

Comunicação

Atividade residual de seis herbicidas aplicados ao solo em época seca

Saul Jorge Pinto de Carvalho¹, Ana Carolina Ribeiro Dias², Marcelo Hideki Minamiguchi³,
Marcelo Nicolai², Pedro Jacob Christoffoleti⁴

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido em campo, com o objetivo de avaliar a atividade residual de herbicidas recomendados para a cultura da cana-de-açúcar, quando aplicados ao solo na época seca. Os tratamentos foram organizados em esquema de parcelas subdivididas, em que, no âmbito das parcelas, foram aplicados seis herbicidas e, no âmbito das subparcelas, foram considerados três períodos de permanência dos produtos no solo (130 dias, 70 dias e testemunha, sem aplicação). Os tratamentos herbicidas foram (g ha^{-1}): amicarbazone a 1260; clomazone a 1250; hexazinone a 450; imazapic a 147; isoxaflutole a 187,5; e sulfentrazone a 900. Além da infestação natural de plantas daninhas, para avaliação da atividade residual dos produtos, semeou-se pepino na área, considerado como bioindicador. A mesma molécula herbicida teve avaliação diferenciada em razão da espécie bioindicadora considerada. Os herbicidas amicarbazone, hexazinone, isoxaflutole e sulfentrazone têm propriedades positivas para aplicação ao solo em época seca, tais como elevada solubilidade, baixo Kow e baixa fotodegradação. A aplicação de imazapic em pré-emergência tem eficácia consistente em época seca, controlando adequadamente o pepino e a comunidade natural de plantas daninhas. O herbicida clomazone não controlou adequadamente o pepino e a comunidade natural de plantas daninhas.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, *Saccharum*, pré-emergência, persistência, resíduo.

ABSTRACT

Residual activity of six herbicides applied to the soil in the dry season

This work was carried out in field conditions with the objective of evaluating residual activity of herbicides recommended to sugarcane crop, when applied to the soil in the dry season. Treatments were organized according to split-plot scheme, where six herbicides were applied to the plots and three periods of product permanence in the soil (130 days, 70 days and control without application) were placed in the split-plots. Herbicide treatments were (g ha^{-1}): amicarbazone at 1260; clomazone at 1250; hexazinone at 450; imazapic at 147; isoxaflutole at 187.5; and sulfentrazone at 900. Besides the natural weed community, cucumber, considered as bioindicator, was sown in the area for the evaluation of the product residual activity. The same herbicide molecule had different evaluation as a function of the species. The herbicides amicarbazone, hexazinone, isoxaflutole and sulfentrazone show positive properties for soil application in the dry season, such as high solubility, low Kow and low photodegradation. Pre-emergence application of imazapic had consistent efficacy in the dry season, controlling satisfactorily the cucumber and the natural weed community. Clomazone did not control the cucumber and the weed natural community.

Key words: sugarcane, *Saccharum*, pre-emergence, persistence, residue.

Recebido para publicação em 15/06/2011 e aprovado em 17/02/2012

¹Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Campus Machado, Caixa Postal 1.004, 37750-971, Machado, Minas Gerais, Brasil. sjpcarvalho@yahoo.com.br (autor correspondente).

²Engenheiros-Agrônomos. Pós-graduandos em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. anacarolina.r.dias@gmail.com; mnicolai2009@gmail.com

³Engenheiro-Agrônomo. Corn Products Brasil, Avenida Café, n° 277, Vila Guarani, 04311-000, São Paulo, Brasil. minamiguchi@gmail.com

⁴Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Professor Associado do Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. pjchrist@esalq.usp.br

INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil tem-se destacado como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), cuja produção ultrapassa 560 milhões de toneladas/ano, com cultivo de 6,7 milhões de hectares na safra 2008/09, o que correspondeu ao incremento de 15,7% da área plantada, em relação à da safra 2007/08 (UNICA, 2008); colocando o país em posição de destaque no cenário internacional para comercialização de açúcar e álcool.

Na cultura da cana-de-açúcar, o método químico de controle de plantas daninhas tem sido preferido pelos produtores, em razão do menor custo, maior eficiência, grande extensão das áreas agrícolas e disponibilidade de registro de diversos produtos (Vivian *et al.*, 2007; Monquero *et al.*, 2008a). Nessa cultura, a maioria dos herbicidas é recomendada para aplicação em pré-emergência ou pós-emergência inicial, de modo que o destino de grande parte das moléculas é o solo (Christoffoleti *et al.*, 2009a). Ainda, em áreas onde as plantas daninhas devem ser controladas por longos períodos, como é o caso da cana-de-açúcar, tem-se a necessidade de utilização de herbicidas com ação residual prolongada (Velini & Negrissoli, 2000; Carvalho *et al.*, 2005).

