

EFEITOS LETAIS DOS PESTICIDAS AGRÍCOLAS SOBRE POLINIZADORES E PERSPECTIVAS DE MANEJO PARA OS AGROECOSSISTEMAS BRASILEIROS

*José Nunes Pinheiro*¹ & *Breno Magalhães Freitas*^{2,*}

¹ Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias, Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará. Caixa Postal: 12168. Fortaleza, CE, Brasil. CEP: 60021-970.

² Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias, Campus do Pici, Universidade Federal do Ceará. Caixa Postal: 12168. Fortaleza, CE, Brasil. CEP: 60021-970.
E-mails: nunesp12@bol.com.br, freitas@ufc.br

RESUMO

Os polinizadores estão entre os componentes essenciais para o funcionamento dos ecossistemas em geral. Na agricultura, a Biodiversidade Associada às Culturas (CAB) constitui parte importante dos ecossistemas agrícolas, sendo os polinizadores um dos seus componentes principais. No entanto, os pesticidas utilizados na agricultura moderna têm causado impactos muito negativos sobre a diversidade e quantidade de polinizadores em áreas agrícolas e contribuído para baixas produtividades em várias culturas. O presente trabalho revisa as informações disponíveis na literatura a respeito dos efeitos letais de pesticidas agrícolas de uso autorizado no Brasil sobre os polinizadores, discute os diferentes impactos das formulações e uso nos ecossistemas brasileiros e propõe boas práticas de manejo visando minimizar os efeitos negativos e racionalizar o uso dos pesticidas nos ecossistemas agrícolas brasileiros.

Palavras-chave: Abelhas; agrotóxicos; biodiversidade agrícola; manejo para polinização.

ABSTRACT

LETHAL EFFECTS OF AGRICULTURAL PESTICIDES ON POLLINATORS AND PERSPECTIVES OF MANAGEMENT FOR BRAZILIAN AGROSYSTEMS. The pollinators are among the essential components for the functioning of ecosystems in general. In agriculture, Crop Associated Biodiversity (CAB) is an important part of agricultural ecosystems, and the pollinators are one of the main components. However, pesticides used in modern agriculture have caused a very negative impact on the diversity and quantity of pollinators in agricultural areas and contributed to low productivity in several crops. The present paper reviews the available literature about the lethal effects on pollinators of agricultural pesticides authorized for use in Brazil on pollinators, discusses the different impacts of formulations and use in Brazilian ecosystems and suggest best management practices in order to minimize the negative effects and rationalize the use of pesticides in the agricultural ecosystems in Brazil.

Key-words: Bees; pesticides; agricultural biodiversity; management for pollination.

RESUMEN

EFFECTOS LETALES DE LOS PESTICIDAS AGRÍCOLAS SOBRE LOS POLINIZADORES Y PERSPECTIVAS DE MANEJO PARA LOS AGROECOSSISTEMAS BRASILEÑOS. Los polinizadores se consideran entre los componentes esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas en general. En agricultura, la Biodiversidad Asociada a los Cultivos (CAB) constituye una parte importante de los ecosistemas agrícolas, siendo los polinizadores uno de sus componentes principales. Sin embargo, los pesticidas utilizados en la agricultura moderna han causado impactos muy negativos sobre la diversidad y cantidad de polinizadores en áreas agrícolas y han contribuido para llegar a bajas productividades en varios cultivos. Este trabajo revisa la información disponible en la literatura sobre los efectos letales de pesticidas agrícolas de uso autorizado en

Brasil sobre los polinizadores, discute los diferentes impactos de las formulaciones y uso en los ecosistemas brasileños, y propone buenas prácticas de manejo pretendiendo minimizar los efectos negativos y racionalizar el uso de los pesticidas en los ecosistemas agrícolas brasileños.

Palabras clave: Abejas, agrotóxicos, biodiversidad agrícola, manejo para polinización.

