CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS PELO INDAZIFLAM EM SOLOS COM DIFERENTES CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS[1]

Weed Control with Indaziflam in Soils with Different Physico-Chemical Attributes

AMIM, R.T.[2], FREITAS, S.P.[2], FREITAS, I.L.J.[2], GRAVINA, G.A.[2] e PAES, H.M.F.[2]

RESUMO - No solo, os herbicidas estão sujeitos a processos de degradação e sorção, que regulam seu destino e sua disponibilidade. Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência do indaziflam no controle de cinco espécies de plantas daninhas em três solos com características físico-químicas contrastantes. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento de blocos ao acaso, arranjado em esquema fatorial 6 x 3 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de seis doses de indaziflam (0, 30, 60, 90, 120 e 150 g i.a. ha^{-1}), três solos (texturas areia, argila e franco-argiloarenosa) e cinco espécies daninhas (*Rottboellia cochinchinensis*, *Panicum maximum*, *Digitaria horizontalis*, *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia*). O solo foi peneirado e colocado em bandejas perfuradas, e as espécies, semeadas a 0,015 m de profundidade. O herbicida foi aplicado sobre solo úmido, e as bandejas, colocadas sob irrigação diária de 5 mm, aproximadamente. Avaliou-se a emergência, sete dias após a emergência, e o controle das espécies, 40 dias depois da aplicação. O indaziflam foi mais eficiente no controle das espécies *D. horizontalis*, *P. maximum* e *R. cochinchinensis*. As duas primeiras foram muito sensíveis ao herbicida, com controle total dessas espécies em todas as doses e solos testados. No solo argiloso, *R. cochincinensis* só foi eficientemente controlada a partir da dose de 50 g ha^{-1} de indaziflam. O controle de *E. heterophylla* e *I. grandifolia* pelo indaziflam foi mais eficiente no solo franco-argiloarenoso.

Palavras-chave: classe textural do solo, matéria orgânica do solo, herbicida, alkylazine.

*ABSTRACT - Herbicides in soil are subject to degradation and sorption processes that govern their fate and availability. The objective of this study was to evaluate the influence of three soils with contrasting physicochemical characteristics on a dose of indaziflam and the control efficiency of five weed species. The experiment was carried out in a greenhouse, in a randomized block design with four replications and a factorial 6 x 3 x 5. The treatments consisted of six doses of indaziflam (0; 30; 60; 90; 120 and 150 g a.i. ha^{-1}), three soils (textural classes sand, clay, and sandy clay loam), and five weed species (**Rottboellia cochinchinensis**, **Panicum maximum**, **Digitaria horizontalis**, **Euphorbia heterophyla**, and **Ipomoea grandifolia**). The soil was sieved and placed on perforated trays, while the species were seeded at a depth of 0.015 m. The herbicide was applied to moist soils and trays placed under daily irrigation of approx. 5 mm. The emergence of weeds was assessed seven days after the emergence, and the control of weeds, 40 days after the treatment. The indaziflam was more effective in controlling the species **D. horizontalis**, **P. maximum**, and **R. cochinchinensis**. The first two were very sensitive to the herbicide, with full control of these species at all doses of the tested soils. In the clay soil, **R. conchincinensis** was effectively controlled from a dose of just 50 g a.i. ha^{-1}. The control of **E. heterophylla** and **I. grandifolia** by indaziflam was more efficient in sandy clay loam soil.*

Keywords: soil texture, soil organic matter, herbicide, alkylazine.

[1] Recebido para publicação em 11.4.2014 e aprovado em 16.7.2014.

[2] Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes RJ, Brasil, <reynaldo@uenf.br>.

INTRODUÇÃO

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) é um ingrediente ativo com efeito herbicida, pertencente à nova classe química "alkylazine". Seu mecanismo de ação é a inibição da biossíntese de celulose (Tompkins, 2010). Pode controlar tanto Liliopsidas quanto Magnoliopsidas, em pré ou pós-emergência inicial (Brosnan et al., 2011; Perry et al., 2011; Brosnan et al., 2012).

Os herbicidas foram a classe de agrotóxicos mais consumidos no Brasil em 2012, respondendo por 32,3% do faturamento e 57,1% da quantidade vendida (Ferreira, 2013). Entretanto, é importante usá-los de forma racional e consciente, pois a agricultura é muito questionada e julgada do ponto de vista ambiental; para isso, muitos estudos são realizados para compreender o comportamento desses produtos no solo (Mancuso et al., 2011).

Ao entrar em contato com o solo, os herbicidas estão sujeitos a processos de degradação e sorção, que regulam seu destino no ambiente, podendo ser absorvidos pelas plantas, lixiviados para camadas subsuperficiais ou ligar-se aos coloides ou matéria orgânica do solo – MOS (Mancuso et al., 2011). Segundo Pateiro-Moure et al. (2009), é difícil descrever a complexidade das interações entre essas moléculas e o solo, uma vez que vários mecanismos de sorção atuam simultaneamente.