No solo, a dissipação dos herbicidas ocorre por diferentes processos e com velocidades distintas, influenciadas pelas propriedades físico-químicas da molécula, pelos atributos do solo, pelas condições ambientais ou pela interação desses fatores (Vivian *et al.*, 2006; Christoffoleti *et al.*, 2009a). Muitos processos envolvidos no comportamento dos herbicidas no ambiente ainda são desconhecidos; no entanto, o entendimento da interação solo-planta-herbicida é determinante na recomendação adequada a cada tipo de solo, com maior eficácia e menor contaminação do ambiente (Oliveira Júnior *et al.*, 2006).

No Estado de São Paulo, a colheita da cana-de-açúcar ocorre durante todo o inverno, o que torna a aplicação de herbicidas em época seca uma excelente opção para controle das plantas daninhas, fundamentada no melhor planejamento e logística das operações agrícolas (Azania *et al.*, 2006). Herbicidas que não são fotodegradados, com baixa tendência à volatilidade, alta solubilidade em água, baixa sorção aos colóides do solo e tendo como principal via de degradação a do tipo microbiana, em geral, têm comportamento satisfatório quando aplicados em época seca (Monquero *et al.*, 2008b; Christoffoleti *et al.*, 2009a).

Nesta condição, a água disponível no solo tem papel determinante na eficácia dos herbicidas residuais, pois, além de afetar a atividade microbiana e a absorção das moléculas pelas plantas, também influencia o comportamento das moléculas na interface dos componentes do solo. A redução da umidade diminui os espaços livres para os herbicidas na solução do solo e, nestas condi-

ções, menores quantidades do produto ficam biodisponíveis, por causa do aumento da sorção (Christoffoleti *et al.*, 2009a).

Desta forma, herbicidas com propriedades químicas diferentes devem apresentar comportamentos distintos, quando aplicados em condição de seca (Monquero *et al.*, 2008b). Portanto, este trabalho foi desenvolvido em condição de campo com o objetivo de avaliar a atividade residual de seis herbicidas recomendados para a cultura da cana-de-açúcar, quando aplicados ao solo na época seca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em área da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, localizada em Piracicaba – SP – Brasil (22° 42' 30" latitude sul, 47° 38' 00" longitude oeste e 546 m de altitude), entre maio e dezembro de 2008. O solo da área foi classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico (Embrapa, 2006), de textura argilosa, mantido em pousio por mais de um ano. Os resultados de sua análise química e física estão descritos na Tabela 1. Em maio, a vegetação foi dessecada com glyphosate e o solo preparado por meio de duas gradagens, em profundidade média de 0,20 m, de modo que todas as aplicações foram realizadas sobre solo descoberto, gradeado e sem infestação de plantas daninhas.

Os tratamentos foram alocados em campo, segundo esquema de parcelas subdivididas, em que, no âmbito das parcelas, foram aplicados seis herbicidas e, no âmbito das subparcelas, foram considerados três períodos de permanência do produto no solo. Os seis tratamentos herbicidas foram (g ha⁻¹): amicarbazone a 1260; clomazone a 1250; hexazinone a 450; imazapic a 147; isoxaflutole a 187,5; e sulfentrazone a 900. As doses foram fundamentadas na prática agrícola, na granulometria do solo, bem como na recomendação dos fabricantes (Rodrigues & Almeida, 2005). Os três períodos de permanência do produto no solo foram: 130 dias, 70 dias e testemunha, sem aplicação; para tanto, foram realizadas aplicações em junho e agosto, objetivando expor os produtos aos períodos de estresse até o início das chuvas, previsto para outubro. As parcelas contaram com 5,0 x 7,5 m, enquanto as subparcelas tiveram as dimensões de 2,5 x 5,0 m, ou seja, 12,5 m² de área total e 6 m² de área útil. Foi adotado delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições.

A primeira aplicação dos tratamentos herbicidas em campo foi realizada no dia 3 de junho de 2008, das 10h40 às 11h30. No momento da aplicação, os parâmetros meteorológicos médios foram: Umidade Relativa - UR (%) de 94%; Temperatura do ar - T (°C) de 18°C; ausência de nuvens e de ventos de 5,8 km h⁻¹. A segunda aplicação foi realizada no dia 1° de agosto de 2008, das 8h35 às 9h05.

No momento da aplicação, os parâmetros meteorológicos médios foram: UR (%) de 82%; T (°C) de 17°C; ausência de nuvens e ventos de 3,5 km h⁻¹. As precipitações e a temperatura média diária do período em que o experimento esteve em campo estão apresentadas na Figura 1.