INTRODUÇÃO

Os polinizadores estão entre os componentes essenciais para o funcionamento dos ecossistemas em geral (Constanza *et al.* 1997). Na agricultura, a Biodiversidade Associada às Culturas (CAB) constitui parte importante dos ecossistemas agrícolas, sendo os polinizadores um dos seus componentes principais (Daily 1997, Palmer *et al.* 2004). O conceito de Biodiversidade Associada às Culturas (CAB) refere-se à biodiversidade que dá suporte ao funcionamento dos serviços dos ecossistemas, contribuindo para a sua manutenção e recuperação (FAO 2004). A polinização é essencial para a reprodução e manutenção da diversidade de espécies de plantas e provê alimentos para humanos e animais, influenciando, também, o aspecto qualitativo da produção (Buchmann & Nabhan 1996). Cerca de 75% das culturas e 80% das espécies de plantas dotadas de flores dependem da polinização animal (Kevan & Imperatriz-Fonseca 2002, Ricketts *et al.* 2008), sendo os principais polinizadores as abelhas. Referente a isto, aproximadamente 73% das espécies agrícolas cultivadas no mundo é polinizada por espécies de abelhas, enquanto que as moscas são responsáveis por 19%, os morcegos por 6,5%, as vespas por 5%, os besouros por 5%, os pássaros por 4% e as borboletas e mariposas por 4% (FAO 2004).

Atualmente, a densidade populacional de muitos polinizadores está sendo reduzida a níveis que podem sustentar os serviços de polinização nos ecossistemas naturais e agrícolas e a manutenção da capacidade reprodutiva de plantas silvestres (Kremen 2004). Para se ter uma maior compreensão da importância dos serviços prestados pelos polinizadores, Prescott-Allen & Prescott-Allen (1990) enfatizam benefícios econômicos para agricultura dos Estados Unidos, devido à ação de abelhas nativas solitárias não produtoras de mel, da ordem de US\$ 4,1 bilhões/ano, enquanto que a contribuição para a agricultura mundial, considerando-se as culturas dependentes de polinizadores, excederia os US\$ 54 bilhões (Constanza *et al.* 1997, Dias *et al.* 1999). No Brasil,

apenas oito culturas dependentes de polinizadores são responsáveis por US\$ 9,3 bilhões em exportações (Freitas & Imperatriz-Fonseca 2004, 2005).

Dentre as várias causas responsáveis pelo declínio de polinizadores nas áreas agrícolas, pode-se destacar o desmatamento de áreas com vegetação nativa para a implantação e/ou expansão de cidades (hiperurbanização) ou áreas agrícolas, e o inadequado uso de práticas de cultivo, como a utilização abusiva de pesticidas, principalmente nas extensas áreas de monocultivo (Altieri & Masera 1998, Fletcher & Barnett 2003, Freitas *et al.* 2009). Áreas cobertas com vegetação nativa apresentam, em geral, um número considerável de espécies de plantas que servem como fonte de néctar e pólen para insetos polinizadores, por meio de florescimento contínuo ou complementar, ao longo do ano, sendo também usadas para descanso, nidificação e reprodução (Freitas 1991, 1995a). A substituição destas áreas por monoculturas, que normalmente florescem por um curto período de tempo, leva a uma severa redução no número e diversidade de polinizadores (Osborne *et al.* 1991, Kremen *et al.* 2002, Larsen *et al.* 2005). Os inseticidas, principalmente aqueles de ação neurotóxica, amplificam aquele efeito, e os herbicidas e as capinas (manuais e mecanizadas) reduzem os locais de nidificação e o número de flores silvestres, fornecidos por plantas consideradas daninhas, pela destruição de áreas e/ou faixas naturais e artificiais, como, por exemplo, estações de refúgio e vegetação existente nas entrelinhas de culturas frutíferas, principalmente (Subba Reddi & Reddi 1984a, Osborne *et al.* 1991, Free 1993). Tudo isto contribui para a perda de biodiversidade e serviços de polinização na área, pois as espécies remanescentes não conseguem compensar a perda de polinização resultante do desaparecimento das demais espécies (Kremen 2004). Alguns fungicidas podem, também, ter um grande impacto sobre os polinizadores, por reduzirem o número de visita às flores das culturas, ao exercerem ação repelente (Solomon & Hooker 1989) ou reduzirem a viabilidade do pólen, decorrentes