A solubilidade em água do indaziflam é baixa (0,0028 kg m^{-3} a 20 °C), com K_{oc} < 1.000 mL g^{-1} de carbono orgânico, pka = 3,5 e log K_{ow} em pH 4, 7 ou 9 = 2,8 sendo esse herbicida considerado moderadamente a móvel (Tompkins, 2010) ou a pouco móvel no solo (Alonso et al., 2011; Jhala et al., 2012; Jhala & Singh, 2012). Quanto menor a solubilidade em água do herbicida, maior será a afinidade da molécula pela MOS, principal sítio de sorção de produtos pouco solúveis em água, devido à sua alta CTC e característica lipofílica (Kawamoto & Urano, 1989). Esses herbicidas também podem ser adsorvidos pelos coloides de argila (Vivian et al., 2007; Rocha et al., 2013).

O indaziflam apresenta maior $t_{1/2}$ no solo (> 150 dias), o que permite maior flexibilidade no momento de sua aplicação (Tompkins, 2010; Kaapro & Hall, 2012). Aplicado em pré-emergência, o indaziflam proporcionou controle entre 91 e 94% de *Digitaria ischaemum* aos 195 dias após a aplicação do herbicida - DAA (Brosnan et al., 2011) e maior que 90% para *Digitaria sanguinalis* aos 203 DAA (Perry et al., 2011).

Dessa forma, as características físico-químicas do solo podem afetar a disponibilidade do indaziflam na sua solução e, consequentemente, a sua eficiência. Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência do indaziflam no controle de cinco espécies de plantas daninhas em três solos com características físico-químicas contrastantes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no município de Campos dos Goytacazes – RJ, no delineamento de blocos ao acaso, arranjados no esquema fatorial 6x3x5, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de seis doses do herbicida indaziflam (0, 30, 60, 90, 120 e 150 g i.a. ha^{-1}), amostras de três tipos de solos com características químicas e físicas distintas (Tabela 1), coletadas na camada de 0 a 0,10 m, e cinco espécies de plantas daninhas (*Rottboellia cochinchinensis*, *Panicum maximum*, *Digitaria horizontalis*, *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia*).

O solo foi peneirado e acondicionado em bandejas com dimensão de 0,32 x 0,20 x 0,07 m e capacidade para 0,0045 m^3 de substrato, perfuradas no fundo, cada qual considerada uma unidade experimental. As sementes foram adquiridas em empresa especializada, e cada espécie foi semeada em área igualmente dividida de 0,064 x 0,20 cm, a 0,015 m de profundidade, em quantidade suficiente para germinar 25 plantas, segundo informação da empresa fornecedora.

As bandejas foram irrigadas na noite anterior à aplicação do herbicida. O indaziflam foi aplicado no dia 29/11/2013, às 6 horas, com auxílio de um pulverizador montado dentro da casa de vegetação, movido por um motor de portão elétrico, em um sistema de trilhos em velocidade constante de 1 m s^{-1}, acionado por

Tabela 1 - Características físico-químicas da camada de 0 a 0,10 m dos solos utilizados no experimento. CTC: capacidade de troca de cátions; MOS: matéria orgânica do solo

Análise química									
Tipos de Solo[1/]	pH	P	K	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	H+AL	CTC	MOS
		(mg dm^{-3})		($cmol_c$ dm^{-3})					(%)
ArgA	5,1	21	100	0,5	0,2	0,6	4,3	5,3	1,7
GleiH	6,8	418	242	13,0	5,5	0	3,5	23,0	5,1
NeoF	6,5	57	144	3,2	1,5	0	2,2	7,3	2,5

Análise física e classificação textural				
Tipo de Solo[1/]	Areia	Silte	Argila	Classe textural[2/]
	(%)			
ArgA	90,7	0,3	9,0	Areia
GleiH	19,1	39,4	41,5	Argila
NeoF	58,6	14,2	27,2	Franco-argiloarenosa

ArgA: Argissolo Amarelo. GleiH: Gleissolo Háplico. NeoF: Neossolo Fúlvico. [1/] Tipo de solo predominante na região, segundo IBGE e EMBRAPA (2014). [2/] Segundo Estados Unidos (1993).

controle remoto. Para obtenção dessa velocidade, foi confeccionada uma engrenagem de TECNIL com 66 dentes, que foi adaptada ao eixo do motor. Ao sistema de trilhos foi adaptado um pulverizador pressurizado com CO_2, ao qual foi acoplado um barômetro, para obtenção de pressão de $2{,}8.10^5$ Pa e volume de calda de 220 L ha^{-1}. A barra de pulverização foi regulada a 0,5 m de altura da superfície das bandejas, com cinco pontas de pulverização tipo leque, modelo Teejet AI 110 02, acoplados à barra de pulverização, espaçadas de 0,5 m entre si. Entre as bandejas foi colocado papel hidrossensível, para verificar a distribuição das gotas de pulverização.

No momento da aplicação a temperatura era de 30,5 °C, a umidade relativa do ar, de 72%, e a velocidade média do vento, de 1,4 km h^{-1}. A calda de pulverização foi preparada na concentração de 0,14 g i.a. m^{-3}, e cada passada do pulverizador correspondeu à aplicação de aproximadamente 30 g i.a. ha^{-1}. Assim, a testemunha não recebeu nenhuma aplicação, e a maior dose recebeu cinco aplicações.

Após a pulverização, as bandejas foram colocadas na bancada com sistema de irrigação automatizado, com cinco irrigações diárias, programadas para as 9, 12, 14, 16 e 18 horas, com aproximadamente 1 mm cada. Foi avaliada a taxa de emergência, pelo número de plântulas emergidas no sétimo dia após a emergência (tomando a testemunha como referência), e o nível de controle, pelo número médio de plantas sobreviventes aos 40 DAA, considerando a média da testemunha, em cada solo, como 100% de germinação.