A absorção de moléculas por grandes infestações de plantas daninhas poderia interferir nos resultados experimentais, de modo que, em duas ocasiões (3/7/2008 e 3/9/2008) foi aplicado glyphosate, na dose de 1440 g ha⁻¹ de ingrediente ativo, para eliminação das infestantes. Após a dessecação de manutenção, nas parcelas ainda por aplicar, os restos vegetais foram removidos com auxílio de rastelos, para assegurar a aplicação dos tratamentos sobre solo descoberto. Em todas as aplicações, utilizou-se

pulverizador costal pressurizado por CO₂, acoplado a uma barra com 2 m de largura, com quatro pontas do tipo jato plano, XR 110.02, espaçadas em 0,50 m, calibrado para volume de calda proporcional a 200 L ha⁻¹.

O dia 10 de outubro de 2008 foi considerado como momento de efetiva instalação do experimento, aos 130 e 70 dias após a primeira e segunda aplicação de herbicidas, respectivamente. Nesta ocasião, um quadro de madeira de 0,75 x 1,0 m foi posicionado duas vezes na área útil de cada subparcela. Na primeira posição, foram abertos cinco sulcos no solo com aproximadamente 0,03 m de profundidade, 0,75 m de comprimento, espaçados em 0,20 m, nos quais foi semeado pepino (*Cucumis sativus*, híbrido Primepack Plus), distribuindo-se 12 sementes por sulco.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do solo da área experimental (Nitossolo Vermelho eutrófico). Piracicaba, 2008

Análise Físico-Granulométrica									
Areia					Silte	Argila		Floculação	Classe de Textura: Argilosa
Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Total		Total	Água		
%									
2	6	20	7	35	12	55	30	42	Densidade Relativa: 2,86 g cm ⁻³
Análise Química ⁽¹⁾									
pH			M.O.		P		S		CTC
CaCl ₂	KCl	H ₂ O	g dm ⁻³		mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³
5,5	5,0	5,8	25		43		9		106,4
K	Ca	Mg	Al		H + Al		SB		V
mmol _c dm ⁻³									
9,4	54	15	0		28		78,4		74

⁽¹⁾M.O. – Matéria orgânica; CTC – Capacidade de troca catiônica; SB – soma de bases; V – saturação por bases.

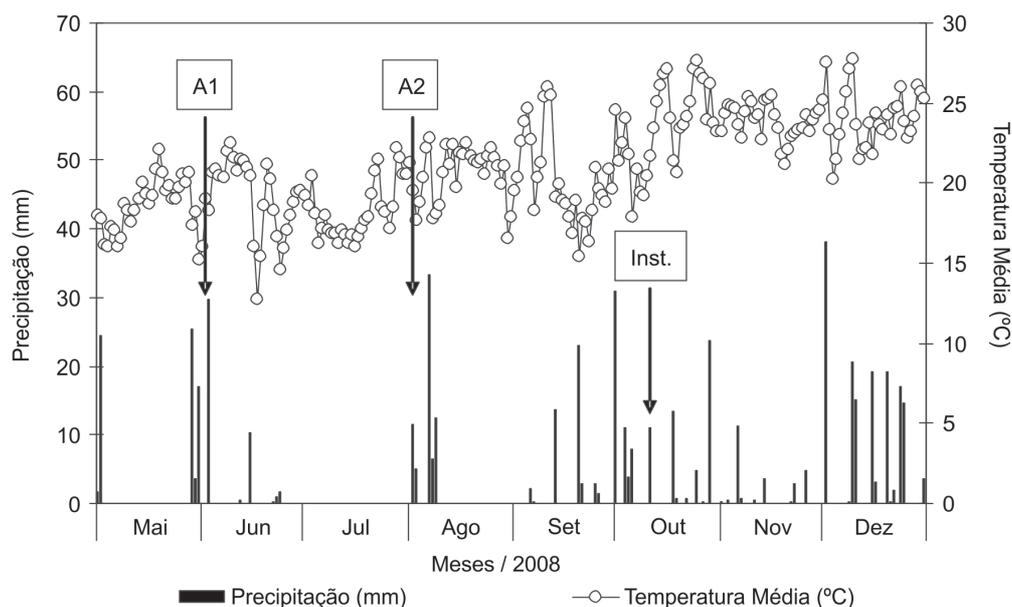


Figura 1. Temperatura média (°C) e precipitações (mm) diárias observadas durante o período de condução do experimento em campo. A1 – Primeira aplicação, realizada em 03/06/2008; A2 – Segunda aplicação, realizada em 01/08/2008; Inst. – Data considerada como a efetiva instalação do experimento, em 10/10/2008; aos 130 e 70 dias após A1 e A2, respectivamente. Piracicaba, 2008

O pepino foi utilizado como planta bioindicadora, pois sua sensibilidade a herbicidas contribui para avaliação da atividade residual. A segunda posição foi mantida sem alteração, para avaliação da infestação natural de plantas daninhas.

