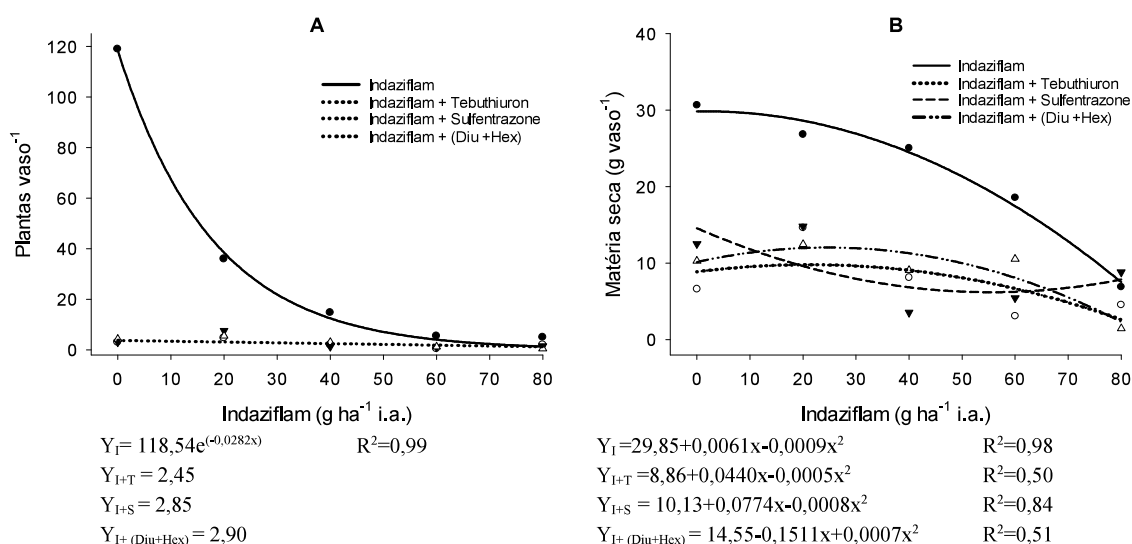


Figura 9 - Número de plantas por vaso (A) e massa de matéria seca das plantas daninhas (B) aos 56 dias após a aplicação (DAA) do indaziflam (I) nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 g ha⁻¹, em aplicação isolada e em mistura com os herbicidas tebuthiuron (T: 1100 g ha⁻¹ i.a.), sulfentrazone (S: 800 g ha⁻¹ i.a.) e diuron (Diu: 976 g ha⁻¹ i.a.) + hexazinone (Hex: 284 g ha⁻¹ i.a.) para o solo do Vale da Agronomia, Viçosa, MG.

4. DISCUSSÃO

Nos três solos avaliados, houve incremento no índice de controle com o aumento da dose de indaziflam aplicado isoladamente para as espécies de plantas daninhas avaliadas aos 28 e 56 DAA (Figuras 1, 2, 4, 5, 7 e 8), sendo que esses índices variaram em função das espécies de plantas daninhas dentro de cada solo. Menores índices de controle foram constatados para a *U. brizantha*, cujo controle acima de 85% foi alcançado na maior dose, com 80 g ha⁻¹ do i.a., para os solos de Oratórios e do Aeroporto. Fato que também pode ser verificado no acúmulo de matéria seca de plantas por vaso (Figuras 3B e 6B). Para o solo do Vale da Agronomia, houve menor eficácia no controle de *U. brizantha* e de outras espécies presentes no banco de sementes do solo, como *S. arundinaceum*, *C. sculentus*, *Echinochloa* sp., e controle total de plantas

daninhas, com índices abaixo de 90% para a maior dose (Figuras 7 e 8), que também pode ser evidenciado pelo acúmulo de matéria seca das respectivas espécies (Figura 9B).

A associação dos herbicidas foi eficiente para controle de boa parte das espécies de plantas. A principal espécie não controlada pelo indaziflam e pelos demais herbicidas isolados foi a *U. brizantha*. Essa espécie pertence à família Poaceae, possui crescimento rápido em relação à cana-de-açúcar, com número elevado de folhas, rápido acúmulo de matéria seca e capacidade de rebrota (OLIVEIRA et al. 2022), o que a torna bastante competitiva, exercendo dominância na área, mesmo sob baixa densidade (MATA et al., 2021), o que pode comprometer o rendimento do produto final, dificultar práticas culturais e a colheita da cultura (MARTINS et al., 2022). Esse fato justifica a combinação entre herbicidas no sentido de buscar o controle eficiente, especialmente, para culturas como a cana-de-açúcar, cujo período crítico de prevenção à interferência é extenso (KUVA et al., 2003). Além disso, deve-se observar as características do solo para a definição da dose do herbicida. Em solo argiloso e rico em matéria orgânica (Vale), aos 56 DAA a porcentagem de controle de *U. brizantha* superior a 90%, foi alcançada somente com a aplicação de indaziflam, na maior dose estudada (80 g i.a ha⁻¹), em mistura com tebuthiuron, sulfentrazone ou diuron + hexazinone (Figura 8A). Nesse solo as características químicas e físicas diferem dos outros dois solos em diversos aspectos, com destaque para o maior teor de matéria orgânica (2,42%) e de argila (50%) (Tabela 2).

O indaziflam possui retenção moderada pelos coloides do solo, sendo o teor de matéria orgânica o principal atributo a influenciar a sorção (SOUZA, 2018), seguido do pH (GONÇALVES et al., 2021). Solos com pH inferior à 5,0 tendem a manter o herbicida mais retido (TEIXEIRA, 2019). Nos solos estudados, foi realizada calagem de modo a elevar o pH para aproximadamente 6,0, que é a faixa ideal para a maioria das culturas. Sendo assim, é pouco provável que o pH tenha influenciado majoritariamente na sorção do indaziflam no solo, visto que houve padronização do pH dos solos. Dessa forma, para todos os herbicidas estudados, infere-se que o teor de matéria orgânica do solo, por ter relação direta com a sorção (ROCHA et al., 2013; SOUZA, 2018; SILVA et al., 2022), seja o principal responsável pela retenção no solo. Dessa maneira, há redução da quantidade do herbicida biodisponível na solução do solo, para ser absorvido pelas plantas daninhas, podendo não ser suficiente para o controle eficaz de algumas plantas daninhas, a depender do nível de sensibilidade à molécula (SILVA et al., 2022).

A porcentagem de argila exerce influência sobre a sorção do indaziflam nos solos (ALONSO et al., 2011), entretanto, Souza, (2018) não verificou correlação positiva desse atributo com a sorção do indaziflam nos solos. Contudo, em solos arenosos, há maior tendência

de lixiviação dos herbicidas, devido à baixa capacidade de retenção de água, sobretudo para herbicidas com baixo potencial de sorção, como o indaziflam (PPDB, 2022).

A maior disponibilidade do indaziflam na solução do solo propiciada pelo menor teor de matéria orgânica nos solos de Oratórios (1,07%) e Aeroporto (2,15%) (Tabela 1), proporcionaram maiores índices de controle para o referido herbicida para todas as plantas daninhas avaliadas em comparação ao solo coletado no Vale da Agronomia, em Viçosa-MG, o qual possui teor de matéria orgânica mais elevado (2,42%).

O tebuthiuron não proporcionou controle satisfatório (acima de 90%) para a espécie de *U. brizantha* nos solos estudados. Esse produto possui amplo espectro de ação, no entanto é solúvel em água, cerca de 2.500 mg L⁻¹ a 20 °C (PPDB, 2022). Como os vasos utilizados continham orifícios na parte inferior e foram constantemente irrigados, esse herbicida, que é móvel no solo, pode ter sofrido o processo de transporte, denominado lixiviação, o que pode ter reduzido sua ação de controle, sobretudo aos 56 DAA, ressaltando que o semeio de braquiária foi realizado nos primeiros 3 cm de solo, enquanto que a corda-de-viola foi semeada a 7 cm de profundidade.

No solo do Vale da Agronomia, Viçosa-MG, o sulfentrazone não atingiu controle acima de 80% para *U. brizantha* aos 56 DAA, mesmo associado ao indaziflam na maior dose (Figura 8A), o que se deve, possivelmente, à retenção dos herbicidas aos colóides do solo (MENDES et al., 2022). Braga (2014) constatou maior coeficiente de sorção do sulfentrazone em solos com maior teor de argila e matéria orgânica. Freitas et al. (2014) avaliando a sorção do sulfentrazone por meio de bioensaios, observaram maior adsorção deste herbicida em solos com maior teor de matéria orgânica, corroborando com os resultados observados neste trabalho. A reatividade da matéria orgânica está relacionada principalmente à elevada área superficial específica e presença de vários grupos funcionais, como carboxilas, hidroxilas e aminas, além de estruturas alifáticas e aromáticas (KUCKUK et al., 1997). Esta possui sítios tridimensionais que atuam na retenção dos compostos iônicos e não iônicos (BRAGA, 2014).

O indaziflam foi eficaz para o controle de *I. triloba* a partir da dose de 60 g ha⁻¹, esse fato não era esperado por se tratar de uma espécie que germina a maiores profundidades (RIZZARDI et al., 2009), conforme pode ser observado no capítulo dois desta tese, o controle dessa espécie no campo foi insatisfatório (abaixo de 50%) mesmo sob aplicação de doses mais elevadas desse herbicida. Neste experimento, em casa de vegetação, o controle pode ter sido favorecido pois o herbicida lixiviou além da profundidade de plantio das sementes, enquanto que no campo, com o revolvimento do solo elas poderiam estar a profundidades maiores,

fazendo com que após germinarem, as raízes não entrassem em contato com o herbicida que se concentra na camada superficial do solo (SOUZA et al., 2022). Além disso, a quebra de dormência, por meio de escarificação, pode ter favorecido o controle da *I. Triloba*.

Vale ressaltar também, que o presente trabalho foi conduzido em casa de vegetação com irrigação realizada por microaspersão e umidade mantida próxima da capacidade de campo. Adicionalmente, em condições de campo, solos com textura arenosa podem favorecer a movimentação do herbicida para camadas mais profundas (SILVA et al., 2022), que resultam em perda de eficácia no controle de algumas plantas daninhas cujos propágulos estão localizados nas camadas superficiais e, ainda, atingir o sistema radicular das culturas, causando intoxicação.

A maior mobilidade em solo com baixo teor de matéria orgânica e com textura tendendo a arenosa no solo de Oratórios, reduziu o índice de controle proporcionado pela mistura diuron + hexazinone, quando aplicados isoladamente ou com doses baixas do indaziflam, indicando que o herbicida pode ter percolado para camadas mais profundas do solo. Dessa forma, o uso associado de indaziflam e diuron + hexazinone em solos com menor capacidade de retenção dos herbicidas (menor teor de MO e argila) deve ser realizado com cautela.

Em face ao exposto, constata-se que em solos com elevada capacidade de retenção de herbicidas, como o do Vale da Agronomia, nenhum dos herbicidas aplicados isoladamente (indaziflam, tebuthiuron, sulfentrazone e diuron+hexazinone) proporcionaram controle satisfatório sobre *U. brizantha*, mesmo com doses mais elevadas em relação aos solos mais leves (Tabela 2). Mas quando aplicados em associação, o indaziflam + tebuthiuron ou o indaziflam + a mistura diuron + hexazinone promoveram controle acima de 90% na maior dose do indaziflam (80 g ha⁻¹).

Contudo, a escolha do herbicida para associação ao indaziflam deve ser realizada levando-se em conta: a comunidade infestante, buscando o herbicida eficaz para as plantas daninhas presentes; os atributos dos solos; as condições climáticas; o período residual em função da cultura a ser implantada em sucessão; e a prevenção da seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes e espécies tolerantes.

5. CONCLUSÕES

Recomenda-se a aplicação do indaziflam associado ao sulfentrazone, tebuthiuron e diuron + hexazinone, independente do solo, para obter eficácia de controle.

Em solos com baixo teor de matéria orgânica e de argila recomenda-se aplicar doses mais baixas do indaziflam, em torno de 60 g ha⁻¹ de i.a. e em solos com maior teor de matéria orgânica e/ou de argila deve-se aplicar a dose de 80 g ha⁻¹ de i.a.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, D. G.; KOSKINEN, W. C.; OLIVEIRA, R. S.; CONSTANTIN, J.; MISLANKAR, S. Sorption–Desorption of Indaziflam in Selected Agricultural Soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 24, p. 13096-13101, 2011.

BRABHAM, C.; LEI, L.; GU, Y.; STORK, J.; BARRETT, M.; DE BOLT, S. Indaziflam 117 Herbicidal Action: A Potent Cellulose Biosynthesis Inhibitor. **Plant Physiology**, v. 166, 118 n. 3, p. 1177-1185, 2014.

BRABHAM, CHAD B. Probing the plant cell wall with herbicides: a chemical genetics approach. 2016. 85f. Theses and Dissertations-Plant and Soil Sciences. University of Kentucky, USA, 2016.

BRAGA, D.F. sorção, dessorção e lixiviação do sulfentrazone em solos da região canavieira do nordeste brasileiro. 2014. 95f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2014.

CARNEIRO, G. D. O. P.; SOUZA, M. F.; LINS, H. A.; DAS CHAGAS, P. S. F.; SILVA, T. S.; TEÓFILO, T. M. S.; SILVA, D. V. Herbicide mixtures affect adsorption processes in soils under sugarcane cultivation. **Geoderma**, v. 379, p. 114626, 2020.

COMINO, J. R.; BOGUNOVIĆ, I.; MOHAJERANI, H.; PEREIRA, P.; CERDÀ, A.; SINOGA, J. R.; RIESS, J. The impact of vineyard' s abandonment on soil properties and hydrological processes. A study case in Ruwer-Mosel valley, Germany. **Vadose Zone Journal**, v. 16, n. 12, p. 1-7, 2017.

DURÃES, N.; NOVO, L. A.; CANDEIAS, C.; SILVA, E. F. Distribution, transport and fate of pollutants. *In*: DUARTE, A. C.; CAHADA, A.; ROCHA-SANTOS, T. (EDS.), Soil Pollution: from Monitoring to Remediation, Academic Press, London, UK (2018), p. 29-56.

FREITAS, M. A. M.; PASSOS, A. B. R. J.; TORRES, L. G.; MORAES, H. M. F.; FAUSTINO, L. A.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, A. A. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, v. 32, p. 385-392, 2014.

GONÇALVES, V. A.; FERREIRA, L. R.; TEIXEIRA, M. F. F.; FREITAS, F. C. L.; D'ANTONINO, L Sorption of indaziflam in brazilian soils with different ph values. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 494-504, 2021.

GONZÁLEZ-DELGADO, A. M.; JACINTHE, P. A.; SHUKLA, M. K. Effect of indaziflam on microbial activity and nitrogen cycling processes in orchard soils. **Pedosphere**, v. 32, n. 6, p. 803-811, 2022.

GUERRA, N.; OLIVEIRA JÚNIOR, S. R.; CONSTANTIN, J.; MENDES, A.; NETO, O.; GUILHERME, PEREIRA BRAZ, B. Aminocyclopyrachlor e indaziflam: Seletividade, controle e comportamento no ambiente. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 285-295, 2013.

KUCKUK, R. HILL, W., NOLTE, J., DAVIES, A. N. Preliminary investigations into the interactions of herbicides with aqueous humic substances. *Pesticide Science*, **West Sussex**. v. 51, p. 450-454, 1997.

KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. 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, n. 1, p. 37-44, 2003.

MARTINS, Lucas et al. Efficacy of the herbicide indaziflam in the control of perennial weeds *Digitaria nuda*, *Rottboellia exaltata* and *Panicum maximum* in the initial development of sugarcane. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 2, p. 1882-1869, 2022.

MATA, J. F.; LEMUS; ELASMO, E. A.; SIEBENEICHLER, S. C.; KORASAKI, V.; MARTINS, H. Produção da cultura da soja em consórcio com a *Urochloa brizantha* cv. brs piatã sob diferentes densidade e época de semeadura. **Revista Agroecossistemas**, v. 13, n. 2, p. 16-34, 2021.

NICOLAI M.; CARVALHO S. J. P.; CHRISTOFFOLETI P.J.; CORRÊA R. A. L. Programas de manejo químico de plantas daninhas em plantio de cana-de-açúcar fundamentados em duas aplicações de herbicidas. **Revista Agrogeambiental 2**, v. 2, n. 3, 2010.

OLIVEIRA, A. F.; MENEZES, G. L.; GONÇALVES, L. C.; ARAÚJO, V. E.; RAMIREZ, M. A.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; JAYME, D. G.; LANA, A. Pasture traits and cattle performance in silvopastoral systems with Eucalyptus and Urochloa: Systematic review and meta-analysis. **Livestock Science**, v. 262, p. 104973. 2022.

PÉREZ-LUCAS, G.; GAMBÍN, M.; NAVARRO, S. Leaching behaviour appraisal of eight persistent herbicides on a loam soil amended with different composted organic wastes using screening indices. **Journal of Environmental Management**, v. 273, p. 111179, 2020.

PPDB: PESTICIDE PROPERTIES DATABASE. Tebuthiuron (Ref: EL 103). Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/614.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

RIZZARDI, M. A.; LUIZ, A. R.; ROMAN, E. S.; VARGAS, L. Effect of cardinal temperature and water potential on morning glory (*Ipomoea triloba*) seed germination. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 13-21, 2009.

SILVA, A. A.; MENDES, K. F.; D' ANTONINO, L.; PEREIRA, G. A. M.; MIELKE, K. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. cap 4. Dinâmica e destino de herbicidas no solo. *In*: MENDES, K. F.; SILVA, A. A. **Plantas Daninhas: herbicidas**. São Paulo-SP. Oficina de Textos, 2022. p. 100-128.

SOUZA, W. M. Influência dos atributos do solo na sorção e lixiviação do indaziflam em solos tropicais. 2018. 76f. **Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2018.

TEIXEIRA, M. F. F. Sorção, dessorção e lixiviação do indaziflam em solos com atributos distintos e adição de esterco bovino. 2019. 89f. **Tese (Doutorado em Fitotecnia)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2019.