Os dados climáticos correspondentes ao período de condução do experimento foram aferidos por datalogger da EXTECH Intruments®, modelo RHT10 (Figura 1), registrando-se temperatura média de 28,44 °C e umidade relativa média de 75,64% durante os 40 dias.

Os dados foram analisados pelo programa estatístico SAEG®, procedendo-se ao teste F. Quando este foi significativo ($p<0{,}05$) para os fatores qualitativos (solo e espécie), empregou-se o teste de Tukey ($p<0{,}05$) para comparação das médias. Os dados da testemunha foram excluídos da análise estatística para estabilizar a variância, a fim de não superestimar a taxa de emergência ou subestimar o controle,

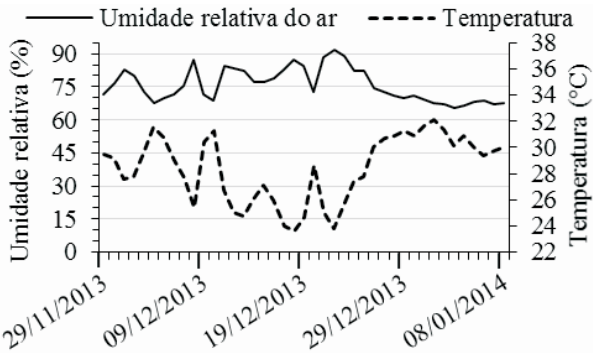

Figura 1 - Dados climáticos no interior da casa de vegetação no período do experimento.

utilizando-se o número de plantas desse tratamento apenas como referência (100% de emergência e 0% de controle). O fator dose foi submetido à análise de regressão, adotando-se o modelo que melhor explicasse os resultados observados quando a Anova da regressão foi significativa (p<0,05).

Para fins de discussão, definiu-se 80% de controle das plantas daninhas como um nível satisfatório (Perry et al., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores solo, espécie e dose, bem como todas as interações duplas, foram significativos. A interação tripla não foi significativa (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para emergência e controle das plantas daninhas

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Emergência	Controle
Bloco	3	272,72	173,76
Solo	2	12001,06 **	5705,58 **
Dose	5	38467,89 **	70874,81 **
Dose*solo	10	673,41 **	486,92 **
Espécie	4	47344,40 **	29254,50 **
Espécie*solo	8	1373,90 **	1940,69 **
Espécie*dose	20	2523,14 **	2682,60 **
Espécie*solo*dose	40	229,76 ns	274,08 ns
Resíduo	267	198,21	220,03
CV (%)		26,04	22,00

** Significativo (p < 0,01). CV – coeficiente de variação; GL – grau de liberdade.

De modo geral, entre as espécies estudadas, o indaziflam foi mais eficiente no controle de *D. horizontalis*, *P. maximum* e *R. cochinchinensis* em todos os solos testados (Tabela 3). Esses resultados corroboram os observados por Kaapro & Hall (2012), os quais mostraram maior controle de espécies da classe Liliopsida em relação à Magnoliopsida pelo indaziflam em plantios de *Pinus* e *Eucalyptus* na Austrália, tanto em pré como em pós-plantio. Esses autores sugerem que, para aumentar seu espectro de controle, o indaziflam deve ser misturado com outro herbicida residual, como o hexazinone (em *Pinus*), simazine e sulfometuron (em *Eucaliptus*). Jahla et al. (2013) também avaliaram o indaziflam em mistura com saflufenacil e glufosinato em pós-emergência das plantas daninhas em citros, obtendo maior espectro de controle.

No solo de textura franco-argiloarenosa, a espécie *E. heterophylla* apresentou maior taxa de emergência, seguida de *I. grandifolia* e *R. cochinchinensis*. Nos solos de textura argilosa e arenosa houve maior taxa de emergência de *E. heterophylla* e *I. grandifolia*; *R. cochinchinenses* não se diferenciou dessas espécies no solo arenoso. Entre os solos, observou-se menor taxa de emergência de todas as espécies no de textura franco-argiloarenosa, exceto *D. horizontalis*, para a qual não houve diferença significativa (Tabela 3).

As espécies *E. heterophylla* e *I. grandifolia* apresentaram melhor nível de controle no solo de textura franco-argiloarenosa em relação aos de textura arenosa e argilosa.

Tabela 3 - Taxa de emergência e de controle das espécies em cada classe textural de solo após aplicação do herbicida indaziflam, desconsiderando a testemunha sem herbicida

Taxa de emergência (%) – 7 dias após a emergência					
Classe textural do solo	*D. horizontalis*	*P. maximum*	*R. cochinchinensis*	*E. heterophylla*	*I. grandifolia*
Franco-argiloarenosa	1,06 A c	9,45 B c	42,67 C b	64,00 B a	38,30 B b
Argila	0,82 A d	29,00 A c	58,61 B b	80,53 A a	83,04 A a
Areia	5,10 A c	31,28 A b	73,52 A a	80,16 A a	75,44 A a
Taxa de controle (%) - 40 dias após a aplicação					
Franco-argiloarenosa	100 A a	100 A a	99,61 A a	73,58 A b	79,09 A b
Argila	100 A a	100 A a	88,19 B b	49,92 B c	41,56 B c
Areia	100 A a	100 A a	98,81 A a	36,87 C b	45,95 B b

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não se diferenciam pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Ambas as espécies mostraram menor taxa de controle em relação às outras, sendo considerado insatisfatório em todos os solos, de acordo com a classificação proposta por Perry et al. (2011). Para as espécies *R. cochinchinensis*, *P. maximum* e *D. horizontalis*, observaram-se níveis de controle acima de 98% em todos os solos, com exceção de *R. cochinchinensis* no solo de textura argilosa, cujo controle foi comparativamente menor que o dos solos arenoso e franco-argiloarenoso, mas ainda assim satisfatório, segundo critérios de Perry et al. (2011) (Tabela 3).