Durante o trabalho, a infestação natural de plantas daninhas teve densidade total média estimada em 200 plântulas m⁻², ligeiramente variável com o decorrer do experimento. A composição específica média foi: 25% de capim-colchão (*Digitaria* spp.), 20% de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), 10% de carrapicho-de-carneiro (*Acanthospermum hispidum*), 10% de capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), 10% de trapoeraba (*Commelina benghalensis*), 10% de losna-branca (*Parthenium hysterophorus*), 5% de caruru-de-mancha (*Amaranthus viridis*), 5% de corda-de-viola (*Ipomoea* spp.) e 5% de outras espécies.

Com o intuito de validar a eficácia inicial das aplicações dos tratamentos, para cada data, foi realizada avaliação de controle da infestação natural de plantas daninhas, aos 30 dias após aplicação (DAA). Com relação à atividade residual, avaliou-se controle e massa seca de pepino, aos 28 dias após instalação (DAI). O controle da infestação natural de plantas daninhas foi avaliado aos 24 e 56 DAI e a massa seca aos 56 DAI. Todas as avaliações de controle foram fundamentadas em escala percentual, com variação entre zero e 100%, em que zero representou a ausência de sintomas e 100 a morte de todas as plantas.

A massa seca de pepino foi obtida por meio da coleta de todo o material vegetal das espécies presentes em cada subparcela. O material foi secado em estufa, a 70°C, por 72h e, posteriormente, pesado em balança de precisão. Para massa seca das plantas daninhas, um quadro de madeira de 0,5 x 0,5 m foi lançado, uma vez, em área representativa de cada parcela. Todo o material vegetal presente na área do quadrado foi cortado rente à superfície do solo, também secado em estufa (70°C / 72h) e pesado.

Os dados foram submetidos à aplicação do teste F, na análise da variância. Quando da significância do teste F, aplicou-se teste de Tukey para comparação das médias, ambos com 5% de significância. No caso das parcelas subdivididas, as notas de controle das testemunhas foram desconsideradas na análise da variância, pois não foram observados sintomas e a inclusão de zeros poderia comprometer as comparações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com exceção do herbicida clomazone, aos trinta dias após cada aplicação (validação das aplicações), todos os produtos proporcionaram elevado controle das plantas daninhas, superiores a 95%; sem diferença entre as datas

de aplicação (Tabela 2). O clomazone tem recomendação para aplicação em pré-emergência da cana-de-açúcar, podendo alcançar período efetivo de controle da ordem de 70 a 100 dias, dependendo da dose e do tipo de solo (Procópio *et al.*, 2004; Christoffoleti *et al.*, 2009b). Assim, supõe-se que o menor controle obtido neste trabalho seja consequência das espécies presentes na comunidade infestante, com destaque para apaga-fogo e o carrapicho-de-carneiro, espécies para as quais não há recomendação do produto (Rodrigues & Almeida, 2005) e que não foram controladas nas subparcelas tratadas.

Com relação à atividade residual das moléculas para controle de pepino, foi detectada interação dos herbicidas com as datas de aplicação (Tabela 3). Para a aplicação realizada em junho, ou seja, exposição dos produtos por 130 dias em campo, melhor controle foi obtido com imazapic e amicarbazone; porém, o controle obtido com imazapic não foi diferente entre as datas de aplicação, o que ocorreu para amicarbazone. Estes resultados discordam de Monquero *et al.* (2008b), que observaram controle de pepino entre 60 e 80%, após exposição do herbicida imazapic a 90 dias de seca. Para aplicações em agosto (70 dias em campo), controle de pepino superior a 90% foi obtido com imazapic, amicarbazone e hexazinone (Tabela 3).

Neste trabalho, o hexazinone, o herbicida que possui a maior solubilidade em água (29.800 mg L⁻¹), aliada ao baixo potencial sortivo, apresenta propriedades favoráveis à lixiviação no perfil do solo (Bouchard *et al.*, 1985; Monquero *et al.*, 2008a). Assim, estudando a lixiviação de diuron + hexazinone, Monquero *et al.* (2008a) observaram fitointoxicação do bioindicador à profundidade de 0,35 m, após chuva simulada de 80 mm. Na Figura 1, constata-se precipitação acumulada superior a 80 mm, entre a aplicação dos herbicidas e a semeadura dos bioindicadores, de modo que a lixiviação pode ter contribuído para o arraste de moléculas de hexazinone para fora da zona de germinação e, portanto, para menor eficácia do produto, principalmente quanto à aplicação em junho (Tabela 3).