TOMPKINS, J. 2010. Pesticide Fact Sheet: Indaziflam. Environmental Protection Agency. United States. Disponível em: <http://www.epa.gov/opp00001/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-80818_26-Jul-10.pdf> Acesso em: 05 de novembro de 2021.

Capítulo II

Seletividade e controle de plantas daninhas pelo indaziflam e tebuthiuron na cultura da cana-de-açúcar, com e sem a operação de quebra-lombo

RESUMO

Uma prática cultural na cana-de-açúcar é a operação de quebra-lombo, que consiste em uniformizar a superfície do solo por volta dos 70 dias após o plantio (DAP). Entretanto, essa operação pode interferir na eficácia de controle dos herbicidas aplicados em pré-emergência. Além disso, há relatos que o indaziflam tem causado intoxicação na cana-de-açúcar sob determinadas condições de solo e manejo, como o quebra-lombo que pode levar ao acúmulo de herbicida na linha de plantio. Diante ao exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a operação de quebra-lombo influencia na seletividade e eficácia de controle de plantas daninhas dos herbicidas indaziflam e tebuthiuron, aplicados na cana-de-açúcar. Foram conduzidos dois experimentos em delineamento em blocos casualizados, em dois anos e dois locais com solos distintos, sendo um em Latossolo Vermelho-Amarelo e outro em Latossolo Amarelo. Foram avaliados 15 tratamentos: Aplicação de três doses de indaziflam (75, 60 e 40 g ha⁻¹ i.a.) isoladas e em mistura com tebuthiuron (1000 g ha⁻¹ i.a.) sendo esses com e sem operação de quebra-lombo, além de tebuthiuron isolado (1000 g ha⁻¹ i.a.) e duas testemunhas (com e sem capinas), sem quebra-lombo. As parcelas foram constituídas por 4 linhas de 5 m comprimento, espaçadas de 1,40 m, totalizando 28 m². Aos 30 e 120 dias após plantio (DAP) realizou-se avaliações de controle de plantas daninhas, com notas de 0 a 100% de controle, além disso, foi realizado coleta de plantas daninhas, por meio de quadrado vazado (0,25 m²), lançado aleatoriamente duas vezes em cada parcela. Aos 30 e 120 DAP também foi realizado a análise de intoxicação na cana-de-açúcar, bem como coleta e avaliação do volume de raiz em 0,50 m da linha de plantio. Aos 350 DAP foi mensurada a produtividade da cana-de-açúcar. Não houve intoxicação e redução da matéria seca de raízes das plantas de cana-de-açúcar pelos herbicidas, independente da operação de quebra-lombo. A aplicação do indaziflam isolado não proporcionou controle eficiente de algumas plantas daninhas, reduzindo a produtividade da cana-de-açúcar. A aplicação do tebuthiuron isolado e em associação ao indaziflam, proporcionou controle das plantas daninhas com valores acima de 80%. A produtividade foi maior com aplicação do indaziflam (75 g ha⁻¹ i.a.) em associação com o tebuthiuron.

Palavras-Chave: Fotossistema II. Aplicação de herbicidas. Controle químico

Weed control by indaziflam and tebuthiuron, associated with the loinbreaker operation in the sugarcane crop

ABSTRACT

A cultural practice in sugarcane is the loin breaker operation, which consists of leveling the soil surface around 70 days after planting (DAP). However, this operation can interfere with the control efficacy of herbicides applied in pre-emergence. In addition, there are reports that indaziflam has caused intoxication in sugarcane under certain soil and management conditions, such as the loin breaker that can lead to the accumulation of herbicide in the planting line. Given the above, the objective of this work was to evaluate whether the loin breaker operation influences the selectivity and weed control efficacy of the herbicides indaziflam and tebuthiuron, applied to sugarcane. Two experiments were conducted in a randomized block design, in two years and two locations with different soils, one in Red-Yellow Latosol and the other in Yellow Latosol. Fifteen treatments were evaluated: Application of three doses of indaziflam (75, 60 and 40 g ha⁻¹ a.i.) alone and in a mixture with tebuthiuron (1000 g ha⁻¹ a.i.), these being with and without loin breaking operation, in addition to isolated tebuthiuron (1000 g ha⁻¹ a.i.) and two controls (with and without weeding), without loin breaker. The plots consisted of four rows of 5 m in length, spaced 1.40 m apart, totaling 28 m². At 30 and 120 days after planting (DAP), weed control evaluations were carried out, with scores from 0 to 100% of control, in addition, weed collection was carried out, using a hollow square (0.25 m²), released randomly twice in each installment. At 120 DAP, the analysis of intoxication in sugarcane was also carried out, as well as the collection and evaluation of the root volume in 0.50 m of the planting line. At 350 DAP, sugarcane productivity was measured. There was no intoxication and reduction of dry matter of roots of sugarcane plants by the herbicides, regardless of the loin breaker operation. The application of isolated indaziflam did not provide efficient control of weeds of some species, reducing the productivity of sugarcane. The application of tebuthiuron alone and in association with indaziflam, provided weed control with values above 80%. Yield was higher with the application of indaziflam (75 g ha⁻¹ a.i.) in association with tebuthiuron.

Keywords: Photosystem II. Herbicide application. Chemical control

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) do mundo, com estimativa de produção de cerca de 598,3 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023). A região sudeste do país responde por aproximadamente 63,7% da produção total, sendo os estados de São Paulo e Minas Gerais os grandes destaques da região (CONAB, 2023).

Dentre as técnicas utilizadas para garantir elevada produtividade na cana-de-açúcar, destaca-se o manejo de plantas daninhas (SILVA et al., 2018). Na cultura da cana-de-açúcar, comumente são utilizados os métodos químico e o mecânico (NICOLAI et al., 2010). O químico é realizado por aplicação de herbicidas isolados ou em mistura, já o método mecânico, é utilizado no preparo da área (arações e gradagens) e com a operação de quebra-lombo.

A operação de quebra-lombo na cana-de-açúcar é comumente realizada por volta dos 70 dias após plantio (DAP) e tem como objetivo viabilizar a entrada de máquinas na área. Essa operação, exerce influência sobre as plantas daninhas na área, pois com o revolvimento do solo, pode ocorrer reinfestação, variando a composição das espécies na área, comprometendo a eficácia de controle (CARVALHO e MORETTI, 2010).

A cana-de-açúcar é uma cultura perene, com ciclo longo, com período total de prevenção a interferência (PTPI) de plantas daninhas, podendo chegar a 200 dias após plantio (MEIRELLES et al., 2009). Dessa maneira, a utilização de herbicidas em pré-emergência com maior período residual, é utilizada, garantido eficiência de controle a longo prazo. Entretanto, muitas vezes a aplicação de um herbicida não é suficiente para controlar as plantas daninhas na área, sendo necessária a aplicação de dois ou mais produtos, visto que algumas espécies são mais tolerantes a determinado produto e a depender das condições do ambiente estas não serão controladas.

Dentre os produtos aplicados em pré-emergência na cana-de-açúcar tem-se destacado o indaziflam e o tebuthiuron. O indaziflam é um potente inibidor da biossíntese de celulose, pertencente ao grupo das fluoroalkylazine, exercendo controle sobre monocotiledôneas e algumas eudicotiledôneas (PPDB, 2022). Já o tebuthiuron é um herbicida que exerce ação sobre o fotossistema II das plantas e controla plantas monocotiledôneas e eudicotiledôneas. Ambos os herbicidas apresentam período residual elevado, meia vida de 180 dias para o indaziflam (TOMPKINS, 2010) e cerca de 114 dias para o tebuthiuron (FARIA et al., 2018), o que para a cultura da cana é viável, visto que, a aplicação de herbicidas em pós-emergência tardia é complicada, devido à elevada altura das plantas, que podem alcançar cerca de 3,0 m (MARTELLO, 2017). Entretanto, esse efeito residual pode ser problemático se o herbicida não

exercer ação sobre espécies de plantas na área, antes do fechamento do dossel, ou até a colheita. Contudo, estudos sobre as misturas de herbicidas com o indaziflam são incipientes, sobretudo, com o tebuthiuron.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da operação de quebra-lombo sobre a eficácia de controle de plantas daninhas dos herbicidas indaziflam e tebuthiuron isolados e em mistura, e se houve intoxicação desses, quando aplicados na cana-de-açúcar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

Foram conduzidos dois experimentos em locais distintos, com solos com diferentes atributos (Tabela 1), sendo um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) para o ano de 2018 (20°44'41.2"S 42°50'39.7"W) e Latossolo Amarelo (LA), para o ano de 2019 (20°44'54.0"S 42°50'29.1"W) na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão em Produção de Grandes Culturas e Bioenergia (UEPE-GCBE Aeroporto) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Tabela 1 - Características físico-químicas das amostras dos solos, coletados nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para a cana-de-açúcar cultivada em dois anos em solos distintos (2018-2019 e 2019-2020).

Experimento 1 (2018-2019)

Solo	¹ pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)	----- (cmolc dm ⁻³) -----						---- (%) ----			
LVA 0-20 cm	5,5	4,5	50	1,87	0,67	0,1	3,30	2,67	2,77	5,97	44,7	3,6
LVA 20-40 cm	4,2	1,9	25	1,77	0,67	0,0	3,30	2,50	2,50	5,80	43,1	0,0
		Areia	Silte	Argila		Classe textural		MO				
		----- % -----						(dag kg⁻¹)				
LVA 0-20 cm		40	15	45		Argilo-Arenosa		2,87				
LVA 20-40 cm		45	20	35		Argilo-Arenosa		1,54				

Experimento 2 (2019-2020)

Solo	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)	----- (cmolc dm ⁻³) -----						---- (%) ----			
LA 0-20 cm	5,8	6,6	21	1,85	0,69	0,1	2,97	2,59	2,69	5,56	46,6	3,7
LA 20-40 cm	4,1	1,9	12	1,20	0,39	0,3	2,97	1,62	1,92	4,59	35,3	15,6
		Areia	Silte	Argila		Classe textural		MO				
		----- % -----						(dag kg⁻¹)				
LA 0-20 cm		53	12	35		Franco-Argilo-Arenosa		1,75				
LA 20-40 cm		46	12	42		Argilo-Arenosa		1,02				

¹pH: água, Kcl e CaCl₂- relação 1:2,5. P-K: Extrator Mehlich 1. Ca-Mg e Al: Extrator: KCl - 1 mol L⁻¹. H + Al - Acidez potencial – Extrator: acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; SB - Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - Índice de saturação de bases; m - Índice de saturação de alumínio; MO – Matéria orgânica

²Análises realizadas segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

2.2 Delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos no delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Ambos experimentos foram constituídos de 15 tratamentos listados na Tabela 2. Os herbicidas indaziflam e tebuthiuron foram aplicados em pré-emergência das plantas daninhas e da cultura da cana-de-açúcar no dia seguinte após o plantio da cultura. A operação de quebra-lombo foi realizada aos 70 dias após o plantio (DAP).

Tabela 2 - Tratamentos do experimento de controle do indaziflam e tebuthiuron na cana-de-açúcar.

Tratamentos	Aplicação pré-emergência (g ha⁻¹ i.a.)	Aplicação pós quebra-lombo (g ha⁻¹ i.a.)
I (75) + QL	75	0
I (75) – QL	75	0
I (60) + QL	60	0
I (60) – QL	60	0
I (40+40) + QL	40	40
I (40) + QL	0	40
Test. S/C + QL	-	-
Test. C/C + QL	-	-
I (75) + T + QL	75 + 1000	0
I (75) + T – QL	75 + 1000	0
I (60) + T + QL	60 + 1000	0
I (60) + T – QL	60 + 1000	0
I (40+40) + T + QL	40 + 1000	40
I (40) + T + QL	0 + 1000	40
T + QL	1000	0

QL: Quebra-lombo; T : Tebuthiuron; I: Indaziflam; CC: Com capina; SC: Sem capina

2.3 Preparo do solo

Foi realizada dessecação com Glyphosate (1900 g ha⁻¹ e.a.) e 2,4-D (500 g ha⁻¹ e.a.) 40 dias antes da instalação dos experimentos, visando controle de plantas daninhas, incluindo as de propagação vegetativa. Cerca de 10 dias após dessecação, foi efetuada calagem a lanço nas duas áreas experimentais, com base nos resultados obtidos na análise dos solos (Tabela 1) visando aumentar a saturação de bases para 60% e pH para aproximadamente 6,5 (ALVAREZ e RIBEIRO, 1999). Após a aplicação do calcário foi realizada aração do solo a 20 cm de profundidade, seguida de duas gradagens.

Dois dias antes do plantio foi realizada uma terceira gradagem para controle mecânico de plantas daninhas que possam ter emergido, para posterior abertura de sulcos de 30 cm de profundidade espaçados de 1,40 m, para plantio da cana-de-açúcar. O plantio foi realizado nos

meses de outubro, em seus respectivos anos, época em que na região se concentra boa parte da precipitação pluvial anual.

2.4 Plantio e adubação

A variedade utilizada nos dois experimentos foi a RB 867515. Para adubação de plantio, utilizou-se 300 e 350 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado NPK (6-30-6), aos experimentos instalados em 2018 e 2019, respectivamente, com base na análise física e química do solo (Tabela 1) e na recomendação para a cultura (Fontes, 1999), distribuído no sulco de plantio. O plantio da cana-de-açúcar foi realizado de forma manual, deixando-se dois colmos inteiros pareados, no sistema de “pé com ponta”, com posterior corte em toletes de três gemas por secção. Após seccionamento dos colmos, os mesmos foram cobertos com uma camada de 10 cm de solo.

A adubação de cobertura foi realizada aos 70 DAP, com formulado de NPK (20-5-20) na dose de 300 kg ha⁻¹, distribuído próximo as linhas da cana-de-açúcar, com posterior irrigação, em ambos os experimentos.

2.5 Unidades experimentais

As parcelas foram constituídas por 4 linhas de cana-de-açúcar, espaçadas de 1,40 m com 5,0 m de comprimento, totalizando 28 m². Para as avaliações utilizou-se a área correspondente a duas linhas centrais da parcela, desconsiderando 0,50 m de comprimento em cada extremidade da parcela, obtendo área útil de 11,20 m².

2.6 Aplicação dos herbicidas

As aplicações dos herbicidas foram realizadas um dia após o plantio da cana-de-açúcar de forma simultânea. Para tal, foi utilizado pulverizador costal, pressurizado com CO₂, munido de uma barra de pulverização com três pontas tipo leque modelo TTI11002, espaçadas de 0,50 m, trabalhando na pressão de 2,8 bar, com velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹ e volume de calda de 180 L ha⁻¹. No momento da aplicação as condições climáticas foram: velocidade do vento de 5 km h⁻¹, UR de 85%, temperatura de 22° C; velocidade do vento de 6 km h⁻¹, UR de 75% e temperatura de 25° C, para os experimentos realizados em 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente. Vale ressaltar que no momento da aplicação o solo estava úmido, devido a ação das chuvas, condição ideal para aplicação desses dois herbicidas em pré-emergência.

2.7 Avaliação de intoxicação da cana-de-açúcar

Aos 30 e 120 DAA, foram realizadas avaliações visuais de intoxicação nas plantas de cana-de-açúcar, atribuindo-se notas de 0 a 100%, onde 0 correspondeu à ausência de sintomas e 100, morte das plantas. Além disso, foram coletadas raízes das plantas de cana em 0,50 m na linha de plantio, com auxílio de uma pá de corte, visto que o principal sintoma desse herbicida ocorre na raiz (TATENO; BRABHAM; DEBOLT, 2016). Posteriormente as raízes foram lavadas, cortadas (descartando os colmos, provenientes do plantio) e destinadas a avaliação de volume de raiz por meio de proveta graduada, após estas foram colocadas em sacos de papel e destinada a estufa de circulação de ar a 65 °C (± 2) para mensuração da massa de matéria seca.

2.8 Avaliações de controle de plantas daninhas

Aos 30 e 120 DAP, foram realizadas avaliação de controle de plantas daninhas, atribuindo-se notas de 0 a 100%, onde 100 correspondeu a controle total e 0 a ausência de controle. Além disso, foram coletadas plantas daninhas utilizando o método do quadrado com área útil de 0,25 m², lançado ao acaso duas vezes em cada parcela. A cada lançamento, as espécies encontradas dentro da área do quadrado foram identificadas, cortadas rente ao solo, quantificadas e catalogadas. Essas plantas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar (65 \pm 2 °C) até atingir massa constante para determinação da massa da matéria seca.

2.9 Produtividade

Ao final do ciclo (300 DAP) foi realizada a coleta de três feixes de 10 colmos de cana-de-açúcar, devidamente cortados, sendo realizado o desponte, retirada das folhas e pesagem para avaliação da produtividade, seguindo a recomendação do sistema da Consencana (2020) descrito por Acunha et al. (2014), baseado no peso médio de colmos e número de colmos por metro linear.

2.10 Análises estatísticas

A análise estatística para o número de plantas e massa de matéria seca de plantas daninhas foi realizada de forma descritiva, com comparação entre as principais espécies presentes em cada tratamento. Para as demais avaliações foram realizadas análise de variância (ANOVA) e quando significativo, utilizou-se o teste de agrupamento de médias de Scott- Knott a 5% de probabilidade. Para análise estatística e confecção dos gráficos foi utilizado o programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Seletividade a cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar não apresentou sintomas de intoxicação e nem diferenças significativas do volume e massa de matéria seca da raiz para ambos os experimentos, demonstrando que os herbicidas não apresentaram perda de seletividade para a cultura (dados não publicados).

3.2 Experimento conduzido no Latossolo Vermelho-Amarelo (2018-2019)

No experimento conduzido em Latossolo vermelho-Amarelo, foram verificadas 17 espécies de plantas daninhas na avaliação realizada aos 30 DAP (Tabela 3).

Tabela 3 - Plantas daninhas verificadas aos 30 DAP na cultura da cana-de-açúcar.