O controle de *Digitaria* spp. pelo indaziflam em gramados tem sido muito estudado nos últimos anos, com excelentes índices de controle dessa espécie. Kaapro & Hall (2012) observaram 100% de controle para *Digitaria* sp. utilizando a dose de 100 g i.a. ha^{-1}. Brosnan et al. (2011), ao avaliarem o controle de *D. ischaemum* com indaziflam aplicado em diferentes épocas, nas doses de 35, 52,5 e 70 g i.a. ha^{-1}, em dois argissolos – um com textura franca, pH de 6,2 e MOS de 2,1% e outro de textura franco-arenosa, pH de 5,8 e MOS de 2,5% – observaram controle acima de 98% até 105 dias após a aplicação em pré-emergência. Aos 195 dias após o tratamento, o controle foi reduzido, principalmente para as menores doses, permanecendo porém acima de 90% e sem diferença significativa entre as doses.

Perry et al. (2011) estudaram o controle de *Poa annua, Digitaria sanguinalis* (Poaceae), *Kyllinga squamulata* (Cyperaceae), *Dichondra carolinensis* (Convolvulaceae) e *Solvia sessilis* (Asteraceae) em diferentes épocas de aplicação do herbicida indaziflam com doses entre 20 e 60 g i.a. ha^{-1}, no Alabama (EUA), e observaram excelente controle de *D. sanguinalis*, independentemente da dose, com aplicações sequenciais (≥ 96%) e com uma única aplicação em março (≥ 94%). Já o controle das Magnoliopsidas variou entre as espécies. Exceto em março, houve excelente controle de *S. sessilis* (≥ 91%), enquanto as espécies das famílias Cyperaceae e Convolvulaceae apresentaram menor nível de controle. Esses resultados concordam com os dados obtidos no presente trabalho, com excelente controle de *D. horizontalis* e controle insatisfatório de *I. grandifolia* (Convolvulaceae).

O indaziflam proporcionou menor taxa de emergência de *R. cochinchinensis* no solo de textura franco-argiloarenosa. O modelo quadrático foi o que melhor explicou os resultados obtidos nesse solo, com ponto de mínimo em 123,76 g i.a. ha^{-1}, com 28,91% de emergência. Para os solos de textura argilosa e arenosa, o modelo linear foi o que melhor explicou os resultados, chegando a 34,33 e 55,84% de emergência na maior dose testada (Figura 2A). Nos solos de textura franco-argiloarenosa e arenosa, a análise de variância da regressão não foi significativa, porém a taxa de controle foi excelente na menor dose testada (30 g i.a. ha ^{1}). Já para o solo de textura argilosa, o modelo de regressão bissegmentada foi o que melhor explicou os resultados, quando o modelo linear explicou 95,3% do rápido aumento na taxa de controle da espécie até a dose de 60 g i.a. ha^{-1}, atingindo nível de controle satisfatório, conforme critério de Perry et al. (2011), com 50 g i.a. ha^{-1}. A partir desta dose, o aumento linear do controle ocorreu com menor intensidade, o que não justifica o uso de doses acima de 60 g i.a. ha^{-1} para o controle de *R. cochinchinensis* nesse solo (Figura 2B).

A necessidade de maior dose de indaziflam para obtenção de controle satisfatório dessa espécie no solo de textura argilosa pode ser explicada pelo maior teor de MOS nele presente (Tabela 1), possivelmente, conferindo-lhe maior capacidade de adsorção do herbicida, uma vez que esse produto apresenta características lipofílicas.

O modelo exponencial foi o que melhor explicou a emergência de *D. horizontalis* no solo de textura arenosa, estimando-se valores próximos a 0% na dose de 60 g i.a. ha^{-1}. Nos demais solos, a regressão não foi significativa a 5% de probabilidade (Figura 2C). Essa espécie foi eficientemente controlada em todos os solos estudados, observando-se 100% de controle com a menor dose estudada, não se ajustando a nenhum modelo de regressão.