Considerando-se a infestação natural de plantas daninhas, aos 24 e 56 DAI, não houve interação entre herbicidas e datas de aplicação (Tabela 4). O controle obtido com aplicação em agosto foi superior ao obtido com aplicação em junho. Aos 24 DAI, elevado controle foi obtido com aplicação de hexazinone, imazapic e sulfentrazone. Aos 56 DAI, somente imazapic e sulfentrazone obtiveram controle satisfatório, ou seja, superior a 80%, percentagem mínima considerada adequada em campo (Frans *et al.*, 1986); sem diferença para aplicação de hexazinone, que resultou em 70% de controle (Tabela 4).

Embora o herbicida isoxaflutole (IFT) tenha recomendação para aplicação em época seca, os resultados obti-

dos neste trabalho foram pouco satisfatórios (Tabelas 3 e 4). Trata-se de um produto que necessita de ativação no solo, por meio de sua conversão ao metabólito diquetonitrila (DKN), que, efetivamente, possui ação herbicida (Oliveira Júnior *et al.*, 2006). Esta conversão é influenciada pela disponibilidade de água no ambiente, cuja abundância favorece a conversão (Mitra *et al.*, 2000). Neste trabalho, mesmo aplicando-se em época seca, nos dias subsequentes a cada aplicação foram registradas chuvas que, de forma acumulada, alcançaram valores próximos ou superiores a 30 mm (Figura 1). Estas chuvas podem ter favorecido à conversão de IFT em DKN, que é a forma mais estável, mais solúvel e mais persistente (Marchiori Júnior *et al.*, 2005). Esta observação está em concordância com os dados da Tabela 2, que mostram elevada eficácia do produto um mês após aplicação (30 DAA).

Da mesma forma que a disponibilidade hídrica pode ter contribuído para a conversão de IFT em DKN, também pode ter ativado momentaneamente a comunidade microbiana, principal responsável pela degradação do

DKN (Taylor-Lovell *et al.*, 2002; Beltran *et al.*, 2003); bem como favorecido processos ligados à sorção da molécula ao solo. Em solo argiloso, Marchiori Júnior *et al.* (2005) comentam que este produto pode permanecer ativo por período superior a 120 dias, dependendo da dose e da espécie vegetal bioindicadora. No entanto, Oliveira Júnior *et al.* (2006) concluíram que, à medida em que se aumentam o tempo e o número de irrigações entre a aplicação do herbicida e a semeadura do bioindicador, há redução na eficácia de IFT em Latossolo Vermelho distrófico.

A biomassa seca de pepino e da comunidade natural de plantas daninhas está em concordância com os dados anteriores de controle. Nessa variável, para ambas as espécies, identificou-se interação dos herbicidas com as datas de aplicação (Tabela 5). Em geral, para as aplicações sujeitas à maior restrição hídrica em campo (junho), os herbicidas que proporcionaram maior redução de massa dos bioindicadores foram: imazapic e amicarbazone para pepino; sulfentrazone, imazapic e hexazinone para a comunidade natural de plantas daninhas (Tabela 5).

Tabela 2. Controle percentual da infestação natural de plantas daninhas aos 30 dias após aplicação de herbicidas em campo, realizada nos meses de junho e agosto. Piracicaba, 2008

Herbicidas	Dose (g ha ⁻¹)	Aplicação ⁽¹⁾		
		Junho	Agosto	Média
Amicarbazone	1260,0	100,0	98,5	99,3 A
Clomazone	1250,0	78,5	79,5	79,0 B
Hexazinone	450,0	100,0	99,0	99,5 A
Imazapic	147,0	98,8	99,3	99,0 A
Isoxaflutole	187,5	97,5	96,5	97,0 A
Sulfentrazone	900,0	99,3	98,0	98,6 A
Média		95,7	95,1	- -
$F_{(Herb \times Apl)} = 0,09^{NS}$ $F_{(Herb)} = 54,87^{**}$ $F_{(Apl)} = 0,15^{NS}$ $DMS_{(Herb)} = 5,01$				

⁽¹⁾Aplicações em 3/6/2008 e 1/8/2008 e avaliações em 3/7/2008 e 3/9/2008, respectivamente; Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, com 5% de significância; ^{NS}Não significativo; ^{**}Teste F significativo a 1%.