Classe/Família	Espécie	Nome popular
Monocotiledônea		
Poaceae	<i>Urochloa brizantha</i>	Braquiária-brizantha
	<i>Eleusina indica</i> (L.) Gaertn (Elein)	Capim-pé-de-galinha
	<i>Urochloa plantaginea</i> (L.) Webster	Capim-marmelada
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	Gramma-seda
	<i>Digitaria horizontalis</i>	Capim-colchão
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Tiririca
	<i>Cyperus esculentus</i> L.	Tiriricão
Eudicotiledônea		
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	Picão-preto
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Serralha
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Leiteira
Fabaceae	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) Irwin, Barneby	Fedegoso
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Guanxuma
Oxalidaceae	<i>Oxalis latifolia</i> HBK	Trevo-azedo
Portulacaceae	<i>Portulaca Oleracea</i> L.	Beldroega
Convolvulaceae	<i>Ipomoea triloba</i> L.	Corda-de-viola
	<i>Ipomoea Nil</i>	Corda-de-viola
Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Caruru-gigante

Para análise e interpretação dos dados, as espécies de maior densidade e dominância foram separadas e listadas na tabela 4. Observa-se que quando foi realizada a aplicação do indaziflam de forma isolada, independente da dose, houve maior número de plantas de *I. triloba* e *E. heterophylla*, que resultou em maior acúmulo de matéria seca (Tabela 4). Quando foi realizada a aplicação conjunta com o tebuthiuron, o número de plantas e a massa de matéria seca dessas duas espécies reduziram. Amim et al. (2014) demonstraram que o controle dessas duas espécies pelo indaziflam foi próximo de 60%, corroborando com esse trabalho.

Tabela 4 - Número de plantas (NP) e massa de matéria seca da parte aérea (MS) das principais espécies de plantas daninhas infestantes no cultivo da cana-de-açúcar aos 30 DAP.

Trat	<i>Ipomoea</i>		<i>Euphorbia</i>		<i>Bidens</i>		<i>Outras.</i>		Total	
	<i>triloba</i>		<i>heterophylla</i>		<i>pilosa</i>					
	¹ NP	MS	NP	MS	NP	MS	NP	MS	NP	MS
	(Pl. m ⁻²)	(g m ⁻²)	(Pl. m ⁻²)	(g m ⁻²)	(Pl. m ⁻²)	(g m ⁻²)	(Pl. m ⁻²)	(g m ⁻²)	(pl. m ⁻²)	(g m ⁻²)
I (75) + QL	16	166,2	8	91,5	0	0,0	44	533,8	68	791,5
I (75) – QL	8	21,5	4	17,8	4	19,2	16	346,5	32	405,0
I (60) + QL	8	71,2	20	80,5	0	0,0	12	90,9	40	242,7
I (60) – QL	24	174,3	20	174,7	12	18,0	8	14,2	64	381,2
I (40+40) + QL	12	86,4	24	77,1	0	0,0	36	280,8	72	444,3
I (40) + QL	12	35,6	8	214,5	24	33,4	44	354,1	88	637,6
Test. S/C + QL	16	372,0	8	71,0	4	20,1	76	487,5	104	950,7
Test. C/C + QL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I (75) + T + QL	0	0,0	0	0,0	4	12,0	12	18,2	16	30,2
I (75) + T – QL	0	0,0	0	0,0	0	0,0	24	45,0	24	45,1
I (60) + T + QL	4	26,6	4	8,8	0	0,0	32	2,8	40	38,2
I (60) + T – QL	0	0,0	0	0,0	0	0,0	8	7,4	8	7,4
I (40+40) + T + QL	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	0	0
I (40) + T + QL	0	0,0	4	40,5	0	0,0	56	384,6	60	425,0
T + QL	4	11,2	4	1,5	0	0,0	49	82,2	57	94,9

QL: Quebra-lombo; T: Tebuthiuron; I: Indaziflam; CC: Com capina; SC: Sem capina

Vale ressaltar que a aplicação do tebuthiuron de forma isolada, proporcionou ação sobre a maioria das espécies de plantas presentes na área. Entretanto, para outras espécies esse

controle foi menor, com número elevado de plantas por m² (49 plantas m⁻²) (Tabela 4), dentre as quais, estava presente a *Cyperus rotundus*. Essa planta possui porte pequeno (FOLLAK et al., 2016), a qual não exerce competição inicial elevada com a cultura da cana-de-açúcar, normalmente acumula pouca massa de matéria seca por área, quando comparada a outras espécies como *E. heterophylla* e *I. triloba*. Dessa maneira, mesmo com número elevado de plantas por m², a mesma pode não causar interferência significativa na produtividade da cana-de-açúcar.

Aos 120 DAP, a diversidade de plantas daninhas foi mais elevada, com maior número de espécies e famílias, provavelmente pelo maior número de propágulos no solo, com posterior germinação e emergência, o que pode ser observado na testemunha sem capina, sobretudo após revolvimento causado pela operação de quebra-lombo (Tabela 5).

Tabela 5 - Espécies de plantas daninhas verificadas aos 120 DAP na cultura da cana-de-açúcar

Classe/Família	Espécie	Nome popular
Monocotiledônea		
Poaceae	<i>Urochloa brizantha</i>	Capim-carrapicho
	<i>Panicum maximum</i>	Capim-colonião
	<i>Cenchrus echinatus</i>	Capim-carrapicho
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	Gramma-seda
	<i>Sorghum aurundinaceum</i>	Falso-massambará
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Tiririca
Commelinaceae	<i>Commelina benghalensis</i> L.	Trapoeraba
Eudicotiledônea		
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	Picão-preto
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Serralha
	<i>Gallinsoga parviflora</i>	Botão-de-ouro
	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Mentrasto
Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce hirta</i>	Erva-de-santa-luzia
	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) Irwin, Barneby	Leiteira
	<i>Ricinus communis</i> L.	Mamona
Fabaceae	<i>Senna obtusifolia</i> L.	Fedegoso
Malvaceae	<i>Sida cordifolia</i>	Guaxuma
Oxalidaceae	<i>Oxalis latifolia</i> HBK	Trevo-azedo
Amaranthaceae	<i>Alternanthera tenella</i>	Apaga-fogo
Convolvulaceae	<i>Ipomoea triloba</i> L.	Corda-de-viola

A composição da comunidade infestante da área aos 120 DAP foi distinta da coleta realizada aos 30 DAP, embora a *I. triloba* manteve amplo destaque, com densidade de plantas (24 plantas m⁻²) e massa de matéria seca elevada (1485,2 g m⁻²) para a testemunha sem capina. Maiores densidades de plantas daninhas foram constatadas quando se aplicou 60 e 75 g ha⁻¹ de indaziflam sem a operação de quebra-lombo, com 1629,2 g m⁻² e 1099,6 g m⁻² de matéria seca (Tabela 6). Na testemunha sem capinas, houve maior número de plantas de outras espécies,

exercendo competição, o que reduziu o acúmulo de massa de matéria seca da *I. triloba* (Tabela 6), corroborando com os resultados obtidos por Marí et al. (2020), que observaram redução da massa seca das plantas daninhas, com aumento da densidade das espécies, devido a competição pelos recursos e espaço.

Tabela 4 - Número de plantas (NP) e matéria seca da parte aérea (MS) das principais plantas daninhas infestantes no cultivo da cana-de-açúcar aos 120 DAP.

Trat	<i>Alternanthera tenella</i>		<i>Ipomoea triloba</i>		<i>Commelina benghalensis</i>		Outras		Total	
	¹ NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)
I (75) + QL	0	0	12	188,9	8	132,4	72	61,12	92	382,4
I (75) – QL	0	0	28	1099,6	0	0	4	187,4	32	1287,0
I (60) + QL	8	2,5	16	156,7	12	51,1	20	4,0	56	214,5
I (60) – QL	0	0	36	1629,2	0	0	12	196,2	48	1825,4
I (40+40) + QL	0	0	24	412,3	20	62,6	12	0,88	56	475,7
I (40) + QL	36	376,4	4	32,8	12	18	8	12,5	60	439,8
Test. S/C + QL	16	194,5	24	1485,2	4	9,5	28	373,1	72	2062,3
Test. C/C + QL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I (75) + T + QL	0	0	8	768	12	16,5	32	15,4	52	787,4
I (75) + T - QL	0	0	4	64,3	2	12,5	48	890,6	64	1001,5
I (60) + T + QL	0	0	0	0	24	702,3	24	38,6	48	740,8
I (60) + T - QL	0	0	8	75,5	4	65,4	64	31	80	171,8
I (40+40) + T + QL	0	0	0	0	0	0	20	1,6	20	1,6
I (40) + T + QL	0	0	0	0	4	6,1	12	245,6	16	251,7
T + QL	20	7,7	4	25,8	20	42,2	64	102,4	108	178,2

QL: Quebra-lombo; T : Tebuthiuron; I: Indaziflam; CC: Com capina; SC: Sem capina

Apesar de importante na avaliação realizada aos 30 DAP, a espécie *E. heterophylla* não se destacou aos 120 DAP, classificada em outras espécies, com menor importância. O que se deve, provavelmente, ao fato de ser uma espécie anual e seu ciclo ter encerrado antes da última avaliação. Ademais, plantas de algumas espécies podem não ter sobrevivido à competição

exercida pela própria corda-de-viola, que é uma espécie agressiva e de hábito trepador, com massa de matéria seca elevada.

Em contrapartida, a espécie de *Commelina benghalensis*, sobressai aos 120 DAP, para as aplicações isoladas de indaziflam e em mistura com o tebuthiuron com o quebra-lombo, provavelmente pela dissipação do herbicida e revolvimento do solo pela operação de quebra-lombo o que contribuiu para a disseminação dessa espécie na área, visto que, a mesma se reproduz principalmente por estruturas vegetativas. Fato esse que pode ser observado no tratamento I (40+40) + QL onde a aplicação escalonada do indaziflam, antes e após a operação de quebra-lombo, proporcionou um controle eficaz dessa espécie (Tabela 6).

Assim como para os 30 DAP, a mistura do indaziflam com o tebuthiuron e a aplicação isolada do mesmo proporcionou controle eficaz sobre as principais espécies na área, demonstrando a elevada eficácia da associação desses herbicidas para uma gama de espécies.

A mistura do indaziflam com o tebuthiuron, mostrou-se eficaz para o controle das plantas daninhas, inclusive para *I. triloba* (Figura 1). Esse fato se deve pela eficiência do tebuthiuron, demonstrado pela aplicação em conjunto com indaziflam e ou isolada do tebuthiuron, que proporcionaram porcentagem de controle semelhante a testemunha cultivado no limpo, com capinas, para ambas as épocas de avaliação (Figura 1).

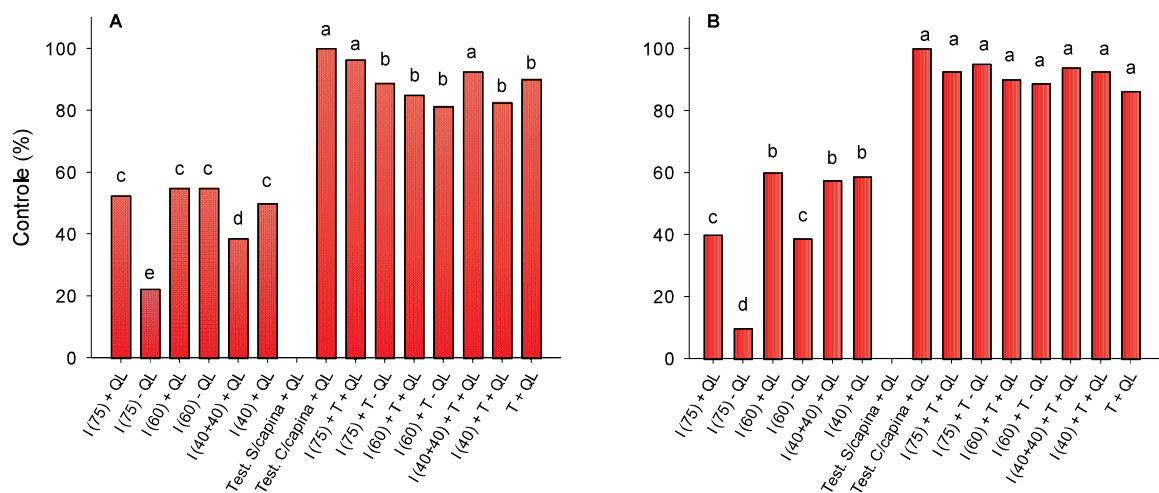


Figura 1 - Controle de plantas daninhas (%) pelos herbicidas indaziflam (I) e tebuthiuron (T) em aplicação isolada e em conjunta, aos 30 (A) e 120 (B) dias após plantio (DAP) na cultura da cana-de-açúcar, com (+ QL) e sem (- QL) operação de quebra lombo.

*médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As menores produtividades foram observadas para os tratamentos em que a porcentagem de controle das plantas daninhas foi menor (Figura 2). Enquanto que maiores produtividades foram observadas para a testemunha com capina e para os tratamentos com indaziflam, independente da dose aplicada ou do escalonamento da aplicação, associados com o tebuthiuron e submetidos à operação de quebra-lombo, com média entre 140 e 157 t ha⁻¹, a qual é considerada elevada para cana planta (SILVA et al., 2015).

A produtividade elevada quando se aplicou o tebuthiuron, seja isolado ou em associação com indaziflam, semelhante à testemunha com capina, se deve ao amplo espectro de controle desse herbicida, sobretudo sobre gramíneas e de *I. triloba*. Negrisoni et al. (2007) observaram controle de 97% de *I. triloba* pelo tebuthiuron, corroborando com os resultados observados nesse estudo.

Os índices de produtividade, quando se aplicou o indaziflam isolado foram inferiores aos da associação com tebuthiuron. Entretanto, a aplicação isolada do indaziflam nas doses de 75 e 60 g ha⁻¹, com a operação de quebra-lombo, proporcionou maior produtividade, quando comparada à aplicação das mesmas doses sem a operação de quebra-lombo (Figura 2). A operação de quebra-lombo aos 70 DAP, proporcionou controle mecânico das plantas daninhas na entre linha de plantio, interrompendo o ciclo das plantas infestantes, reduzindo a interferência, o que pode explicar a diferença de produtividade entre esses tratamentos.

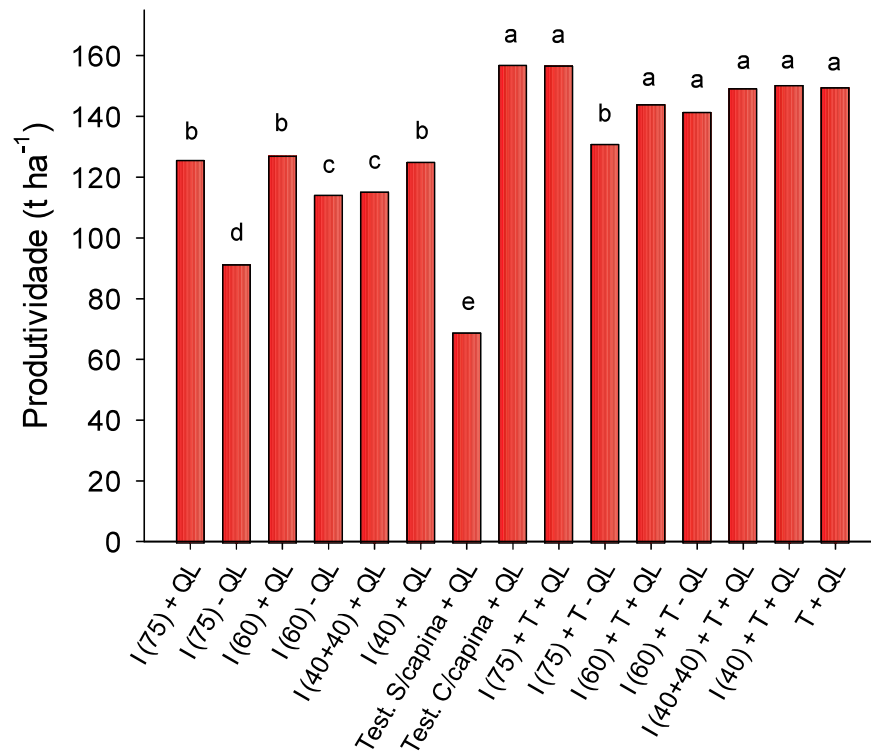


Figura 2 - Produtividade (t ha⁻¹) da cana-de-açúcar, submetidos a aplicação dos herbicidas indaziflam (I) e tebuthiuron (T) isolada e em conjunto, com (+ QL) e sem (-QL) a operação de quebra-lombo.

*médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3.3 Experimento conduzido em Latossolo Amarelo (2019-2020)

A tabela 7 mostra a composição das plantas daninhas para o segundo experimento, conduzido no Latossolo Amarelo (Tabela 2), no ano agrícola 2019-2020, onde se verificou a ocorrência de 13 espécies, pertencentes a oito famílias, com destaque para Poaceae e Asteraceae, com quatro e três espécies, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7 - Plantas daninhas verificadas aos 30 DAP na cultura da cana-de-açúcar no experimento conduzido no Latossolo Amarelo no agrícola 2019-2020.

Classe/Família	Espécie	Nome popular
Monocotiledônea		
Poaceae	<i>Urochloa brizantha</i>	Braquiária-brizantha
	<i>Eleusina indica (L.) Gaertn (Elein)</i>	Capim-pé-de-galinha
	<i>Urochloa plantaginea</i>	Capim-colonião
	<i>Cynodon dactylon</i>	Gramma-seda
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus L.</i>	Tiririca
Eudicotiledônea		
Asteraceae	<i>Bidens pilosa L.</i>	Picão-preto
	<i>Sonchus oleraceus L.</i>	Serralha
	<i>Emilia fosbergii Nicolson</i>	Falsa-serralha
Fabaceae	<i>Senna obtusifolia</i>	Fedegoso
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i>	Guaxuma
Oxalidaceae	<i>Oxalis latifolia HBK</i>	Trevo-azedo
Portulacaceae	<i>Portulaca Oleracea L.</i>	Beldroega
Convolvulaceae	<i>Ipomoea triloba L.</i>	Corda-de-viola

Aos 30 DAP o número de espécies de *I. triloba* foi elevado, semelhante ao primeiro ano de cultivo. Onde, o maior número dessa espécie foi na testemunha sem capina (36 plantas m⁻²), seguida pelos tratamentos em que houve aplicação somente do indaziflam (Tabela 8). Ressaltando-se que aos 30 DAP a operação quebra-lombo não havia sido realizada.