de aberrações cromossômicas induzidas durante a meiose (Grant 1982). Deste modo, hoje, níveis de polinização insatisfatórios são um dos principais problemas que limitam a produtividade das culturas, particularmente daquelas que dependem de agentes polinizadores (Subba Reddi & Reddi 1984b, Freitas 1995a).

Por outro lado, a agricultura comercial de larga escala, tal como vem sendo praticada atualmente, em grandes áreas e onde predominam os monocultivos, não pode prescindir do uso de pesticidas, em virtude do desequilíbrio causado ao ecossistema (Santos 1998, ECPA 2008). O ideal, então, é que as práticas de cultivo a serem adotadas permitam o benefício simultâneo da ação dos inimigos naturais e dos agentes polinizadores, bem como da ação dos pesticidas sobre as pragas e patógenos. O desenvolvimento de práticas de manejo eficazes não é uma tarefa fácil, requerendo, portanto, o conhecimento da biofenologia da cultura instalada e das plantas daninhas, da bioecologia das pragas e dos agentes benéficos, principalmente dos polinizadores, das moléculas dos pesticidas utilizados e da ação que os fatores ambientais exercem sobre estes, o que requer a interferência de uma equipe multidisciplinar para a elaboração de um plano adequado de manejo, voltado para um ecossistema específico (Freitas 1998, Malaspina & Silva-Zacarin 2006, Riedl *et al.* 2006).

No Brasil, a questão dos defensivos agrícolas é preocupante. Somente no período de 40 anos entre 1964 e 2004 o consumo de agrotóxicos no país aumentou 700% (Spadotto *et al.* 2004). Concomitantemente, vários relatos sobre mortalidade de abelhas, presumivelmente devido a contaminações pelo uso inadequado de pesticidas, tem ocorrido recentemente no país (Malaspina & Souza 2008, Malaspina *et al.* 2008, Pinto & Miguel 2008). No entanto, na grande maioria dos casos não houve análises de amostras para comprovação das suspeitas e a literatura brasileira a respeito é praticamente inexistente. A falta de informações a respeito dos efeitos dos pesticidas sobre os polinizadores da agricultura nacional pode constituir um dos principais obstáculos para os esforços atuais em busca do uso sustentável de polinizadores em nossas áreas agrícolas.

O objetivo deste trabalho é, portanto, através da coletânea de dados disponíveis na literatura, apresentar as doses letais (DL_{50}) dos defensivos agrícolas de uso

autorizado no Brasil sobre os agentes polinizadores, particularmente abelhas, na perspectiva de se interpretar e correlacionar os resultados obtidos sob condições de testes de laboratório, de semi-campo e campo às condições de agroecossistemas brasileiros específicos e definir estratégias de manejo visando otimizar o benefício simultâneo dos pesticidas e polinizadores para as culturas.

FATORES QUE CONTRIBUEM PARA O ENVENENAMENTO E TÉCNICAS DE MANEJO PARA REDUZIR O IMPACTO DOS DEFENSIVOS AGRÍCOLAS SOBRE AS ABELHAS

Pouca atenção vem sendo devotada ao impacto negativo dos defensivos agrícolas sobre os agentes polinizadores, principalmente em áreas cultivadas. A literatura brasileira é omissa a este respeito, sendo os trabalhos com pesticidas abordando sua eficiência no controle de pestes ou, mais recentemente, em técnicas e práticas menos agressivas ao meio ambiente, mas sem investigações específicas relacionadas aos polinizadores. A literatura internacional, por sua vez, também não é muito diferente, embora já traga bem mais informações mesmo que espalhadas e de difícil compilação. No entanto, Atkins *et al.* (1981) apresentaram as doses letais (DL_{50}) para *Apis mellifera* de vários defensivos agrícolas, muitos dos quais de uso autorizado no Brasil, e Johansen & Mayer (1990) e Riedl *et al.* (2006) produziram excelentes e abrangentes trabalhos mostrando o impacto dos defensivos agrícolas sobre os principais agentes polinizadores, as abelhas, tendo estes trabalhos servido de base para o que se apresenta aqui.