Tabela 3. Controle percentual de pepino (*Cucumis sativus*) avaliado em 7 de novembro, aos 28 dias após instalação⁽¹⁾, decorrente da aplicação de herbicidas em campo, realizada nos meses de junho e agosto. Piracicaba, 2008

Herbicidas	Dose (g ha ⁻¹)	Aplicação ⁽²⁾		
		Junho	Agosto	Média
Pepino - <i>Cucumis sativus</i>				
Amicarbazone	1260,0	79,3 A b	93,8 A a	86,5
Clomazone	1250,0	3,8 D a	2,5 C a	3,1
Hexazinone	450,0	22,0 BC b	94,3 A a	58,1
Imazapic	147,0	88,0 A a	99,0 A a	93,5
Isoxaflutole	187,5	8,8 CD a	16,8 C a	12,8
Sulfentrazone	900,0	31,3 B b	63,0 B a	47,1
Média		38,8	61,5	- -
$F_{(Herb \times Apl)} = 21,64^{**}$ $DMS_{(Herb)} = 18,16$ $DMS_{(Apl)} = 12,00$				

⁽¹⁾Referente à semeadura das plantas-teste, realizada em 10/10/2008, 130 e 70 dias após primeira e segunda aplicações, respectivamente;

⁽²⁾Aplicações em 3/6/2008 e 1/8/2008; Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; ^{NS}Não significativo; ^{*}Significativo a 5%; ^{**}Significativo a 1%.

Nas condições experimentais, as propriedades físico-químicas do imazapic certamente contribuíram para a elevada eficácia sobre todas as espécies vegetais (Tabelas 3, 4 e 5). Destaca-se que, dentre os herbicidas testados, o imazapic é aquele que possui o menor coeficiente de partição octanol-água - K_{ow} (Christoffoleti *et al.*, 2009a), que é uma medida de afinidade da molécula por substâncias polares ou apolares. Quanto maior o K_{ow} , maior potencial de sorção da molécula à fração orgânica dos colóides do solo (Silva *et al.*, 2007). Trabalhando com imazapic, Carva-

Tabela 4. Controle da infestação natural de plantas daninhas em 3 de novembro e 3 de dezembro, aos 24 e 56 dias após instalação⁽¹⁾ (DAI), respectivamente, decorrente da aplicação de herbicidas em campo, realizada nos meses de junho e agosto. Piracicaba, 2008

Herbicidas	Dose (g ha ⁻¹)	Aplicação ⁽²⁾		
		Junho	Agosto	Média
Controle Plantas Daninhas - 24 DAI - 3/11/2008				
Amicarbazone	1260,0	65,0	73,8	69,4 B
Clomazone	1250,0	31,3	45,0	38,1 C
Hexazinone	450,0	85,5	92,5	89,0 A
Imazapic	147,0	90,3	95,5	92,9 A
Isoxaflutole	187,5	43,8	53,8	48,8 C
Sulfentrazone	900,0	97,0	98,3	97,6 A
Média		68,8 b	76,5 a	--
F _(Herb x Apl) = 1,06 ^{NS} F _(Herb) = 48,78** F _(Apl) = 20,53** DMS _(Herb) = 16,32 DMS _(Apl) = 3,56				
Controle Plantas Daninhas - 56 DAI - 3/12/2008				
Amicarbazone	1260,0	46,3	56,8	51,5 B
Clomazone	1250,0	21,3	23,8	22,5 C
Hexazinone	450,0	61,5	78,0	69,8 AB
Imazapic	147,0	79,0	95,5	87,3 A
Isoxaflutole	187,5	26,3	31,8	29,0 B
Sulfentrazone	900,0	82,8	92,0	87,4 A
Média		52,8 b	62,9 a	--
F _(Herb x Apl) = 1,10 ^{NS} F _(Herb) = 44,79** F _(Apl) = 20,97** DMS _(Herb) = 19,43 DMS _(Apl) = 4,65				

⁽¹⁾Referente à sementeira das plantas-teste, realizada em 10/10/2008, 130 e 70 dias após primeira e segunda aplicações, respectivamente;

⁽²⁾Aplicações em 3/6/2008 e 1/8/2008; Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%); ^{NS}Não significativo; **Significativo a 1%.

Tabela 5. Massa seca de pepino (*Cucumis sativus*) avaliada aos 28 dias após instalação⁽¹⁾ (DAI) e da infestação natural das plantas daninhas, avaliada aos 56 DAI, reduzida pela aplicação de herbicidas em campo realizada nos meses de junho e agosto. Piracicaba, 2008