Tabela 8 - Número de plantas (NP) e massa de matéria seca (MS) das principais espécies de plantas daninhas infestantes no cultivo da cana-de-açúcar aos 30 DAP, no ciclo de 2019-2020.

Trat	<i>Ipomoea triloba</i>		<i>Senna Obtusifolia</i>		Outras		Total	
	¹ NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)
I (75) + QL	20	97,6	0	0	32	12,5	52	110,1
I (75) – QL	20	115,7	0	0	8	10,9	28	126,7
I (60) + QL	20	150,6	4	27,2	4	28,5	28	179,2
I (60) – QL	24	290,6	0	0	4	1,6	28	292,2
I (40+40) + QL	20	525,8	0	0	28	29,5	48	555,3
I (40) + QL	24	489,6	4	42,8	8	87,0	36	576,6
Test. S/C + QL	36	345,2	4	59,8	60	186,6	100	513,8
Test. C/C + QL	0	0	0	0	0	0	0	0,0
I (75) + T + QL	4	11,6	0	0	0	0	4	11,6
I (75) + T - QL	0	0	0	0	8	4,8	8	4,8
I (60) + T + QL	4	15	0	0	8	5,0	12	20,0
I (60) + T - QL	4	25,4	0	0	8	20,6	12	46,0
I (40+40) + T + QL	4	57,3	0	0	44	62,5	48	119,8
I (40) + T + QL	4	10,7	0	0	28	12,9	32	17,7
T + QL	8	67,4	0	0	60	30,0	68	97,4

QL: Quebra-lombo; T : Tebuthiuron; I: Indaziflam; CC: Com capina; SC: Sem capina

A aplicação do tebuthiuron isolado proporcionou maior controle de *I. triloba* em relação ao indaziflam, também isolado nas diferentes doses, com redução de aproximadamente 60% de infestação em relação ao tratamento com indaziflam na maior dose (I (75) + QL) (Tabela 8). Entretanto a associação dos referidos herbicidas, independente da realização do quebra-lombo, proporcionou controle de aproximadamente 90%. Entretanto, como *I. triloba* possui hábito trepador e intenso crescimento, essa porcentagem pode não ser eficaz, pois 1 planta m⁻² é capaz de exercer competição intensa e prejudicar a etapa de colheita, contribuindo para embuchamento de máquinas e tombamento dos colmos, principalmente na colheita da cana-crua em que a prática da queimada foi proibida.

Aos 120 DAP o número de espécies na área foi maior, com o total de 20 espécies avaliadas, distribuídas em 12 famílias, com predominância de plantas das famílias Asteraceae e Poaceae, com quatro espécies cada (Tabela 9).

Tabela 9 - Plantas daninhas catalogadas aos 120 DAP na cultura da cana-de-açúcar, no ciclo 2019-2020, após aplicação de herbicidas.

Ordem/ Família	Espécie	Nome popular
Monocotiledôneas		
Poaceae	<i>Urochloa brizantha</i>	Brachiaria brizantha
	<i>Digitaria horizontalis</i>	Capim-colchão
	<i>Cynodon dactylon</i>	Gramma-seda
	<i>Eleusine indica (L.) Gaertn.</i>	Capim-pé-de-galinha
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus L.</i>	Tiririca
Eudicotiledôneas		
Amaranthaceae	<i>Alternanthera tenella</i>	Apaga-fogo
	<i>Amaranthus viridis</i>	Caruru-de-mancha
Apiaceae	<i>Apium leptophyllum</i>	Aipo-bravo
Asteraceae	<i>Conyza bonariensis</i>	Buva
	<i>Emilia fosbergii L.</i>	Falsa-serralha
	<i>Bidens pilosa</i>	Picão-preto
	<i>Sonchus oleraceus</i>	Serralha
Brassicaceae	<i>Coronopus didymus (L.) Smith.</i>	Mastruço
Convolvulaceae	<i>Ipomoea triloba</i>	Corda-de-viola
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hirta</i>	Erva-de-santa-luzia
	<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leiteiro
Fabaceae	<i>Senna obtusifolia L.</i>	Fedegoso
Lamiaceae	<i>Stachis arvensis L.</i>	Orelha-de-urso
Malvaceae	<i>Sida urens L.</i>	Guanxuma-dourada
Oxalidaceae	<i>Oxalis latifolia</i>	Trevo-azedo

Aos 120 DAP a *I. triloba* exerceu dominância na área dos tratamentos, assim como para os 30 DAP, sobretudo, quando foi aplicado somente o indaziflam, demonstrando a ineficácia desse produto para essa espécie, semelhante ao que ocorreu no primeiro experimento (Tabela 9). A testemunha sem capina obteve maior densidade de plantas (200 plantas m⁻²), apesar da

menor massa de matéria seca, devido a competição interespecífica, reduzindo a população e o crescimento de espécies mais agressivas como a corda-de-viola (Tabela 9).

A aplicação do tebuthiuron em associação com indaziflam reduziu a interferência causada pela *I. triloba* e *B. pilosa* com redução do número de plantas e massa de matéria seca até os 120 DAP. Assim como o experimento para o primeiro ano de cultivo (2018-2019) (Tabela 10).

Tabela 10 - Número de plantas (NP) e massa de matéria seca (MS) das principais espécies de plantas daninhas infestantes no cultivo da cana-de-açúcar aos 120 DAP, no ciclo de 2019-2020.

Trat	<i>Ipomoea</i>		<i>Bidens</i>		<i>Sonchus</i>		<i>Outras</i>		Total	
	<i>triloba</i> L.		<i>pilosa</i> L		<i>oleraceus</i>					
	¹ NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)	NP (Pl. m ⁻²)	MS (g m ⁻²)
I (75) + QL	16	232,7	8	8,8	8	9,5	32	2,4	96	256,8
I (75) - QL	20	354,1	0	0	0	0	8	36,6	32	390,7
I (60) + QL	16	301,4	0	0	0	0	16	6,1	32	146,9
I (60) - QL	24	768,2	0	0	0	0	4	100	28	868,2
I (40+40) + QL	8	128,4	0	0	0	0	24	0,8	84	135,7
I (40) + QL	16	325,9	0	0	0	0	32	278,6	48	604,5
Test. S/C + QL	12	119,3	92	64,5	32	34,5	56	476,4	200	695,5
Test. C/C + QL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I (75) + T + QL	0	0	0	0	0	0	4	23,1	4	23,0
I (75) + T - QL	8	72	0	0	0	0	36	68,0	52	140,5
I (60) + T + QL	8	62,6	0	0	0	0	4	7,1	40	74,1
I (60) + T - QL	12	135,2	0	0	0	0	16	161,1	52	298,1
I (40+40) + T + QL	4	40,2	0	0	0	0	0	0	4	40,2
I (40) + T + QL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T + QL	8	27,8	0	0	16	31,5	32	36,8	56	96,2

QL: Quebra-lombo; T : Tebuthiuron; I: Indaziflam; CC: Com capina; SC: Sem capina

O controle das plantas daninhas quando se aplicou o indaziflam isolado foi baixo, independente da dose, quebra-lombo e da época de avaliação (Figura 3). As menores porcentagens de controle foram observadas para aplicação do indaziflam nas doses de 75 e 60

g ha⁻¹ i.a. sem a operação de quebra-lombo, como observada para o experimento do primeiro ano, fato esse justificado pela maior competição exercida pelas plantas daninhas (Figura 3).

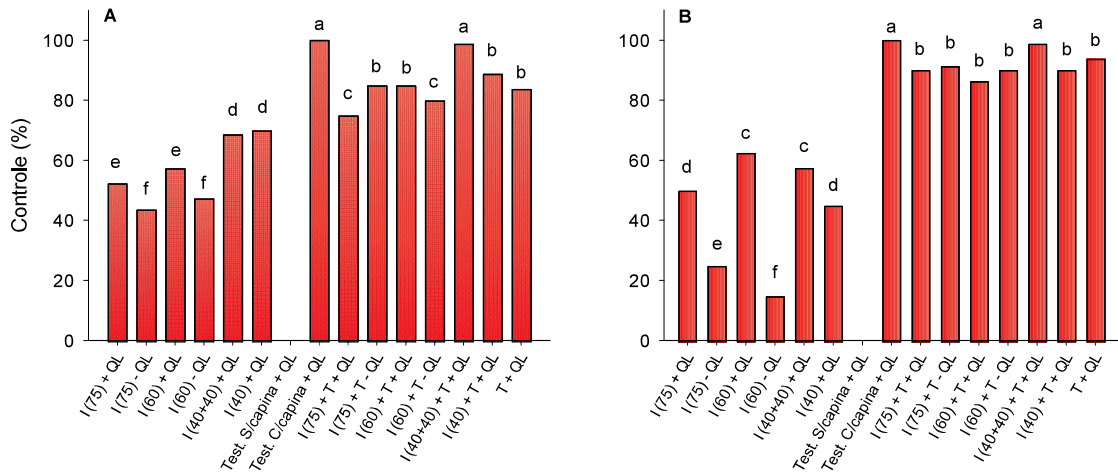


Figura 3 - Controle de plantas daninhas (%) pelo indaziflam (I) em aplicação isolada e em associação ao tebuthiuron (T), aos 30 (A) e 120 (B) dias após plantio (DAP) da cultura da cana-de-açúcar, com (+ QL) e sem (- QL) a operação de quebra lombo.

*médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O indaziflam isolado não obteve porcentagem de controle satisfatória sobre as espécies que ocorreram na área, com destaque para *I. triloba* como principal espécie com maior grau de interferência. Entretanto, quando houve associação com o tebuthiuron ou aplicação isolada do tebuthiuron, independente da realização do quebra-lombo, o controle foi maior, para ambas as épocas de avaliação (Figura 3). Vale ressaltar, que o indaziflam obteve baixa porcentagem de controle devido à baixa porcentagem de controle para a *I. triloba* que foi mais importante neste ensaio, sendo a maioria das outras plantas daninhas controladas pelo mesmo.

Quando foi realizada a aplicação parcelada da dose do indaziflam, com 40 g ha⁻¹ no plantio e 40 g ha⁻¹ i.a. após o quebra-lombo em associação com aplicação no plantio com o tebuthiuron o controle foi igual ao da testemunha com capina para ambas as épocas de avaliação, com maiores índices de produtividade (Figura 4). Um dos benefícios da aplicação de herbicidas em mistura, é a redução de dose de um ou mais produtos utilizados, mantendo eficácia elevada, reduzindo possíveis riscos de contaminação tanto do ambiente como dos operadores (GAZZIERO, 2015). Esse fato fica evidente quando foi aplicado a dose de 40 g ha⁻¹ i.a. de indaziflam, somente na pré-emergência em associação ao tebuthiuron, em que se obteve

notas de controle próximos de 85%, podendo ser uma alternativa para redução de custos para o manejo de plantas daninhas na cana-de-açúcar, a depender do nível de infestação.

A produtividade para todos os tratamentos foi menor do que as mensuradas para o experimento de primeiro ano, com valor máximo em torno de 90 t ha⁻¹ e mínimo de aproximadamente 33 t ha⁻¹ (Figura 4). O local de instalação do experimento no segundo ano de cultivo já era utilizado para agricultura por anos com plantio de diferentes culturas, com uso intensivo, enquanto que para o primeiro ano de cultivo o solo não era cultivado por cinco anos seguidos, com teor de matéria orgânica e potássio do solo maiores (Tabela 1), o que pode explicar essa diferença de produtividade.

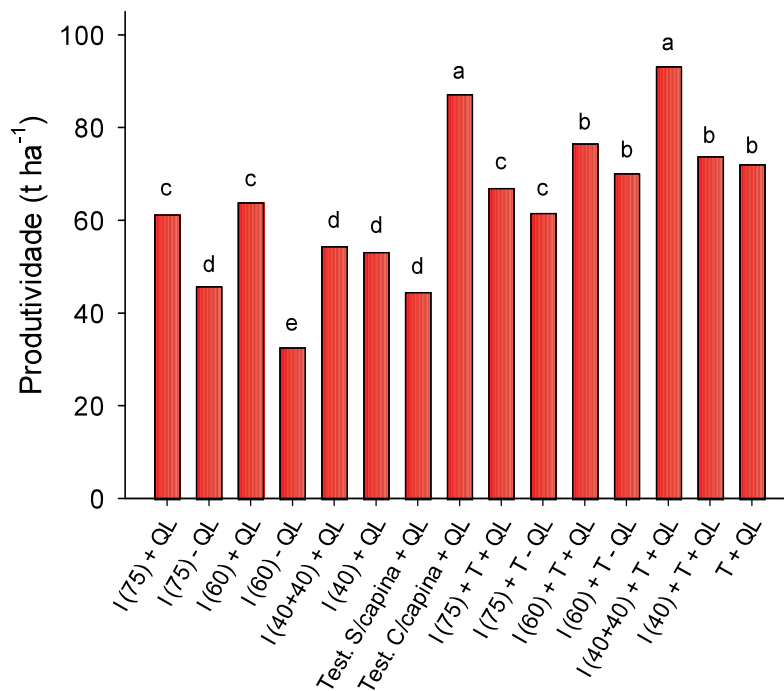


Figura 4 - Produtividade (t ha⁻¹) da cana-de-açúcar, submetidos a aplicação dos herbicidas indaziflam (I) e tebuthiuron (T) isolada e em conjunto, com (+ QL) e sem (- QL) operação de quebra-lombo.

*médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O teor de potássio pode ter correlação direta com a produtividade da cana-de-açúcar (SOUZA et al., 2010). Além disso, o uso intensivo de áreas agrícolas com máquinas e implementos pesados pode causar compactação, o que prejudica o desenvolvimento do sistema

radicular, podendo acarretar em redução da absorção de água e nutrientes, comprometendo a produtividade (ESTEBAN et al., 2019). Também, o uso intensivo do solo, tem causado redução da fertilidade em plantios de cana-de-açúcar, devido ao manejo inadequado da adubação ao longo do tempo (SURENDRAN et al., 2016).

A menor produtividade foi observada para o tratamento com aplicação do indaziflam, na dose de 60 g ha⁻¹ i.a. sem operação de quebra-lombo (Figura 4). Esse tratamento foi o que apresentou a menor porcentagem de controle aos 120 DAP (Figura 3), sendo esse o motivo da redução de produtividade.

Os resultados obtidos nos dois experimentos demonstraram que a aplicação de somente um herbicida para a cultura da cana-de-açúcar pode não ser benéfica do ponto de vista de controle, a depender do espectro de ação do herbicida a ser utilizado e das plantas daninhas que podem se estabelecer no local. Além disso, ficou evidenciado que a espécie de *I. triloba*, mesmo em densidade considerada baixa, pode vir a causar redução da produtividade e comprometimento da colheita da cana-de-açúcar, seja por embuchamento de máquinas ou por possível tombamento dos colmos. A operação de quebra-lombo possui o ponto positivo de exercer controle mecânico de plantas daninhas, entretanto a mesma pode vir a causar revolvimento do solo e seccionamento de estruturas de propagação vegetativa de espécies, como *Commelina benghalensis*, o que pode aumentar a densidade de plantas na área, podendo ser aplicado um outro produto em pré-emergência após a operação de quebra-lombo, a fim de garantir o controle até o final do período crítico de prevenção a interferência de plantas daninhas na cana-de-açúcar.

Vale ressaltar que após a operação de quebra-lombo, pode-se optar por realizar nova aplicação de herbicidas pré-emergentes, garantindo controle eficiente até o término do período crítico de prevenção a interferência, reduzindo a possível interferência das plantas daninhas a longo prazo.

4. CONCLUSÕES

O indaziflam não exerce ação de controle eficaz sobre *I. triloba* sendo necessária a aplicação em associação com o tebuthiuron.

O tebuthiuron é eficaz para o manejo de plantas daninhas na cana-de-açúcar.

O quebra-lombo exerce influência sobre a comunidade de plantas daninhas na cultura de cana-de-açúcar, devido ao revolvimento do solo.

A interferência de plantas daninhas resultou em redução 75% na produtividade da cana-de-açúcar, se não controlada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUNHA, J. G.; OLIVEIRA, R. A.; ZEVIANI, W. M.; PETERNELLI, L. A.; FILHO, J. C. B.; DAROS, E. Suficiência amostral para a estimação da produção de cana-de-açúcar Sample sufficiency for sugarcane production estimating. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, p. 1747-1754, 2014.

ALVAREZ, V. H.; RIBEIRO, A. C. cap 8 – Calagem. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **5ª Aproximação - Recomendações para o uso de corretivos e fertilizante**, p. 43-60. 1999.

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.

CARVALHO, F. T.; MORETTI, B. Manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada com a operação de quebra-lombo visando colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2010.

CIRUJEDA, A.; ANZALONE, A.; AIBAR, J.; MORENO, M. M.; ZARAGOZA, C. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus L.*) control with paper mulch in processing tomato. **Crop Protection**, v. 39, p. 66-71, 2012.

CONAB. **Conab – Boletim da Safra de Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 6 abr. 2022.

ESTEBAN, D. A. A.; SOUZA, Z. M.; TORMENA, C. A.; LOVERA, L. H.; SOUZA LIMA, E.; OLIVEIRA, I. N.; PAULA RIBEIRO, N. Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest. **Soil and Tillage Research**, v. 187, p. 60-71, 2019.

FOLLAK, S.; BELZ, R.; BOHREN, C.; CASTRO, O.; DEL GUACCHIO, E.; PASCUAL-SEVA, N.; SCHWARZ, M.; VERLOOVE, F.; ESSL, F. Biological flora of Central Europe: *Cyperus esculentus L.* **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 23, p. 33-51, 2016.

GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015.

MARÍ, A. I.; PARDO, G.; AIBAR, J.; CIRUJEDA, A. Purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) control with biodegradable mulches and its effect on fresh pepper production. **Scientia Horticulturae**, v. 263, p. 109111, 2020.

MARTELLO, M. **Estimativa da altura e produtividade da cana-de-açúcar utilizando imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada**. 2017. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

MEIRELLES, G. L. S.; ALVES, P. L. C. A.; NEPOMUCENO, M. P. Determinação dos períodos de convivência da cana-soca com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 67-73, 2009.

MENDES, K. F.; WEI, M. C. F.; FURTADO, I. F.; TAKESHITA, V.; PISSOLITO, J. P.; MOLIN, J. P.; TORNISIELO, V. L. Spatial distribution of sorption and desorption process of ¹⁴C-radiolabelled hexazinone and tebuthiuron in tropical soil. **Chemosphere**, v. 264, p. 128494, 2021.

NEGRISOLI, E.; VELINI, E. D.; ROSSI, C. V. S.; CORREIA, T. M.; COSTA, A. G. F. Associação do herbicida tebuthiuron com a cobertura de palha no controle de plantas daninhas no sistema de cana-crua. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 621-628, 2007.

PPDB: PESTICIDE PROPERTIES DATABASE. **Tebuthiuron (Ref: EL 103)**. Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/614.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: The R Project for Statistical Computing**, 2009. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 13 maio. 2022.

SILVA, F. C.; ANTONIOLLI, A.; FREITAS, P. L.; ZOTELLI, H. B.; DONAGEMMA, G. K.; MAMEDE, R. Q.; PIRES, R. F.; CARVALHO, J. R. P.; SCHIAVINATO, S. R. Avaliação da produtividade agrícola da cana-planta e cana-soca sob diferentes espaçamentos entre plantas para produção de açúcar e etanol. **Portal Embrapa**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2015. 89 p.

SOARES SILVA, G.; FELIPE, A.; SILVA, M.; GIRALDELI, A. L.; GHIRARDELLO, G. A.; FILHO, R. V.; ESTÊVÃO, R.; DE TOLEDO, B. Manejo de plantas daninhas no sistema de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 1, p. 86-94, 2018.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010.

SURENDRAN, U.; RAMESH, V.; JAYAKUMAR, M.; MARIMUTHU, S.; SRIDEVI, G. Improved sugarcane productivity with tillage and trash management practices in semi-arid tropical agro ecosystem in India. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 10-21, 2016.

Capítulo III

Mobilidade e persistência do indaziflam e tebuthiuron nos solos cultivados com cana-de-açúcar

RESUMO

Os herbicidas residuais aplicados na cana-de-açúcar, como o indaziflam e tebuthiuron, podem causar problemas em culturas sucessoras (*carryover*) e contaminação de águas. Além disso, sob determinadas condições de solo e manejo, esse herbicida pode sofrer alterações em seu comportamento no solo, como por exemplo a operação de quebra-lombo. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a mobilidade e persistência do indaziflam e tebuthiuron, aplicados na cultura da cana-de-açúcar, com e sem a operação de quebra-lombo. Para tal, foram conduzidos dois experimentos em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, em dois locais com solos distintos e em anos distintos (2018/2019 - Latossolo Vermelho-Amarelo e 2019/2020 - Latossolo Amarelo). Os Experimentos foram constituídos por quatro tratamentos: indaziflam (75 g ha⁻¹ i.a) com e sem quebra-lombo; tebuthiuron (1.000 g ha⁻¹ i.a.) com quebra-lombo e testemunha capinada sem aplicação de herbicidas e com o quebra-lombo). Aos 30, 120 e 300 dias após aplicação (DAA) foram realizadas coletas de amostra de solo nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm, sendo retiradas duas subamostras, uma destinada a análise por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e outra para condução de bioensaio, usando sorgo (*Sorghum bicolor*) e pepino (*Cucumis sativus*) como plantas indicadoras para a detecção do indaziflam e tebuthiuron, respectivamente. Apenas o tebuthiuron foi detectado pela CLAE aos 30 DAA, enquanto que o bioensaio demonstrou maior eficiência na detecção dos dois herbicidas, sendo que por esse método, os herbicidas avaliados apresentaram persistência elevada, sendo detectados em todas avaliações (pelo menos até 300 DAA). Os dois herbicidas foram detectados até 40 cm de profundidade pelo método do bioensaio.

Palavras-chave: Lixiviação. Período residual. Cromatografia. Bioensaio. Quebra-lombo, *Saccharum spp.*

Selectivity, mobility and persistence of indaziflam and tebuthiuron applied to sugarcane, with and without the loinbreaker operation.

ABSTRACT

Residual herbicides applied to sugarcane, such as indaziflam and tebuthiuron, can cause problems in successor crops (*carryover*) and water contamination. In addition, under certain soil and management conditions, this herbicide may undergo changes in its behavior in the soil, such as the breaker operation. Therefore, the objective of this research was to evaluate the mobility and persistence of indaziflam and tebuthiuron, applied in the sugarcane culture, with and without the loin breaker operation. To this end, two experiments were conducted in a randomized block design with four replications, in two locations with different soils and in different years (2018/2019 - Red Yellow Latosol and 2019/2020 - Yellow Latosol). The experiments consisted of four treatments: indaziflam (75 g ha⁻¹ a.i.) with and without loin breaker; tebuthiuron (1,000 g ha⁻¹ a.i.) with loin breaker and control weeded without application of herbicides and with loin breaker). At 30, 120 and 300 days after application (DAA) soil samples were collected at depths of 0-10; 10-20; 20-30 and 30-40 cm, two subsamples being taken, one for analysis by high performance liquid chromatography (HPLC) and the other for carrying out a bioassay, using sorghum (*Sorghum bicolor*) and cucumber (*Cucumis sativus*) as indicator plants for the detection of indaziflam and tebuthiuron, respectively. Only tebuthiuron was detected by HPLC at 30 DAA, while the bioassay showed greater efficiency in detecting the two herbicides, and by this method the evaluated herbicides showed high persistence, being detected in all evaluations (at least up to 300 DAA). The two herbicides were detected up to 40 cm deep by the bioassay method.

Keywords: Leaching, Residual period. Chromatography. Bioassay. Loin breaker, *Saccharum spp.*

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) figura-se entre as principais espécies agrícolas cultivadas, sendo o Brasil o maior produtor mundial. Os principais produtos oriundos da cana-de-açúcar são o açúcar e o etanol (ALVES et al., 2021). Entretanto, os subprodutos da cana-de-açúcar vão muito além, fornecendo insumos para a utilização na geração de energia, biogás, fertilizantes, adubos (BACCHI e CALDARELLI, 2015), podendo ainda ser utilizado para produção de cachaça e alimentação de animais, sendo esses últimos realizados por agricultores em menor escala.

O manejo de plantas daninhas é prática fundamental no sistema produtivo da cana-de-açúcar, pois a interferência destas, pode acarretar em redução de 80% ou mais na produtividade dessa cultura (KUVA et al., 2003), além de inviabilizar a colheita, principalmente no sistema de cana-crua, onde a queimada foi proibida. A cana-de-açúcar possui ciclo longo, com período total de prevenção a interferência (PTPI) em torno de 130 dias após plantio (DAP) (KUVA et al., 2003). Dessa maneira, o uso de herbicidas com longa atividade residual torna-se alternativa interessante para o manejo de plantas daninhas.

Os herbicidas tebuthiuron e indaziflam são utilizados no manejo de plantas daninhas na cana-de-açúcar. O tebuthiuron é aplicado há vários anos, no entanto o indaziflam foi recentemente introduzido no mercado (MAPA, 2022). Ambos os herbicidas apresentam elevado período residual e amplo espectro de ação sobre plantas daninhas, com tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) no solo em torno de 150 e 400 dias para o indaziflam e tebuthiuron, respectivamente (PPDB, 2022).

O tebuthiuron (1-(5-terc-butil⁻¹,3,4-tiadiazol-2-il) ⁻¹,3-dimetilureia) pertence ao grupo das ureias substituídas dos inibidores do fotossistema II, sendo translocado via xilema, exercendo ação de controle sobre plantas herbáceas, lenhosas, anuais e perenes (FARIA et al., 2018). Esse herbicida possui longa persistência no solo, sendo classificado como moderadamente móvel no solo e com alta solubilidade em água (S_w) (2500 mg L⁻¹ a 20 °C) (PPDB, 2022). Já o indaziflam pertence à classe química fluoroalkylazine dos herbicidas inibidores da biossíntese de celulose (BRABHAM et al., 2014), possuindo baixa retenção nos solos (SOUZA, 2018) e baixa solubilidade em água (S_w) (2,2 mg L⁻¹ a 20 °C) (PPDB, 2022).

A maior persistência no ambiente pode causar intoxicação em plantas cultivadas em sucessão a cana-de-açúcar (*carryover*) e o transporte dessas moléculas no perfil do solo pode contaminar águas superficiais e subterrâneas (MENDES et al., 2022), ou mesmo reduzir a concentração nas camadas superficiais, reduzindo também a eficácia de controle (CORREIA,

2018). Dessa maneira, a sustentabilidade nos sistemas de produção pode ser comprometida, uma vez que esses fatores negativos do uso intensivo desses produtos podem aumentar a contaminação dos ecossistemas.

Alguns trabalhos demonstram que o tebuthiuron deve ser aplicado considerando os atributos físico-químicos dos solos (MENDES et al., 2021) e há relatos de agricultores de que o indaziflam quando aplicado na época chuvosa tem causado intoxicação na cultura da cana-de-açúcar, reduzindo o crescimento. Uma possível causa, seria o deslocamento do herbicida devido ao elevado volume de percolação da água das chuvas, sendo que com a operação de “quebra-lombo” esse problema pode se intensificar.

A operação de quebra-lombo é realizada por volta dos 70 (DAP), com intuito de viabilizar a entrada de máquinas e equipamentos para tratos culturais e colheita mecanizada (NICOLAI et al., 2010), sendo indispensável nos cultivos de cana-de-açúcar, pois a maior porcentagem de áreas cultivadas utiliza o método de preparo convencional, com arações e gradagens (CARVALHO et al., 2018; ARCOVERDE et al., 2019). Essa operação desloca o solo da entrelinha para a linha de plantio, podendo aumentar a concentração de herbicida na linha de cana-de-açúcar. Esse fato, aliado à precipitação pluvial pode influenciar na mobilidade e persistência, aumentando a percolação do produto próximo às plantas de cana-de-açúcar, alcançando as raízes, estando apto a serem absorvidos e causarem intoxicação na cultura, ou mesmo, serem transportados á corpos de água.

Para a ciência das plantas daninhas são comumente utilizados dois métodos de detecção de resíduo dos herbicidas no solo. O método por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e o método biológico com uso de plantas sensíveis ao herbicida. Esses dois métodos permitem analisar a presença ou ausência do herbicida no solo, sendo que pelo método cromatográfico é possível também quantificar os herbicidas (SILVA et al., 2022).

Dessa maneira, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a mobilidade e persistência em campo dos herbicidas indaziflam e tebuthiuron por meio de bioensaio e cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) na cultura da cana-de-açúcar, sendo que para o indaziflam foi também avaliada a interferência pela operação de quebra-lombo

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área e Delineamento experimental

Foram conduzidos dois experimentos em locais distintos, com solos com diferentes atributos (Tabela 1), sendo um Latossolo Vermelho-Amarelo para o ano de 2018/2019

(20°44'41.2"S 42°50'39.7"W) e Latossolo Amarelo para o ano de 2019/2020 (20°44'54.0"S 42°50'29.1"W) na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão em Produção de Grandes Culturas e Bioenergia (UEPE-GCBE Aeroporto) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Tabela 1 - Características físico-químicas das amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA), coletados nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em cultivo da cana-de-açúcar.

LVA (2018-2019)

Solo	¹ pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		------(cmolc dm ⁻³)-----						---(%)--		
LVA 0-20 cm	5,5	4,5	50	1,87	0,67	0,1	3,30	2,67	2,77	5,97	44,7	3,6
LVA 20-40 cm	4,2	1,9	25	1,77	0,67	0,0	3,30	2,50	2,50	5,80	43,1	0,0
		Areia	Silte	Argila	Classe textural			MO				
		------%-----						(dag kg⁻¹)				
LVA 0-20 cm		40	15	45	Argilo-Arenosa			2,87				
LVA 20-40 cm		45	20	35	Argilo-Arenosa			1,54				

LA (2019-2020)

Solo	¹ pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		------(cmolc dm ⁻³)-----						----(%)--		
LA 0-20 cm	5,8	6,6	21	1,85	0,69	0,1	2,97	2,59	2,69	5,56	46,6	3,7
LA 20-40 cm	4,1	1,9	12	1,20	0,39	0,3	2,97	1,62	1,92	4,59	35,3	15,6
		Areia	Silte	Argila	Classe textural			MO				
		------%-----						(dag kg⁻¹)				
LA 0-20 cm		53	12	35	Franco-Argilo-Arenosa			1,75				
LA 20-40 cm		46	12	42	Argila-Arenosa			1,02				

¹pH: água, KCl e CaCl₂- relação 1:2,5. P-K: Extrator Mehlich 1. Ca-Mg e Al: Extrator: KCl – 1 mol L⁻¹. H + Al – Acidez potencial – Extrator: acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; SB - Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – Índice de saturação de bases; m - Índice de saturação de alumínio; MO – Matéria orgânica

²Análises realizadas segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA 1997).

O clima da região é classificado como Cwa com temperaturas e precipitação maiores no verão e menores no outono/inverno, ilustrados na Figura 1 para os dois anos de cultivo (INMET, 2020).

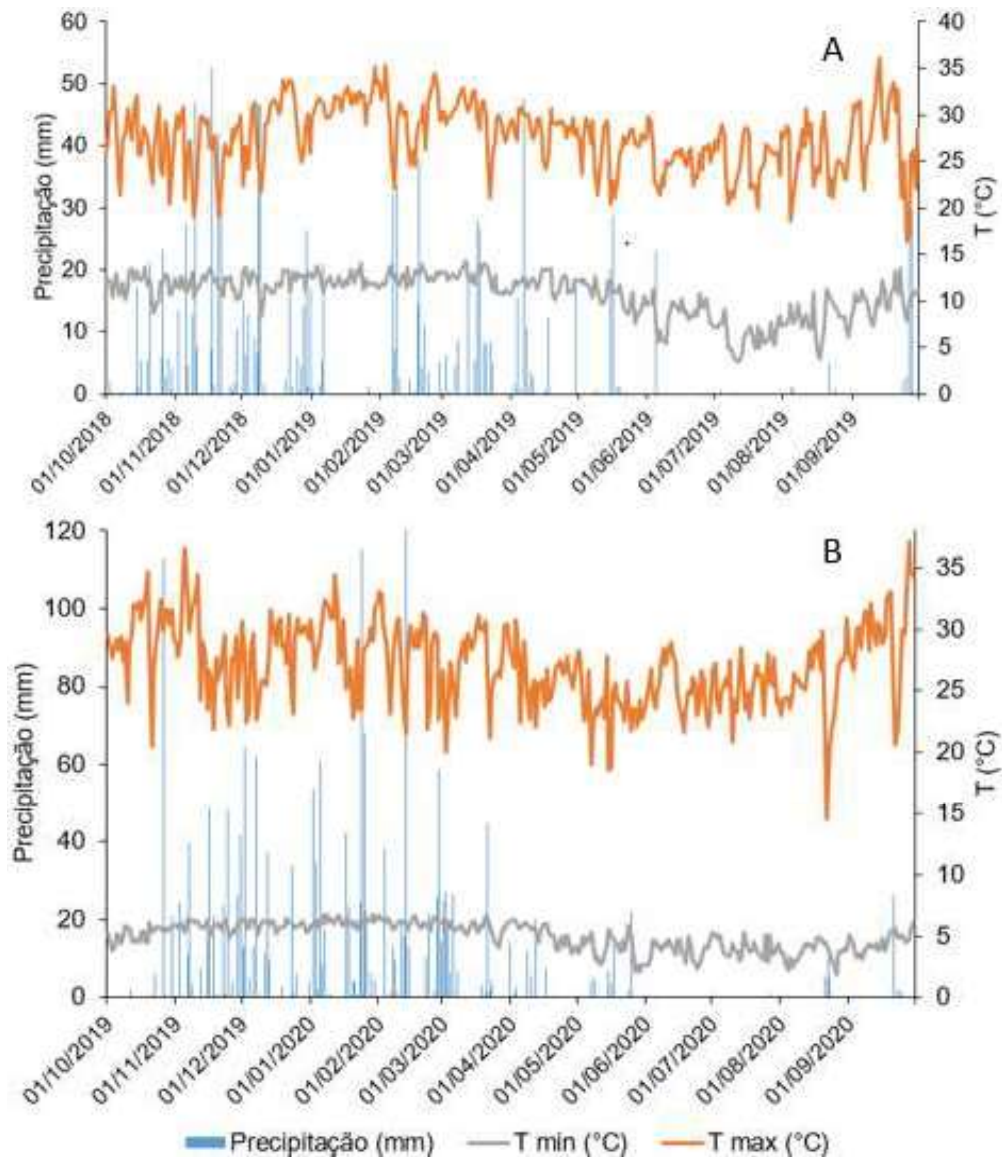


Figura 1 - Dados meteorológicos dos locais de cultivo da cana-de-açúcar no período de 2018-2019 (A) e 2019-2020 (B). Fonte: (INMET, 2022).

Os experimentos foram conduzidos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Ambos experimentos foram constituídos de quatro tratamentos: aplicação de indaziflam (75 g ha^{-1} i.a.) sem quebra-lombo, indaziflam (75 g ha^{-1} i.a.) com quebra-lombo, tebuthiuron (1000 g ha^{-1} i.a.) com quebra-lombo e testemunha sem aplicação de herbicidas com capina manual e com quebra-lombo. As parcelas foram compostas de quatro linhas de cana-de-açúcar, espaçadas de 1,40 m com 5,0 m de comprimento, totalizando 28 m^2 . Para as avaliações utilizou-se a área correspondente a duas linhas centrais da parcela, desconsiderando 0,50 m de comprimento em cada extremidade da parcela, obtendo área útil de 11 m^2 , para reduzir a possível interferência externa.