Brosnan et al. (2012) observaram resultados semelhantes para o controle de *D. ischaemum* em gramado com 35 g i.a. ha^{-1} de indaziflam aplicado em pré-emergência. Por outro lado, em ensaios conduzidos por Kaapro & Hall (2012), as taxas de controle de *Digitaria* sp. em gramado variaram entre 69 e

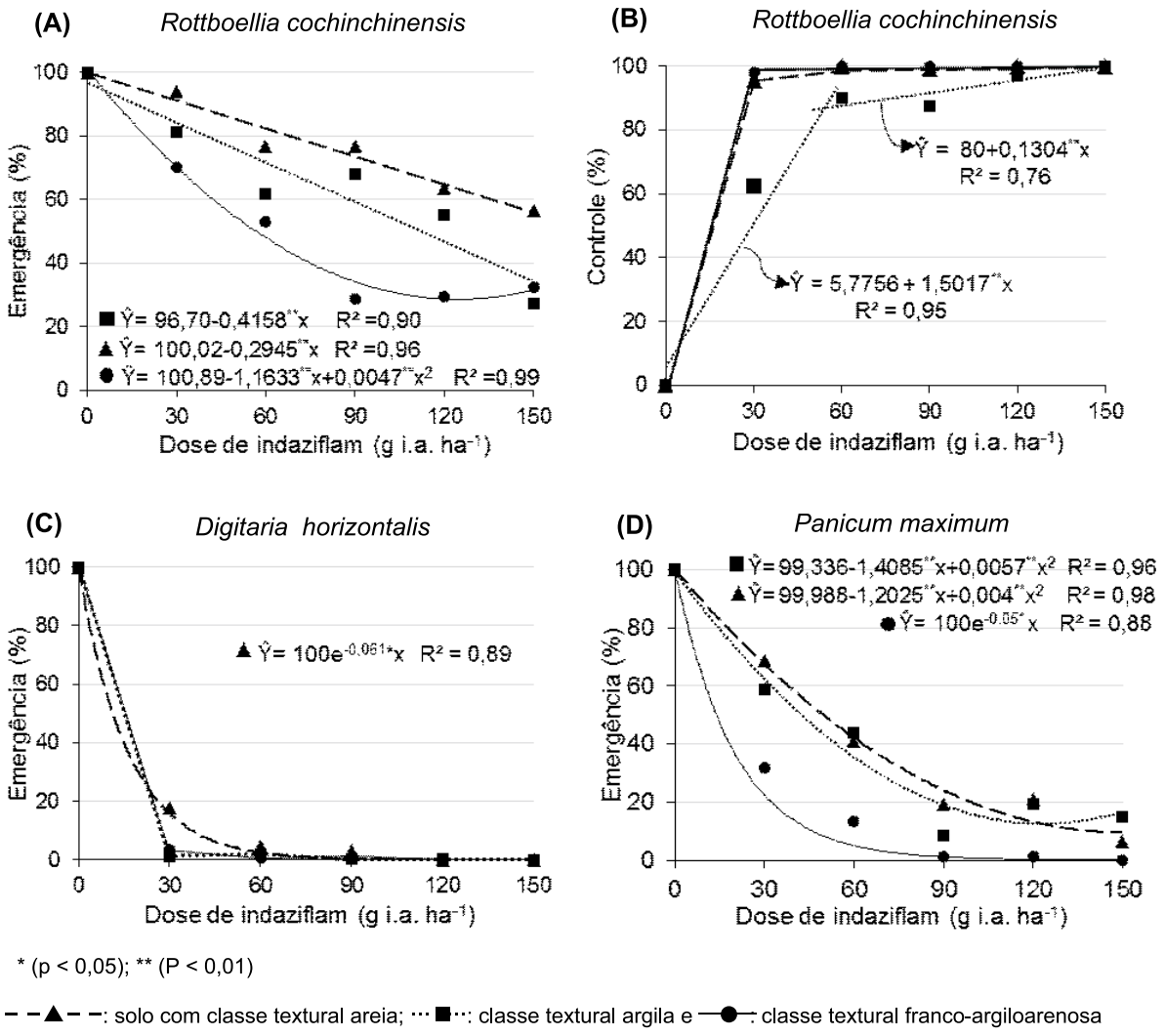

Figura 2 - Emergência das espécies *R. cochinchinensis* (A), *P. maximum* (C) e *D. horizontalis* (D) e controle de *R. cochinchinensis* (B), em função da dose de indaziflam, para cada textura de solo.

98% para a dose de 37,5 g ha^{-1} de indaziflam e de 89% para a dose de 50 g i.a. ha^{-1}, obtendo-se 100% de controle apenas nas doses de 75, 80 e 100 g i.a. ha^{-1}.

O modelo quadrático foi o que melhor explicou a emergência de *P. maximum* nos solos de textura argilosa e arenosa, com pontos de mínimo em 123,55 e 150,65 g i.a. ha^{-1} e estimativa de 12,3 e 9,2% de emergência, respectivamente. No solo de textura franco-argiloarenosa, o modelo exponencial foi o que melhor explicou a variação dos dados e mostrou que a emergência de *P. maximum* foi mais sensível ao indaziflam nesse solo, estimando-se taxa de emergência inferior a 5% com doses a partir de 60 g i.a. ha^{-1} (Figura 2D). Quanto ao controle, *P. maximum* foi muito sensível ao herbicida em todos os solos, com controle de 100% em todas as doses avaliadas, não se ajustando a nenhum modelo de regressão.

Há poucos trabalhos na literatura que avaliam o controle de *P. maximum* com indaziflam. Jhala et al. (2013) avaliaram a eficiência desse herbicida em pós-emergência, em misturas de tanque com dessecantes, em pomar de citros e observaram que a mistura do indaziflam (73 g i.a. ha^{-1}) com saflufenacil e glufosinato aumentou o período residual do tratamento e proporcionou 88% de controle de folhas largas e gramíneas 30 dias após a aplicação.