Herbicidas	Dose (g ha ⁻¹)	Aplicação ⁽²⁾		
		Ausente	Junho	Agosto
Pepino - <i>Cucumis sativus</i> - g parcela ⁻¹				
Amicarbazone	1260,0	39,65 A b	6,58 A a	1,58 A a
Clomazone	1250,0	38,73 A a	43,05 D a	41,9 B a
Hexazinone	450,0	38,08 A c	27,23 BC b	1,78 A a
Imazapic	147,0	38,48 A b	4,85 A a	0,25 A a
Isoxaflutole	187,5	39,92 A a	37,03 CD a	37,63 B a
Sulfentrazone	900,0	39,08 A c	22,05 B b	10,70 B a
F _(Herb x Apl) = 15,84** DMS _(Herb) = 11,46 DMS _(Apl) = 9,31				
Infestação de Plantas Daninhas - g m ²				
Amicarbazone	1260,0	343,75 A a	263,90 B a	250,15 B a
Clomazone	1250,0	405,00 A ab	462,23 C b	343,15 B a
Hexazinone	450,0	335,48 A b	119,43 A a	62,78 A a
Imazapic	147,0	382,13 A b	48,08 A a	4,13 A a
Isoxaflutole	187,5	341,98 A a	260,70 B a	328,05 B a
Sulfentrazone	900,0	344,78 A b	46,4 A a	10,45 A a
F _(Herb x Apl) = 7,64** DMS _(Herb) = 140,70 DMS _(Apl) = 114,33				

⁽¹⁾Referente à sementeira das plantas-teste, realizada em 10/10/2008, 130 e 70 dias após primeira e segunda aplicações, respectivamente;

⁽²⁾Aplicações em 3/6/2008 e 1/8/2008; Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; **Significativo a 1%.

lho *et al.* (2006) também observaram atividade do herbicida no solo após 90 dias de seca. Sabidamente, em condição de solo seco, a atividade microbiana é reduzida e, portanto, a molécula tem maior persistência, visto que esta é a principal via de degradação do produto (Goetz *et al.*, 1990; Renner *et al.*, 1998).

Conforme comentado para o clomazone, a susceptibilidade diferencial das espécies também influenciou o controle obtido pelas aplicações de amicarbazone, resultando em valores satisfatórios para pepino e apenas regulares para a comunidade natural de plantas daninhas (Tabelas 3, 4 e 5). Trata-se de um herbicida com propriedades que permitem sua aplicação em época seca, tais como a elevada solubilidade em água e a baixa pressão de vapor (Cavenaghi *et al.*, 2007). Possui, contudo, segundo classificação apresentada por Vidal (2002), caráter lipofílico, com $\text{LogKow} = 1,2$ (Christoffoleti *et al.*, 2009a), que pode contribuir para sua sorção aos colóides do solo.

O sulfentrazone, por sua vez, possui longa atividade residual no solo, podendo, inclusive, provocar problemas às culturas instaladas em sucessão (Blanco & Velini, 2005). Vivian *et al.* (2006), trabalhando com Argissolo Vermelho-Amarelo, em avaliações sempre superiores a 180 DAA, observaram que a maioria dos resíduos de sulfentrazone foi detectada em profundidade de 0-0,10 m, sendo pouco significativa a lixiviação no solo. Rossi *et al.* (2005) também detectaram baixa mobilidade do sulfentrazone no perfil do solo, permanecendo na camada superficial de um Latossolo Vermelho, independentemente da precipitação. A baixa mobilidade do sulfentrazone, principalmente em solos mais argilosos, aliada à susceptibilidade das espécies daninhas ao produto, auxiliam na compreensão dos resultados favoráveis (Tabelas 4 e 5), mesmo após ocorrência de chuvas (Figura 1).

Tendo em vista as diferentes propriedades físico-químicas das moléculas estudadas, discutem-se as possíveis causas que estiveram relacionadas com o maior ou menor controle identificado. Contudo, poucas conclusões exatas e extrapolações podem ser extraídas. Os processos de sorção das moléculas ao solo são complexos e ainda pouco esclarecidos, sendo influenciados por diversos fatores. Neste sentido, novas pesquisas devem ser desenvolvidas com o intuito de elucidar a resposta diferencial de espécies vegetais a herbicidas, os mecanismos de sorção e comportamento de moléculas em solos agrícolas, bem como os processos que governam a resposta de herbicidas aplicados ao solo em época seca.

CONCLUSÕES

A mesma molécula herbicida possui avaliação diferenciada, em razão da espécie bioindicadora considerada.

Os herbicidas amicarbazone, hexazinone, isoxaflutole e sulfentrazone têm propriedades positivas para aplicação ao solo em época seca, tais como elevada solubilidade, baixo Kow e baixa fotodegradação.

A aplicação de imazapic em pré-emergência tem eficácia consistente em época seca, controlando adequadamente todos os bioindicadores (pepino e comunidade natural de plantas daninhas).