2.2 Preparo do solo

Foi realizada dessecação com glyphosate (1900 g ha⁻¹ e.a.) e 2,4-D (500 g ha⁻¹ e.a.) 40 dias antes da instalação dos experimentos, visando controle de plantas daninhas de propagação vegetativa. Cerca de 10 dias após dessecação foi efetuada calagem nas duas áreas experimentais, com base nos resultados obtidos na análise dos solos (Tabela 1) visando aumentar a saturação de bases para 60% e pH para aproximadamente 6,5 (ALVAREZ e RIBEIRO, 1999). Após a aplicação do calcário foi realizada aração do solo a 20 cm de profundidade, seguida de duas gradagens.

Dois dias antes do plantio foi realizada uma terceira gradagem para controle mecânico de plantas daninhas, para posterior abertura de sulcos de 30 cm de profundidade espaçados de 1,40 m, para plantio da cana-de-açúcar. O plantio foi realizado nos meses de outubro, em seus respectivos anos, período em que se inicia a maior parte da precipitação pluvial anual na região (Figura 1).

2.3 Plantio e adubação

A variedade utilizada nos dois experimentos foi a RB 867515. Para adubação de plantio utilizou-se 300 e 350 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado NPK (6-30-6), aos experimentos instalados em 2018 e 2019, respectivamente, com base na análise físico química do solo (Tabela 2) e na recomendação para a cultura (FONTES, 1999), distribuído no sulco de plantio. O plantio da cana-de-açúcar foi realizado de forma manual, deixando-se dois colmos inteiros pareados, no sistema de “pé com ponta”, com posterior corte deixando-se três gemas por tolete. Após seccionamento dos colmos, os mesmos foram cobertos com uma camada de cerca de 10 cm de solo.

2.4 Aplicação dos herbicidas

As aplicações dos herbicidas foram realizadas em pré-emergência um dia após o plantio da cana-de-açúcar. Para tal, foi utilizado pulverizador costal para pesquisa, pressurizado com CO₂, munido de uma barra de pulverização com três pontas tipo leque modelo TTI11002, espaçadas de 0,50 m, trabalhando na pressão de 2,8 bar, com velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹ e volume de calda de 180 L ha⁻¹. No momento da aplicação as condições climáticas foram: velocidade do vento de 5 km h⁻¹, UR de 85%, temperatura de 22° C; velocidade do vento de 6 km h⁻¹, UR de 75% e temperatura de 25° C, para os experimentos realizados em 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente.

2.5 Coleta de solo para detecção dos herbicidas

Aos 30, 120 e 300 dias após aplicação (DAA) foram realizadas coletas de solo, próximo as linhas de plantio, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em cada unidade experimental. Para coleta foi utilizado trado de aço galvanizado com formato cilíndrico com 10 cm de diâmetro, com marcações de seção a cada 10 cm de profundidade, o qual foi introduzido no solo com auxílio de uma marreta de 6,0 kg, retirando-se as seções de 10 em 10 cm, a partir da camada superior e a cada amostragem realizava-se a limpeza do trado, a fim de evitar possível contaminação das amostras. Após coleta, cada amostra foi homogeneizada, e separada em duas subamostras, uma de aproximadamente 20,00 gramas, que foi colocada em saco de polietileno e armazenadas em freezer à temperatura de -20 °C para posterior análise por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e o restante (cerca de 300 gramas) foi utilizado para bioensaio.

2.6 Bioensaio

As amostras de solo coletadas no Campo foram acondicionadas em vasos de polietileno de 0,300 dm³, com fundos vedados, os quais foram colocados em casa de vegetação, na UEPE Diogo Alves de Melo do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Posteriormente, semeou-se cinco sementes de *Sorghum bicolor* (sorgo) e *Cucumis sativus* (pepino) como planta indicadora da presença do indaziflam (BRAGA et al., 2020) e tebuthiuron (FARIA et al., 2018), respectivamente. Após a emergência das plântulas foi realizado desbaste, deixando-se três plantas de sorgo e duas de pepino por vaso. Aos 7 e 14 dias após emergência (DAE) foi adicionado 5 mL por vaso de solução nutritiva composta por fosfato monopotássico (3,5 g L⁻¹) e sulfato de amônio (8,0 g L⁻¹).

Aos 21 DAE da espécie indicadora, foram realizadas avaliações visuais de intoxicação nas plantas, atribuindo-se notas de 0 (zero) a 100%, onde 0 corresponde à ausência de sintomas e 100, morte das plantas. Posteriormente as plantas foram cortadas rentes ao solo, sendo a parte aérea acondicionada em sacos de papel e colocadas em estufa 70 °C (± 2) até atingir massa constante, para determinação da massa de matéria seca relativa (%), em comparação a testemunha sem aplicação de herbicidas. Para tal, a média da massa de matéria seca da testemunha era considerada como 100% e pelo valor da média da massa de matéria seca da amostra, foi calculado a porcentagem relativa, por meio de proporção.

2.7 Extração por CLAE para o Indaziflam

Para o indaziflam utilizou-se a técnica de extração sólido-líquido com partição em baixa temperatura (ESL-PBT) de acordo com a metodologia proposta por Ramírez et al. (2018). Pesou-se 4,00 g de cada amostra, em tubos falcon com capacidade de 50,00 mL. Posteriormente, foi adicionado aos tubos 14,00 mL da solução extratora, contendo 8,00 mL de acetonitrila, 4,10 mL de água milli-q e 1,90 mL de acetato de etila. Em seguida, os tubos foram agitados em vortex, por 2,0 minutos, para homogeneização da solução, e acondicionados em freezer à temperatura de -20 °C por 4:00 horas.

Após o período de repouso no freezer, realizou-se a filtração da fração não congelada, contendo extrato orgânico (solventes + herbicida) em filtros de papel, para balões de fundo redondo com capacidade de 50,0 mL, sendo adicionados 1,00 g de sulfato de sódio anidro, para condicionamento (OECD, 2000). Em seguida, os balões foram levados ao evaporador rotativo (80 rpm a 60°C), para evaporação dos solventes, permanecendo somente o indaziflam no recipiente. Em seguida, este conteúdo foi lavado com três alíquotas de 0,50 mL de acetonitrila e filtrado em filtro milipore com membrana PTFE de 0,45 μm diretamente para “vials” com capacidade de 1,50 mL, para análise por cromatografia de alta eficiência (CLAE).

Em relação ao indaziflam, não foi possível detectar o mesmo nas amostras de solo pelo método de cromatografia líquida de alta eficiência. Dessa maneira as amostras de solos foram fortificadas em diferentes concentrações dos herbicidas em acetonitrila (0,025; 0,05; 0,10; 0,15; 0,25; 0,50; 1,0 mg kg⁻¹) e submetidas aos métodos de extração para confecção das curvas de linearidade (Figura 2). A partir das mesmas foram calculados os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ), sendo o limite de detecção (LD) de 0,002 mg kg⁻¹ e o de quantificação (LQ) de 0,0085 mg kg⁻¹.

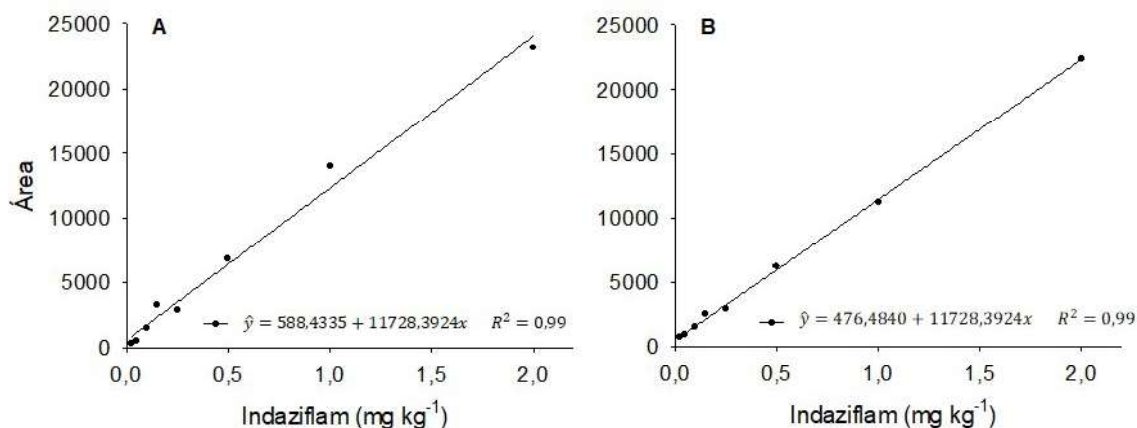


Figura 2 - Curvas analíticas para o indaziflam em acetonitrila em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA) cultivados com cana-de-açúcar.

2.8 Extração por CLAE para o tebuthiuron

Pesou-se 5,00 g de solo de cada amostra em tubos falcon com capacidade de 50 mL. Posteriormente, foi adicionado aos tubos 12,00 mL da solução extratora contendo metanol. Em seguida, os tubos foram agitados em vortex, por 2,0 minutos e submetidos a agitação (40 rpm) por uma hora. Após agitação, os tubos foram centrifugados a 2200 rpm por sete minutos. Posteriormente, 1,5 mL do sobrenadante foi retirado e filtrado com auxílio de seringa contendo filtro de membrana PTFE 0,45 um diretamente para “vials” para posterior análise por CLAE.

2.9 Condições cromatográficas

A quantificação do indaziflam e do tebuthiuron foram realizadas em sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). O equipamento utilizado foi um cromatógrafo modelo Shimadzu LC 20AT, com detector 43 DAD (Shimadzu SPD 20A) para o indaziflam e detector UV/vis (Schimadzu SPD-20A) e coluna de aço inox (Shimadzu VP- ODS Shim-pack 280 mm x 4,6 mm d. i. x 5 μm diâmetro de partículas) para o tebuthiuron. As condições cromatográficas para a análise foram fase móvel composta por água e acetonitrila na proporção 50/50 (v/v) para o indaziflam e 70/30 para o tebuthiuron, ambas contendo 0,01 mol L⁻¹ de solução de ácido fosfórico; com fluxo de 1,00 mL min⁻¹; volume de injeção de 20 μL; comprimento de onda de 210 nm (RAMÍREZ et al., 2018). Nessas condições o tempo de retenção do indaziflam foi de aproximadamente 7,0 minutos e do tebuthiuron foi de 6,7 minutos.

2.10 Validação dos métodos

O método de extração para o indaziflam foi validado somente com a linearidade, visto que como a dose máxima utilizada do produto foi baixa (80 g i.a ha^{-1}) não foi possível detectar o mesmo nas amostras de solo, provavelmente pela concentração do limite de detecção (LD) do equipamento, onde as concentrações nas amostras coletadas provavelmente estavam abaixo do LD. Já o método de extração do tebuthiuron foi validado para os parâmetros: seletividade, linearidade, limites de detecção e de quantificação, exatidão e precisão intermediária (INMETRO, 2011; ANVISA, 2017).

2.11 Seletividade

A seletividade é a capacidade que o método possui de medir exatamente um composto em presença de outros componentes como impurezas, produtos de degradação e componentes da matriz (ARAGÃO et al., 2009). A seletividade foi avaliada pela comparação dos cromatogramas dos extratos obtidos, após a aplicação do método otimizado em solo isento de herbicida e fortificado com o herbicida na concentração de $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$.

2.12 Linearidade

A linearidade corresponde à capacidade do método em fornecer resultados diretamente proporcionais à concentração da substância em exame, dentro de uma determinada faixa de aplicação (RIBANI et al., 2004). As amostras de solos foram fortificadas em diferentes concentrações dos herbicidas em metanol e submetidas aos métodos de extração. Foram utilizadas concentrações de 0,05; 0,10; 0,25; 0,50; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 mg kg^{-1} .

Após extração das amostras, os extratos foram submetidos a análise cromatográfica para obtenção das curvas analíticas, relacionando-se a concentração (eixo X) com a área obtida (eixo Y). A linearidade do método foi avaliada através da análise de regressão linear (Figura 3).

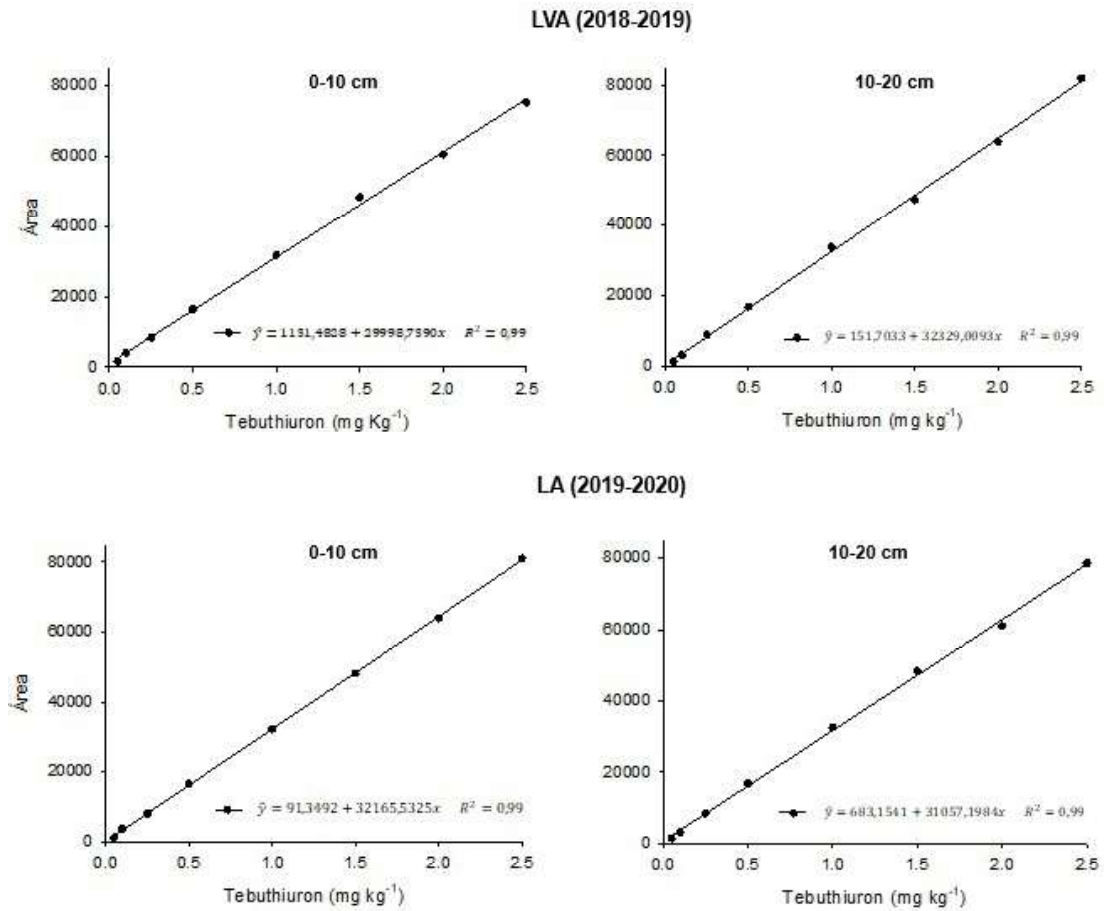


Figura 3 - Curvas analíticas para o tebuthiuron em metanol nas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA) coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, cultivados com cana-de-açúcar.

Para avaliar a qualidade de ajuste do modelo de regressão foi plotado o gráfico dos resíduos, em que houve distribuição aleatória, demonstrando que as suposições dos mínimos quadrados estão sendo atendidas, não afetando a resposta (Figura 4).

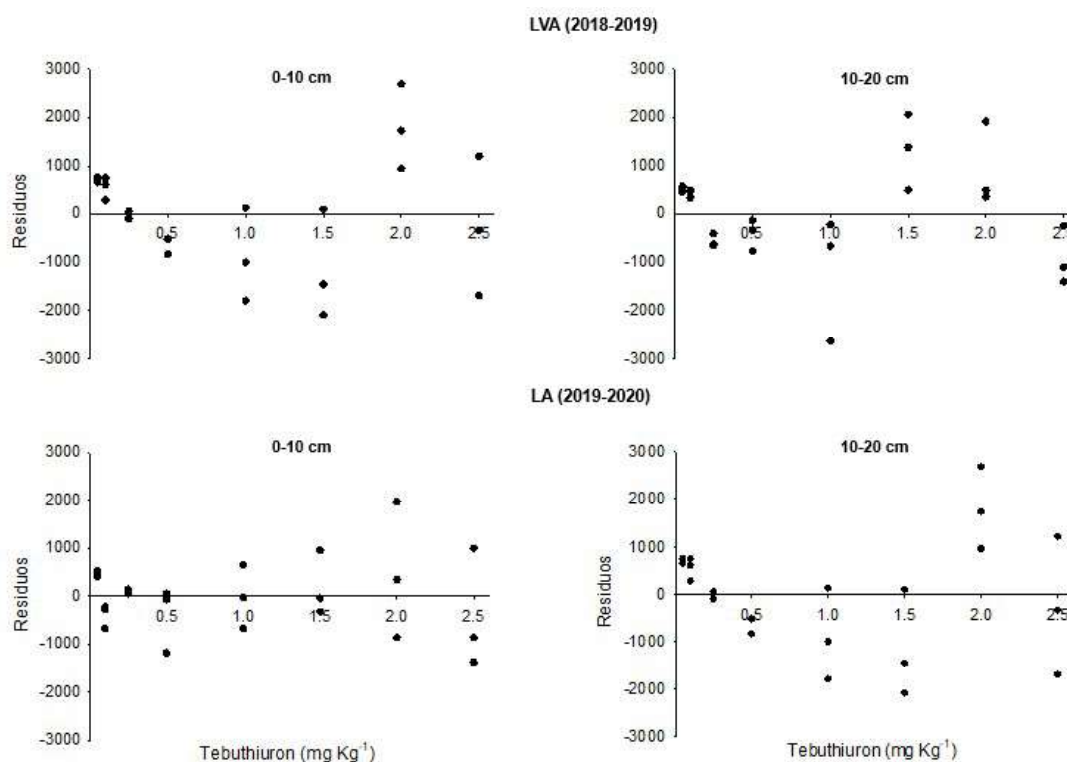


Figura 4 - Resíduos das curvas analíticas para o tebuthiuron nas amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA) coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, cultivados com cana-de-açúcar.