O total controle de *D. horizontalis* e *P. maximum* pela menor dose estudada mostra que essas espécies são muito sensíveis ao indaziflam, dependendo, portanto, de futuras pesquisas para determinação da dose ótima para essas espécies.

A emergência de *E. heterophylla* não se adequou a nenhum modelo de regressão no solo arenoso. Nos solos de textura franco-argiloarenosa e argilosa, houve efeito linear decrescente com o aumento da dose, com taxa de emergência estimada em 46,08 e 64,92%, respectivamente, na maior dose estudada, porém com R^2 muito baixo (Figura 3A). O controle dessa espécie também não foi satisfatório nos solos de textura argilosa e arenosa em trabalho de Perry et al. (2011), com controle estimado de 75,85 e 60,28%, respectivamente. Já no solo de textura franco-argiloarenosa houve excelente controle, chegando a 100% no ponto de máximo da curva, com a dose de 116,84 g i.a. ha^{-1}, alcançando nível satisfatório de controle com 64 g i.a. ha^{-1}, estimado pelo modelo quadrático (Figura 3B). Neste solo, observou-se que plântulas de *E. heterophylla* foram atacadas pelo fungo *Rizocthonia* sp. (dados não apresentados) nos tratamentos com indaziflam, o que ocorreu com menor intensidade na testemunha e nos solos argiloso e arenoso com o herbicida.

Da mesma forma, para *I. grandifolia* observou-se decréscimo linear da taxa de

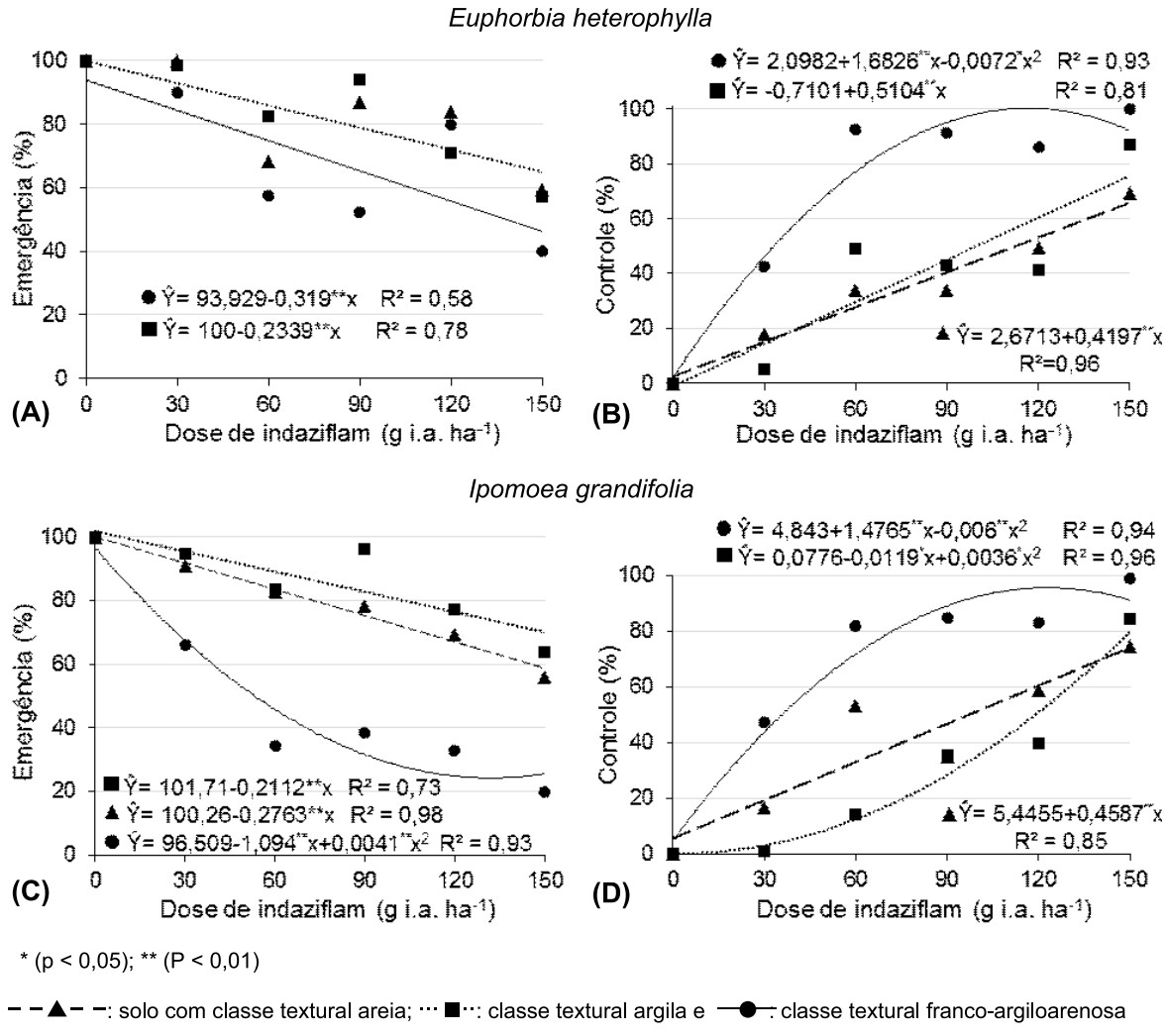

Figura 3 - Emergência e controle das espécies *E. heterophylla* ("A" e "B") e *I. grandifolia* ("C" e "D"), em função da dose de indaziflam, para cada textura de solo.