O herbicida clomazone não controlou adequadamente o pepino e a comunidade natural de plantas daninhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azânia CAM, Rolim JC, Casagrande AA, Lavorenti NA & Azania AAPM (2006) Seletividade de herbicidas. III - Aplicação de herbicidas em pós-emergência inicial e tardia da cana-de-açúcar na época da estiagem. *Planta Daninha*, 24:489-495.
- Beltran E, Fener H, Cooper JF & Coste CM (2003) Fate of isoxaflutole in soil under controlled conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:146-151.
- Blanco FMG & Velini ED (2005) Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. *Planta Daninha*, 23:693-700.
- Bouchard DC, Lavy TL & Lawson ER (1985) Mobility and persistence of hexazinone in a forest watershed. *Journal of Environmental Quality*, 14:229-233.
- Carvalho SJP, Nicolai M, López-Ovejero RF, Medeiros D & Christoffoleti PJ (2006) Influência de diferentes períodos de seca sobre a eficácia do herbicida imazapic. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 24:41-43.
- Carvalho SJP, Lombardi BP, Nicolai M, López-Ovejero RF, Christoffoleti PJ & Medeiros D (2005) Curvas de dose-resposta para avaliação do controle de fluxos de emergência de plantas daninhas pelo herbicida imazapic. *Planta Daninha*, 23:535-542.
- Cavenaghi AL, Rossi CVS, Negrisoni E, Costa EAD, Velini ED & Toledo REB (2007) Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). *Planta Daninha*, 25:831-837.
- Christoffoleti PJ, López-Ovejero RF, Damini V, Carvalho SJP & Nicolai M (2009a) Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. *Piracicaba, CP 2*. 72p.
- Christoffoleti PJ, Nicolai M, Cardinal VCB, Carvalho SJP & Cabral SB (2009b) Monitoramento de clomazone em águas de superfície na região canavieira de Piracicaba. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 27:34-37.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (2006) Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa. 306p.
- Frans RE, Talbert R, Marx D & Crowley H (1986) Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: Camper ND (Ed.) *Research methods in weed science*. 3.ed. Champaign, Southern Weed Science Society. p.29-46.
- Goetz AJ, Lavy TL & Gbur EE (1990) Degradation and field persistence of imazethapyr. *Weed Science*, 38:421-428.
- Marchiori Júnior O, Constantin J, Oliveira Júnior RS, Inoue MH & Cavaliere SD (2005) Efeito residual de isoxaflutole após diferentes períodos de seca. *Planta Daninha*, 23:491-499.

- Mitra S, Bhowmilk PC & Xing B (2000) Sorption and desorption of the diketonitrile metabolite of isoxaflutole in soils. *Environmental Pollution*, 108:183-190.
- Monquero PA, Amaral LR, Binha DP, Silva AC & Silva PV (2008a) Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. *Planta Daninha*, 26:403-409.
- Monquero PA, Binha DP, Silva AC, Silva PV & Amaral LR (2008b) Eficiência de herbicidas pré-emergentes após períodos de seca. *Planta Daninha*, 26:185-193.
- Oliveira Júnior RS, Marchiori Júnior O, Constantin J & Inoue MH (2006) Influência do período de restrição hídrica na atividade residual de isoxaflutole no solo. *Planta Daninha*, 24:733-740.
- Procópio SP, Silva AA & Vargas L (2004) Manejo e controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: Vargas L & Roman ES (Eds.). *Manual de manejo e controle de plantas daninhas*. Bento Gonçalves, Embrapa Uva e Vinho. p.397-452.
- Renner KA, Schabenberger O & Kells JJ (1998) Effect of tillage an application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. *Weed Technology*, 12:281-285.
- Rodrigues BN & Almeida FS (2005) *Guia de herbicidas*. 5.ed. Londrina, Edição dos autores. 592p.
- Rossi CVS, Alves PLCA & Marques Júnior J (2005) Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo. *Planta Daninha*, 23:701-710.
- Silva AA, Vivian R & Oliveira Júnior RS (2007) Herbicidas: comportamento no solo. In: Silva AA & Silva JF (Ed.) *Tópicos em manejo de plantas daninhas*. Viçosa, Editora UFV. p.189-248.
- Taylor-Lovell S, Sims GK & Wax LM (2002) Effects of moisture, temperature, and biological activity on the degradation of isoxaflutole in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50:5626-5633.
- UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2010). Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acessado em: 03 de Agosto de 2010.
- Velini ED & Negrisoli ED (2000) Controle de plantas daninhas em cana crua. In: 22 Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Foz do Iguaçu. Anais, Foz do Iguaçu. Anais, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. p.148-164.
- Vidal RA (2002) Ação dos herbicidas. Porto Alegre, Vidal RA. 89p.
- Vivian R, Queiroz MELR, Jakelaitis A, Guimarães AA, Reis MR, Carneiro PM & Silva AA (2007) Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 25:111-124.
- Vivian R, Reis MR, Jakelaitis A, Silva AF, Guimarães AA, Santos JB & Silva AA (2006) Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 24:741-750.