2.13 Limite de detecção (LD) e Limite de quantificação (LQ)

Os limites de quantificação (LQ) e detecção (LD) foram calculados com base nos parâmetros da curva analítica (RIBANI et al., 2004). Por esse método, o limite de detecção (LD) e quantificação podem ser expressos na equação abaixo:

$$LD = 3,3 * s/a \qquad LQ = 10 * s/a$$

Onde: s é a estimativa do desvio padrão absoluto da resposta (que pode ser a estimativa do desvio padrão do branco, da equação da linha de regressão ou do coeficiente linear da equação) e a é o coeficiente angular da curva analítica. Por esse método o LQ pode ser calculado, utilizando a relação de 10:1. Os mesmos critérios de LD podem ser adotados para o LQ, utilizando a relação 3,3:1 como na equação acima. Dessa maneira, o limite de detecção (LD) foi de $0,0050 \text{ mg kg}^{-1}$ e o limite de quantificação (LQ) em torno de $0,0165 \text{ mg kg}^{-1}$.

2.14 Exatidão

A exatidão foi determinada através de ensaios de recuperação. Para a realização desse ensaio, as amostras de solo foram fortificadas em três níveis de concentração (0,5; 1,0 e 2,0 mg kg⁻¹), em triplicata, e submetidas ao método de extração. Foram avaliados o percentual de recuperação (R) que é a relação entre a concentração extraída e a concentração adicionada na amostra, além disso, foi calculado também o coeficiente de variação (CV). O método utilizado para estimar a concentração do tebuthiuron nas amostras de solo foi seletivo devido a não apresentar interferentes no tempo de retenção do analito em estudo, dessa maneira o tempo de retenção foi de aproximadamente 6,8 minutos.

As porcentagens de recuperação e os coeficientes de variação encontrados nesse trabalho estão em conformidade com as recomendações (RIBANI et al., 2004). A taxa de recuperação obtida situou-se entre os intervalos de 94,12 a 119,36% e coeficientes de variação inferiores a 20% (Tabela 2).

Tabela 2 - Porcentagens de recuperação (R) e coeficientes de variação (CV) obtidos pelas análises dos extratos das amostras de solos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, fortificadas em três níveis de concentração do tebuthiuron.

Matrizes	(mg kg⁻¹)	R (%)	CV (%)
Experimento 1 (2018-2019)			
LVA 0-10 cm	0,5	112,33	1,47
	1,0	101,50	3,58
	2,0	94,87	1,26
LVA 10-20 cm	0,5	119,36	0,21
	1,0	101,47	3,49
	2,0	94,12	2,79
Experimento 2 (2019-2020)			
LA 0-10 cm	0,5	111,19	0,86
	1,0	102,85	2,82
	2,0	94,43	2,25
LA 10-20 cm	0,5	108,22	1,95
	1,0	107,25	0,81
	2,0	95,95	1,98

2.15 Precisão intermediária

A precisão foi avaliada em relação ao nível de precisão intermediária (RIBANI et al., 2004). Para tal, foram analisados os coeficientes de variação (CV) de três concentrações do extrato, em três dias não consecutivos, pelo mesmo analista e mesmo equipamento, sendo então feita a estimativa do desvio padrão relativo (RSD) destas medidas.

$$RSD = \frac{s}{\bar{x}} * 100$$

Em que: s é a estimativa do desvio padrão absoluto e x é a média aritmética de um pequeno número de medições (média das determinações).

Os valores RSD mostram a variação esperada quando o procedimento analítico é repetido várias vezes em uma situação padrão. Em métodos de análise de traços ou impurezas, são aceitos RSD de até 20%, dependendo da complexidade da amostra e métodos que quantificam compostos em macro quantidades requer um RSD de 1 a 2% (HUBER e LUDWING, 2001; RIBANI et al., 2004). As taxas de recuperação foram elevadas para as diferentes concentrações em dias distintos, acima de 94% e coeficientes de variação abaixo de 20% com valores entre 1,55 e 5,35 (Tabela 3).

Tabela 3 - Taxa de recuperação (R) do tebuthiuron no solo e coeficientes de variação (CV) obtidos nas análises das amostras de solos coletadas em diferentes profundidades na cultura da cana-de-açúcar, fortificadas em três níveis de concentração, para os diferentes dias de análise.

Solo	Concentração (mg kg ⁻¹)	R (%)			CV (%)
		1° dia	3° dia	5° dia	
Experimento 1 (2018-2019)					
LVA 0-10 cm	0,5	94,86	100,31	105,02	5,08
	1,00	100,35	101,46	99,96	3,00
	2,00	104,20	101,24	99,38	2,39
LVA 10-20 cm	0,5	102,58	105,26	104,33	1,31
	1,00	100,02	110,33	109,37	5,35
	2,00	103,24	102,47	99,18	2,12
Experimento 2 (2019-2020)					
LA 0-10 cm	0,5	100,48	106,60	109,85	4,51
	1,00	109,66	112,10	117,66	3,63
	2,00	106,16	100,78	104,46	2,65
LA 10-20 cm	0,5	102,58	105,26	104,33	1,55
	1,00	107,40	112,52	110,70	2,35
	2,00	113,27	105,43	106,80	3,86

2.16 Análises estatísticas

Para a intoxicação, massa de matéria seca relativa das plantas indicadoras (bioensaio) e quantificação por CLAE, as médias foram dispostas em gráficos de barras com seus respectivos desvios padrões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Experimento 1 - Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) - 2018/2019

3.1.1 Bioensaio

Pelo método biológico observou-se aos 30 DAA elevada intoxicação das plantas de sorgo e pepino na camada de solo de 0-10 cm de profundidade, independente do tratamento. Houve ausência dos sintomas de intoxicação das plantas indicadoras cultivadas nas amostras de solo coletadas nas camadas de 10-20 e 30-40 cm de profundidade (Figura 5A). Observou-se redução da massa de matéria seca das plantas indicadoras, de acordo com as maiores porcentagens de intoxicação (Figura 5B), para a presença de ambos os herbicidas. Esses resultados corroboram com González-Delgado e Shukla (2020) que observaram mobilidade do indaziflam até profundidades de cerca de 10 cm.

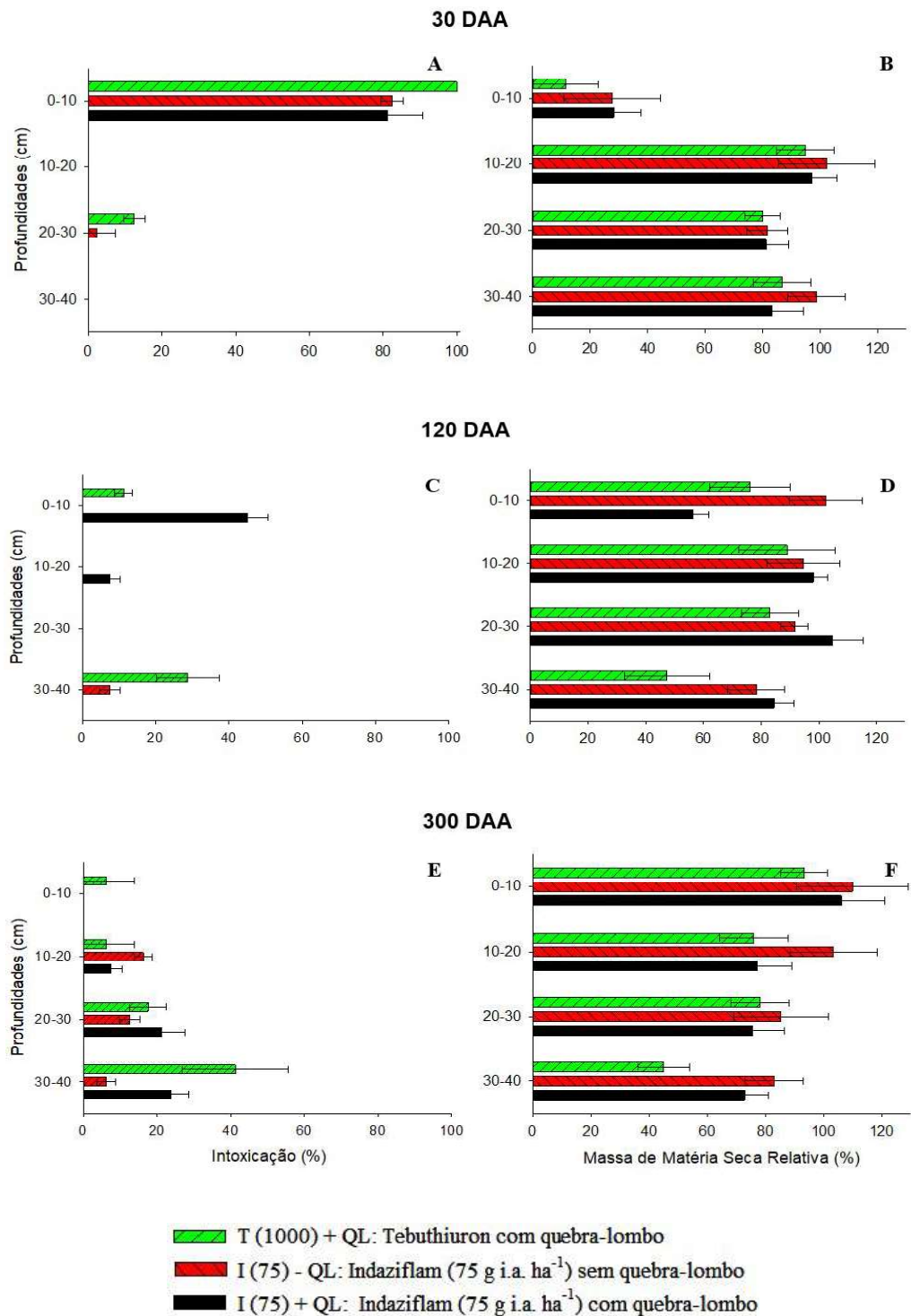


Figura 5 - Intoxicação (A, C e E) e massa de matéria seca relativa (B, D, F) de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) para os tratamentos com indaziflam com (I (75) + QB) e sem quebra-lombo (I (75) + QB) e pepino (*Cucumis sativus*) para o tratamento com tebuthiuron com quebra-lombo (T (1000) + QB) aos 21 dias após a emergência (DAE), para amostras de solo, coletadas aos 30, 120 e 300 dias após aplicação (DAA).

Aos 120 e 300 DAA, verificou-se redução da porcentagem de intoxicação das plantas de pepino e sorgo, em relação a coleta aos 30 DAA, para a presença de ambos os herbicidas. A partir da época de 120 DAA, para o indaziflam, foi avaliado se a operação de quebra-lombo (QL) influenciaria na dinâmica do indaziflam nos solos. Dessa maneira, podemos observar aos 120 DAA, para a camada de solo de 0-10 cm, que o quebra-lombo proporcionou maior intoxicação das plantas de sorgo (I (75) + QL), em relação ao tratamento em que não houve quebra-lombo (I (75) - QL), sendo que aos 300 DAA essa diferença não foi observada nas camadas superficiais, somente na camada de 30-40 cm de profundidade, onde houve maior intoxicação quando foi realizada a operação de quebra-lombo (I (75) + QL) (Figura 5E).

Com a operação de quebra-lombo há a possibilidade do herbicida que esteja presente na camada superficial do solo, na entrelinha, seja direcionado a linha de plantio, aumentando a concentração próximo a cultura, acarretando em maior intoxicação pelo indaziflam na camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 5C).

Já para o tebuthiuron, a intoxicação das plantas de pepino aos 120 DAA, foi baixa na camada de 0-10 cm de profundidade (10%), sendo a maior intoxicação observada para a camada de 30-40 cm (28%). Fato semelhante ao que ocorreu para a época de coleta de 300 DAA, com pequeno aumento da intoxicação causada na camada de 30-40 cm (41%) (Figura 5E). O tebuthiuron é um herbicida não iônico e apresenta relativa mobilidade no ambiente (PPDB, 2022) podendo atingir camadas mais profundas no solo (FARIA et al., 2018).

A redução de intoxicação e aumento de matéria seca das plantas indicadoras em amostras de solo coletadas nas diferentes épocas (120 e 300 DAA) pode ser pelo fato dos herbicidas em geral sofrerem processo de dissipação ao longo do tempo, devido a ação da microbiota do solo e condições climáticas, o que pode explicar o que ocorreu nesse trabalho (LIU et al., 2018). Sabe-se que a principal via de degradação de herbicida no solo é a microbiana, os organismos atuam de forma conjunta, podendo utilizar a molécula como fonte de energia para o seu metabolismo e/ou secretando enzimas que promovem a degradação dos herbicidas (ZIMDAHL, 2018).

3.1.2 Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

A quantificação do tebuthiuron foi possível somente para a época de coleta de 30 DAA, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. Observou-se que o tebuthiuron concentrou-se na profundidade de 0-10 cm (Figura 6). Contudo, vale ressaltar que a somatória das concentrações encontradas, chega a 6,10% da dose real aplicada em campo, demonstrando que

mais de 90% do tebuthiuron não foi quantificado. Fato esse que corrobora com Matallo et al. (2005) que avaliando a lixiviação do tebuthiuron, quantificou cerca de 8% da dose aplicada em lisímetro instalado no campo em solos argilosos.

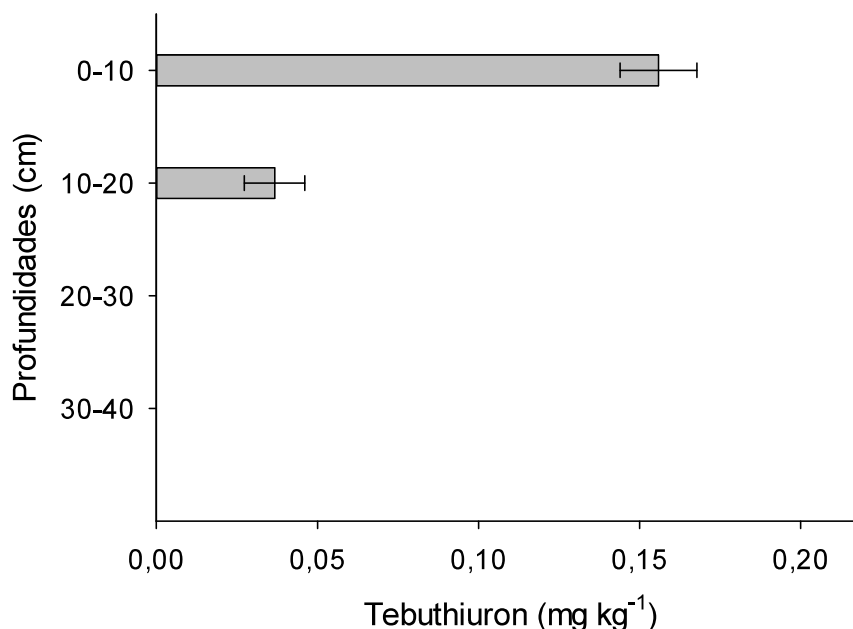


Figura 6 - Concentrações do tebuthiuron em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), coletadas aos 30 dias após aplicação (30 DAA) nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade em cultivo com cana-de-açúcar.

Pelo método cromatográfico, o tebuthiuron demonstrou uma mobilidade baixa, chegando a no máximo 20 cm de profundidade, fato esse que corrobora com Silva Júnior et al., 2018, que avaliando em campo a mobilidade do tebuthiuron, observaram que o mesmo permanecia retido em profundidades menores. Esse fato se dá pelo maior teor de matéria orgânica na camada superficial, o que intensifica o processo de retenção dessa molécula, tornando o produto menos sujeito a lixiviação para camadas mais profundas.

A dose de herbicida aplicada em campo, normalmente é a recomendada na bula. Entretanto, a dose já é superestimada, devido a fatores externos interferentes de campo. Dessa maneira, uma pequena concentração do ingrediente ativo na solução do solo, pode causar intoxicação em plantas sensíveis (FERREIRA et al., 2021), podendo levar a morte, o que explica a intoxicação causada nas plantas de pepino nesse trabalho, mesmo sem a quantificação no solo nas maiores profundidades.

3.2 Experimento 2 - Latossolo Amarelo (LA) - 2019/2020

3.2.1 Bioensaio

Em relação ao experimento realizado no segundo ano, as análises pelo método biológico seguiram padrões semelhantes ao que ocorreu no primeiro ciclo de cultivo (Figura 7). Contudo, houve também intoxicação elevada na profundidade de 10-20 cm, cerca de 95%, quando se aplicou o indaziflam (Figura 7A), o que não ocorreu no primeiro ano de cultivo na coleta aos 30 DAA. Esse fato, pode ser explicado pelo menor teor de matéria orgânica e maior teor de areia do solo do segundo ano (Tabela 1). Em solos, sob essas condições, tanto o indaziflam (SOUZA, 2018) quanto o tebuthiuron (FARIA et al., 2018) possuem maior potencial de ser lixiviado a camadas mais profundas, principalmente quando o volume (SOUZA, 2018) e frequência (CORREIA, 2018) da precipitação pluvial (chuva) no local for elevada. Dessa forma, há redução da concentração do herbicida na camada superficial, podendo reduzir o controle das plantas daninhas e possível detecção.