emergência com o aumento das doses nos solos de texturas arenosa e argilosa, com emergência de 58,82 e 70,02%, respectivamente. Esses valores foram altos quando comparados com os das espécies da classe Liliopsida estudadas neste trabalho. No solo de textura franco-argiloarenosa observou-se menor taxa de emergência dessa espécie, indicando que houve maior controle inicial nesse solo, com 23,53% de emergência no ponto de mínimo (133,41 g i.a. ha^{-1}) do modelo quadrático (Figura 3C). Quanto ao controle dessa espécie, observou-se certa similaridade ao de *E. heterophylla,* principalmente no solo arenoso, onde houve crescimento linear da taxa de controle com o aumento das doses. Os melhores controles foram alcançados no solo de textura franco-argiloarenosa, com controle estimado de 95,68% no ponto de máximo (123,04 g i.a. ha^{-1}), estimando-se que 72 g i.a. ha^{-1} proporcionam controle satisfatório, segundo critério de Perry et al. (2011). No solo de textura argilosa os dados se ajustaram ao modelo quadrático, com maior aumento nos níveis de controle a partir de 90 g i.a. ha^{-1} e estimativa de 151 g i.a. ha^{-1} para obtenção de 80% (Figura 3D).

A lixiviação do herbicida indaziflam ainda é pouco estudada, com informações de que sua mobilidade no solo seja classificada entre moderada e móvel (Tompkins, 2010) ou a pouco móvel no solo (Alonso et al., 2011; Jhala et al., 2012; Jhala & Singh, 2012). Estudando a lixiviação do indaziflam (73 g i.a. ha^{-1}) em solo com 91,6% de areia, 4,4% de silte, 4,0% de argila e 0,46% de MOS no perfil de 0 a 0,30 m, características similares às do solo da classe textural areia da Tabela 1, Jhala & Singh (2012) detectaram a presença do herbicida até a 0,12 e 0,27 m, aproximadamente, com simulação de 50 e 150 mm de chuva, respectivamente. Em solo com a mesma textura, Jhala et al. (2012) obtiveram resultados similares e observaram ainda que, mesmo dobrando a dose (145 g i.a. ha^{-1}), o indaziflam não lixiviou em maiores profundidades, tendo sido detectado até aproximadamente 0,3 m de profundidade, com 150 mm de precipitação.

Dessa forma, pode-se supor que parte do indaziflam aplicado no solo de textura arenosa foi perdida por lixiviação, resultando em menores níveis de controle, uma vez que a bandeja utilizada tem 0,07 m de profundidade e recebeu aproximadamente 5 mm diários de irrigação. A lixiviação do indaziflam nesse tipo de solo pode ter ocorrido devido ao alto teor de areia, o que facilita o movimento descendente da solução do solo no perfil, devido ao maior número de macroporos, além do menor teor de MOS e de argila (Tabela 1), ficando o herbicida mais disponível na solução do solo. Segundo Inoue et al. (2008), em solos com textura argilosa pode haver maior dificuldade na movimentação de água no perfil, contribuindo para a menor movimentação vertical da solução do solo.

Esse fato também pode explicar a maior eficiência do indaziflam no solo de textura franco-argiloarenosa, no qual, possivelmente, o herbicida estava disponível em maior quantidade na solução do solo, em relação ao solo argiloso, devido ao menor teor de MOS, e sua lixiviação pode ter sido dificultada pelo maior teor de argila em relação ao solo arenoso (Tabela 1), permanecendo disponível nas camadas superiores do solo, podendo ser absorvido.

O diuron é um herbicida que, assim como o indaziflam, apresenta características lipofílicas e baixa solubilidade em água (Inoue et al., 2008; Tompkins, 2010), também sendo classificado como moderadamente móvel no solo (Alonso et al., 2011). Devido a essas semelhanças, a dinâmica de adsorção do diuron pode ser similar à do indaziflam e será utilizada como referência, em razão das poucas informações sobre este último em solos com características físico-químicas contrastantes.

Diversos autores relatam que há relação positiva entre teores de argila e, principalmente, de MOS na sorção do diuron (Alister & Kogan, 2010; Inoue et al., 2010; Rocha et al., 2013) e outros herbicidas lipofílicos (Freitas et al., 1999). Essa mesma relação foi observada para o indaziflam por Alonso et al. (2011). Estudando a dinâmica de adsorção do diuron por meio de cromatografia líquida, Rocha et al. (2013) observaram que a capacidade de sorção do diuron foi direta e positivamente relacionada ao teor de MOS (r = 0,96), ao teor de argila (r = 0,92) e à CTC efetiva (r = 0,66), enfatizando que a maior capacidade de sorção desse herbicida ocorre em solos com elevados teores de MOS e de argila. Inoue et al. (2008) detectaram

o diuron no perfil de 0,05-0,10 m no solo de textura franco-arenosa com volumes de precipitação de 60 e 80 mm, ao passo que no solo de textura argilosa o diuron ficou retido na camada de 0,05-0,10 m, mesmo com 100 mm de precipitação. Esses autores atribuíram a maior sorção do diuron ao solo argiloso devido ao seu maior teor de MOS, a qual pode ter se ligado por interações hidrofóbicas ao herbicida, mostrando a importância da fração orgânica do solo na sorção de herbicidas lipofílicos.