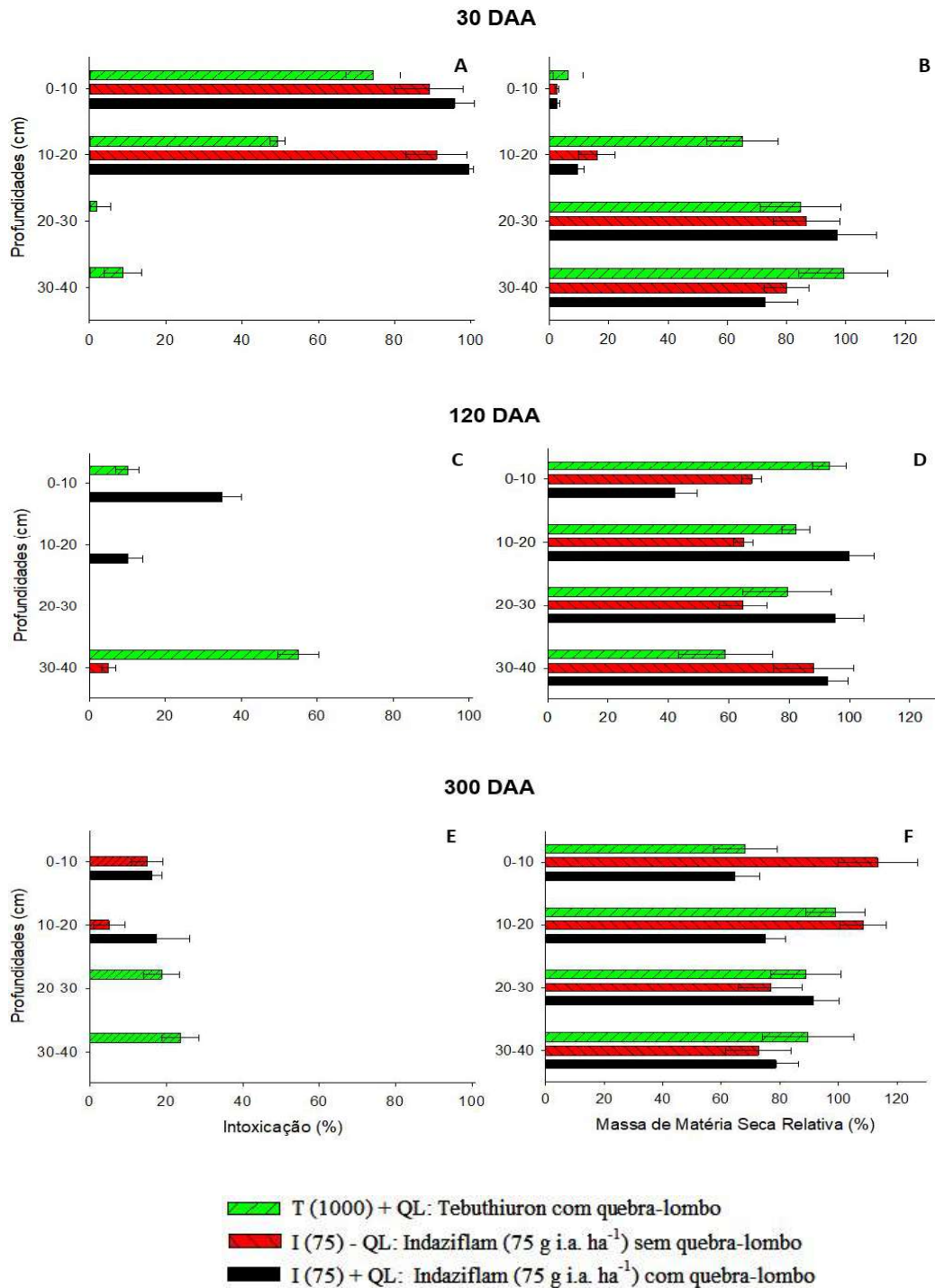


Figura 7 - Intoxicação (A, C e E) e massa de matéria seca relativa (B, D, F) de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*) para os tratamentos com indaziflam com (I (75) + QB) e sem quebra-lombo (I (75) + QB) e pepino (*Cucumis sativus*) para o tratamento com tebuthiuron com quebra-lombo (T (1000) + QB) aos 21 dias após a emergência (DAE), para amostras de solo, coletadas aos 30, 120 e 300 dias após aplicação (DAA).

A matéria orgânica (MO) é o principal sítio de adsorção de herbicidas em solos tropicais. Quanto menor a porcentagem dessa, há menor tendência de sorção pelos coloides do solo e maior potencial de lixiviação dessas moléculas a camadas mais profundas, visto que o herbicida estará biodisponível na solução do solo (MENDES et al., 2021). Para o indaziflam esse atributo é o que mais exerce influência sobre seu comportamento no ambiente, tanto nos processos de sorção, dessorção, como lixiviação, com correlação positiva de até 84% entre o teor de matéria orgânica e a porcentagem sorvida para solos do Brasil (SOUZA, 2018).

3.2.2 Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

A quantificação do tebuthiuron, assim como para o primeiro experimento, foi possível somente para a época de coleta de 30 DAA, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade (Figura 8) evidenciando a dissipação desse produto no ambiente, ou mesmo a sua maior mobilidade. Aos 30 DAA, pelo método cromatográfico, o tebuthiuron obteve uma lixiviação mais evidente na camada inicial do solo, fato esse que é benéfico para o controle das plantas daninhas, visto que a maior parte dos propágulos das plantas daninhas estão dispostas nas camadas iniciais do solo (KUMAR et al., 2019).

Vale ressaltar que em 40 dias após plantio ocorreu acúmulo de mais de cerca de 200 mm de precipitação pluvial (chuva) na região, para ambos os anos (Figura 1). Fato esse que contribui significativamente para a lixiviação dos produtos e dissolução dos mesmos no perfil do solo, sobretudo os com baixa sorção e elevada solubilidade em água. Esses dois fatores em conjunto contribuem para redução da biodisponibilidade dos herbicidas no solo, sendo absorvido em baixíssimas concentrações pelas plantas não exercendo ação de controle e não causando intoxicação nas plantas indicadoras. Além da não quantificação pelo método cromatográfico. Entretanto, a porcentagem de recuperação da dose total aplicada correspondeu a 7,10%, sendo maior que a quantificada no primeiro experimento.

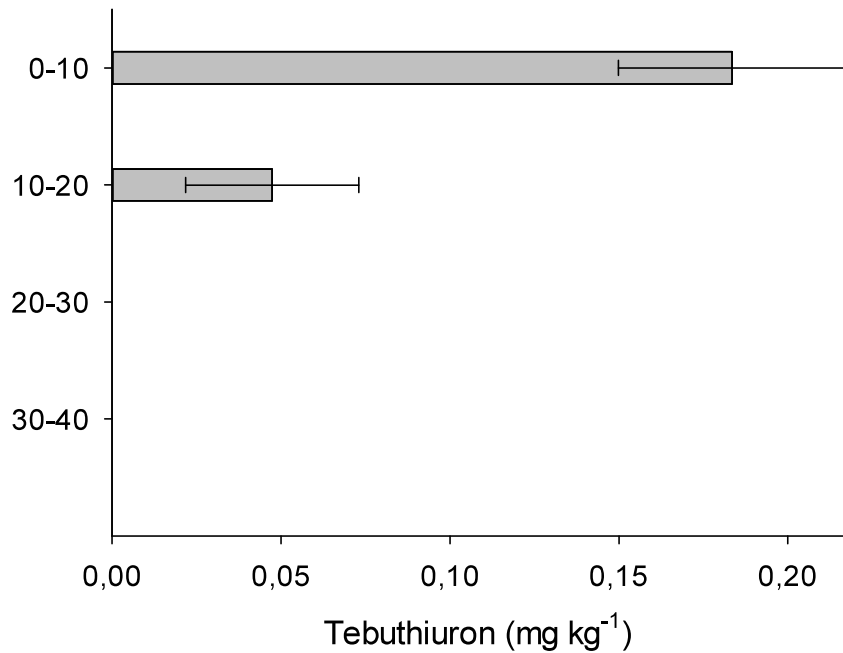


Figura 8 - Concentrações do tebuthiuron em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e coletadas aos 30 dias após aplicação (30 DAA) nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade em cultivo com cana-de-açúcar.

O método biológico, com usos de plantas sensíveis ao herbicida, mostrou-se eficaz, com elevada praticidade quando comparado ao método cromatográfico, visto que os herbicidas em baixas concentrações no solo, podem causar injúria na planta indicadora, enquanto que o método cromatográfico pode não quantificar o herbicida. A nível de mobilidade em campo, isso é mais visível, visto que o produto está sujeito a variações do ambiente, em um volume de solo muito maior do que métodos realizados em ambientes fechados, como as colunas de PVC, o que em campo não se aplica.

4. CONCLUSÕES

O quebra-lombo não interferiu significativamente na dinâmica do indaziflam nos solos estudados.

O tebuthiuron apresenta maior mobilidade no solo do que o indaziflam, podendo chegar a camadas de até 40 cm de profundidade, enquanto que o indaziflam foi detectado até 30 cm de profundidade.

Os herbicidas demonstraram persistência até os 300 dias após aplicação .

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, V. H.; RIBEIRO, A. C. cap 8 - Calagem. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **5ª Aproximação - Recomendações para o uso de corretivos e fertilizante**. p. 43-60. 1999.

ALVES, L. Q.; FRANCO, P. N.; ZANETTI, W. A. L.; GÓES, B. C. PERFORMANCE OF SUGARCANE CULTURE PRODUCTION IN THE MAIN PRODUCING STATES. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 2, p. 303-317, 2021.

ANVISA. **Ministério da Saúde-MS Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA**. 2017. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2721567/RDC_166_2017_COMP.pdf/d5fb92b3-6c6b-4130-8670-4e3263763401>. Acesso em: 30 mar. 2022.

ARAGÃO, N. M. de; VELOSO, M. C. C.; ANDRADE, J. B. de. Validação de métodos cromatográficos de análise: um experimento de fácil aplicação utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e os princípios da “Química Verde” na determinação de metilxantinas em bebidas. **Química Nova**, v. 32, n. 9, p. 2476-2481, 2009.

BACCHI, M. R. P.; CALDARELLI, C. E. impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético no Estado de São Paulo, entre 2005 e 2009. **Nova Economia**, v. 25, n. 1, p. 209-224, 2015.

BRAGA, R. R.; FERREIRA, L. R.; TEIXEIRA, M. F. F.; GONÇALVES, V. A.; FREITAS, F. C. L.; D'ANTONINO, L. Selection of vegetable indicators of indaziflam residues in soil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 2, 2020.

CARVALHO, T. F.; MORETTI, T. B. Manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada com a operação de quebra-lombo visando colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2010.

CORREIA, N. M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. 2018. Disponível em: <www.embrapa.br/fale-conosco/sac>. Acesso em: 25 mar. 2022.

FARIA, A. T.; SOUZA, M. F.; PASSOS, A. B. R. J.; DA SILVA, A. A.; SILVA, D. V.;

ZANUNCIO, J. C.; ROCHA, P. R. R. Tebuthiuron leaching in three Brazilian soils as affected by soil pH. **Environmental Earth Sciences** 2018 **77:5**, v. 77, n. 5, p. 1-12, 2018.

FERREIRA J. H. S.; QUEIROZ M. C. M.; SILVA I. P. F.; MELO C. A. D. Seleção de espécies bioindicadoras da presença de tebuthiuron no solo. **Agrarian**, v. 14, p. 203-212, 2021.

FONTES, P. C. R. cap 18. Sugestões para adubação para as diferentes culturas de Minas Gerais. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 169-341, 1999.

GONÇALVES V. A.; FERREIRA L. R.; TEIXEIRA M. F. F.; FREITAS F. C. L.; D'ANTONINO L. Sorption of indaziflam in brazilian soils with different ph values. **Revista Caatinga**, v. 3, p. 494-504, 2021.

GONZÁLEZ-DELGADO, A. M.; SHUKLA, M. K. Mobility, Degradation, and Uptake of Indaziflam under Greenhouse Conditions. **HortScience**, v. 55, n. 8, p. 1216-1221, 2020.

HUBER; LUDWING. Validation of Analytical Methods: Review and Strategy. **WWW.labocompliance.com**, 2001.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia - INMET**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-historicos>>. Acesso em: 2 jun. 2022.

INMETRO. **Coordenação Geral de Acreditação ORIENTAÇÃO SOBRE VALIDAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS**, 2011. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/Validacao-Inmetro.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

KUMAR A.; CHOUDHARY T, DAS S., MEENA S.K. Weed seed bank: Impacts and management for future crop production. *in* H Mirza, ed. **Agronomic Crops: Volume 2: Management Practices**. **Springer Singapore**, P. 207-223, 2018.

KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. 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, n. 1, p. 37-44, 2003.

LIU Y.; LONAPPAN L.; BRAR S.K.; YANG S. Impact of biochar amendment in agricultural

soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: A review. **Science Total Environmental**, v. 645, p. 60-70, 2018.

MAPA; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portal Agrofit- Consulta aberta de defensivos agrícolas**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/primeira_pagina/extranet/AGROFIT.html>. Acesso em: 31 mar. 2022.

MATALLO, M. B.; SPADOTTO, C. A.; LUCHINI, L. C.; GOMES, M. A. F. Sorption, degradation, and leaching of tebuthiuron and diuron in soil columns. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 40, n. 1, p. 39-43, 2005.

MENDES, K. F.; SILVEIRA, R. F.; TAKESHITA, V.; ALONSO, F. G.; TORNISIELO, V. L. Estudos de comportamento de herbicida no solo utilizando ¹⁴C-radiomarcado. *In*: MENDES, K. F.; INOUE, M. H.; TORNISIELO, V. L. **Herbicidas no Ambiente: Impacto e detecção**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2022. p. 410-474.

MENDES, K. F.; WEI, M. C. F.; FURTADO, I. F.; TAKESHITA, V.; PISSOLITO, J. P.; MOLIN, J. P.; TORNISIELO, V. L. Spatial distribution of sorption and desorption process of ¹⁴C-radiolabelled hexazinone and tebuthiuron in tropical soil. **Chemosphere**, v. 264, p. 128494, 2021.

NICOLAI M.; CARVALHO S. J. P.; CHRISTOFFOLETI P.J.; CORRÊA R. A. L. Programas de manejo químico de plantas daninhas em plantio de cana-de-açúcar fundamentados em duas aplicações de herbicidas. **Revista Agrogeoambiental 2**, v. 2, n. 3, 2010.

OECD. OECD GUIDELINE FOR THE TESTING OF CHEMICALS Adsorption-Desorption Using a Batch Equilibrium Method. **OECD Library**, p. 44, 2000. Disponível em: <<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264069602-en.pdf?expires=1648663275&id=id&accname=guest&checksum=A8C07F2CBDA60C9C5C2AECBBA9FAC12F>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

PPDB: PESTICIDE PROPERTIES DATABASE. **Tebuthiuron (Ref: EL 103)**. Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/614.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

RAMÍREZ, A. C. R.; TEIXEIRA, M. F. F.; AUGUSTO NEVES, A.; QUEIROZ, M. E. L.; SILVA, A. A.; FURTADO, I. F.; OLIVEIRA, A. F.; FUJITA, M.; DALHAT, M. H. Development and Validation of a Solid-Liquid Extraction with Low Temperature Partitioning (SLE/LTP) Method for Determination of the Herbicide Indaziflam in Brazilian Soils by High Performance Liquid Chromatography (HPLC-UV/Vis). **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 21, n. 3, p. 1-8, 2018.

RIBANI, M.; BEATRIZ, C.; BOTTOLI, G.; COLLINS, C. H.; SALES, I. C.; JARDIM, F. VALIDAÇÃO EM MÉTODOS CROMATOGRÁFICOS E ELETROFORÉTICOS. **Quimica Nova**, v. 27, n. 5, p. 771-780, 2004.

SILVA JUNIOR, A. C. da; GONÇALVES, C. G.; QUEIROZ, J. R. G.; MARTINS, D. Evaluation of leaching potential of tebuthiuron using bioindicator plants. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 85, n. 0, 2018.

SOUZA, W. M. **Influência dos atributos do solo na sorção e lixiviação do indaziflam em solos tropicais**. Dissertação de Mestrado, 2018. Universidade Federal de Viçosa, viçosa, MG, Brasil. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/22476>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

TATENO M.; BRABHAM C.; DEBOLT S. Cellulose biosynthesis inhibitors - a multifunctional toolbox. **Journal Experimental Botany**, v. 67, n. 2, p. 533-542, 2016.

ZIMDAHL, R. Herbicides and Soil. *In*: **Fundamentals of Weed Science: Fifth Edition**. Academic Press, 2018. p. 445-462, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento da interação do solo com os herbicidas é fundamental na agricultura mundial, para obtenção de controle satisfatório das plantas daninhas e redução dos impactos ambientais. Dessa maneira, podemos afirmar que para aplicação dos herbicidas em pré-emergência, quando o alvo é o solo, na cana-de-açúcar deve ser levado em consideração as características de solo e clima, principalmente a porcentagem de matéria orgânica e argila. Ressalta-se que o indaziflam possui ação sobre elevado número de espécies. Entretanto, há algumas espécies que conseguem germinar e emergir na presença do mesmo nos solos, sobretudo pela germinação a maiores profundidades, além de outras que naturalmente podem ter menor sensibilidade ao indaziflam. Por conseguinte, recomenda-se com base nessa pesquisa a associação do indaziflam com outro herbicida, para aumentar o espectro de ação e garantindo controle por maior período, visto que a cana-de-açúcar possui ciclo longo.

O indaziflam e o tebuthiuron possui mobilidade no solo, podendo chegar a camadas mais profundas, e ao longo do tempo, podendo atingir corpos de águas subterrâneos. Nesse aspecto, por possuir maior solubilidade em água, o tebuthiuron possui maior mobilidade, sendo assim, deve-se atentar a aplicação do mesmo em solos, principalmente os de textura arenosa.

As pesquisas permitiram gerar conhecimento para a utilização do indaziflam e demais herbicidas para obter eficiência de controle, com o menor impacto ambiental, auxiliando os agricultores, técnicos e pesquisadores na aplicação eficaz, reduzindo custos com maior sustentabilidade.