Dessa forma, no solo de textura argilosa pode ter ocorrido elevada adsorção do herbicida devido ao alto teor de argila e, principalmente, de MOS (Tabela 1), uma vez que o indaziflam é um herbicida muito lipofílico (Tompkins, 2010), ligando-se à MOS e formando resíduo ligado. Assim, para controle de espécies menos sensíveis ao indaziflam, como as Magnoliopsidas, doses maiores podem ser necessárias, sobretudo em solos com alto teor de argila e MOS, para que o herbicida possa ocupar os sítios de adsorção e, ainda, ficar disponível na solução do solo. Segundo Prata & Lavorenti (2000), a adição de materiais orgânicos ao solo promove aumento dos seus sítios sortivos, o que contribui com a maior sorção e formação de resíduos ligados, principalmente de produtos lipofílicos, inativando os herbicidas.

Nas condições em que o trabalho foi desenvolvido, *D. horizontalis* e *P. maximum* foram eficientemente controladas em todos os solos pelo indaziflam. *R. cochinchinensis* foi eficientemente controlada nos solos franco-argiloarenoso e arenoso em todas as doses, ao passo que no solo argiloso essa eficiência só foi atingida a partir da dose de 50 g ha^{-1} de indaziflam. O controle de *E. heterophylla* e *I. grandifolia* pelo indaziflam foi mais eficiente no solo franco-argiloarenoso.

LITERATURA CITADA

ALISTER, C.; KOGAN, M. Rainfall effect on dissipation and movement of diuron and simazine in a vineyard soil. **Planta Daninha**, v. 28, p. 1059-1071, 2010. (Número Especial)

ALONSO, D. G. et al. Sorption-desorption of indaziflam in selected agricultural soils. **J. Agric. Food Chem.**, v. 59, n. 24, p. 13096-13101, 2011.

BROSNAN, J. T. et al. PRE and POST control of annual bluegrass (*Poa annua*) with indaziflam. **Weed Technol.**, v. 26, n. 1, p. 48-53, 2012.

BROSNAN, J. T. et al. Smooth crabgrass control with indaziflam at various spring timings. **Weed Technol.**, v. 25, n. 3, p. 363-366, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2006. 306 p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. **Soil survey manual**. Washington: 1993. 437 p.

FERREIRA, C. R. R. P. T. et al. Defensivos agrícolas: vendas batem novo recorde em 2012 e segue em ritmo forte em 2013. **Análises e indicadores do agronegócio**. IEA, v. 8, n. 7, p. 1-5, 2013.

FREITAS, S. P. et al. Efeitos de dejeto de suínos na forma líquida e de composto orgânico na atividade do metribuzin. **Planta Daninha**, v. 17, n. 1, p. 109-117, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Diretoria de Geociências; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Mapa de solos do Brasil**. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>. Acesso em: 13 fev. 2014.

INOUE, M. H. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 825-833, 2010.

INOUE, M. H. et al. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante contrastante. **Acta Sci. Agron.**, v. 30, n. 5, p. 631-638, 2008.

JHALA, A. J. et al. Tank mixing saflufenacil, glufosinate and indaziflam improved burndown and residual weed control in citrus. **Weed Technol.**, v. 27, n. 2, p. 422-429, 2013.

JHALA, A. J. et al. Leaching of indaziflam applied at two rates under different rainfall situations in Florida dandler soil. **B. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 88, n. 3, p. 326-332, 2012.

JHALA, A. J.; SINGH, M. Leaching of indaziflam compared with residual herbicides commonly used in Florida citrus. **Weed Technol.**, v. 26, n. 3, p. 602-607, 2012.

KAAPRO, J.; HALL, J. Indaziflam - a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. **Weed Sci. Res.**, Special Issue, v. 18, p. 267-270, 2012. (Número Especial).

KAWAMOTO, K.; URANO, K. Parameters for predicting fate of organochlorine pesticides in the environment (II) Adsorption constant to soil. **Chemosphere**, v. 19, n. 8, p. 1223-1231, 1989.

MANCUSO, M. A. C. et al. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **R. Bras. Herbic.**, v. 10, n. 2, p. 151-164, 2011.

PATEIRO-MOURE, M. et al. Effect of organic matter and iron oxides on quaternary herbicide sorption–desorption in vineyard-devoted soils. **J. Colloid Interface Sci.**, v. 333, n. 2, p. 431-438, 2009.

PERRY, D. H. et al. Indaziflam utilization for controlling problematic turfgrass weeds. **Online Appl. Turfgrass Sci.**, v. 8, n. 1, 2011. Disponível em: <http://rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/246/pdf_11>. Acesso em: 30 jan. 2014.

PRATA, F.; LAVORENTI, A. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. **R. Bioci.**, v. 6, n. 2, p. 17-22, 2000.

ROCHA, P. R. R. et al. Sorção e dessorção do diuron em quatro latossolos brasileiros. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 231-238, 2013.

TOMPKINS, J. **Pesticide fact sheet: indaziflam**. United States, Environmental Protection Agency. Disponível em: <http://www.epa.gov/opp00001/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-080818_26-Jul-10.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2014.

VIVIAN, R. et al. Adsorção e dessorção de trifloxysulfuron-sodium e ametryn em solos brasileiros. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 97-109, 2007.