TAMANHO DAS ÁREAS E ATRATIVIDADE DA CULTURA

A densidade e a atratividade das flores de plantas em pleno florescimento, contaminadas pela aplicação de determinados pesticidas, é a principal causa de mortalidade dos polinizadores (efeito agudo), porém baixos níveis de doses e/ou baixa frequência de aplicação podem afetar o comportamento das abelhas forrageiras e reduzir o vigor da colônia (efeitos sub-letais) (Bortolotti *et al.* 2003, Freitas & Pinheiro 2010). Isto inclui as flores das plantas da cultura-alvo,

para a qual se está usando um determinado pesticida com um fim específico (controle de pragas, doenças ou ervas), outras espécies de plantas dentro da área (ervas daninhas) e das plantas que estão próximas à área com a cultura-alvo, que podem ser contaminadas pela deriva dos produtos pela ação de correntes de vento. De um modo geral, quanto maior a densidade e a atratividade das flores abertas contaminadas pelo defensivo, no pleno florescimento, maior a visitação pelas abelhas e maior a contaminação destas também (Riedl *et al.* 2006).

Segundo Free (1993), o tamanho da área pulverizada, num único lapso de tempo, também exerce grande influência na dimensão do nível de contaminação. Johansen & Mayer (1990) constataram que numa área de 80ha de macieira tratada com um inseticida considerado como de alto risco, a mortalidade foi acentuada e significativamente maior que numa área de 0,8ha. Este aspecto sugere que, no Brasil, em extensas áreas com monoculturas, tais como soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*), algodão (*Gossypium* spp.) e cana de açúcar (*Sacharum officinarum*), por exemplo, onde as áreas são pulverizadas, em geral, num único lapso de tempo, o impacto sobre as abelhas deve ser bem mais acentuado

e significativo que em áreas de menor extensão, onde são cultivadas hortaliças e fruteiras, por exemplo, que utilizam mais a mão-de-obra familiar, razão pela qual, devido ao ritmo mais lento, não se pode pulverizá-las na sua plenitude, num único período de tempo. Deste modo, nestas áreas é mais fácil implantar programas de manejo para aplicação racional de pesticidas, visando a redução do impacto negativo sobre as abelhas.

A contaminação das abelhas por pesticidas dá-se, geralmente, quando da ocasião da coleta de néctar e pólen e pode atingir em maior ou menor extensão a colônia (Jay 1986). Por este motivo, não se deve pulverizar a cultura-alvo com pesticidas de longo efeito residual. Johansen & Mayer (1990) elaboraram, com base no tempo residual (RT) dos pesticidas, um guia prático para garantir segurança nas aplicações para as abelhas, sem comprometer a eficácia contra as pragas, doenças e ervas daninhas na cultura-alvo. Este parâmetro foi obtido pelos autores em experimentos conduzidos sob condições de semi-campo e campo e refere-se ao tempo de degradação residual do pesticida que causa até 25% (RT₂₅) ou 40% (RT₄₀) na mortalidade de abelhas expostas a dieta artificial com doses pré-estabelecidas do pesticida. A Tabela 1 mostra as RT₂₅ e RT₄₀ dos principais inseticidas

Tabela 1. Efeitos tóxicos letais de pesticidas de amplo uso no Brasil, em várias formulações, sobre algumas espécies de abelhas e recomendações para boas práticas de manejo. Fonte: Adaptado de Johansen & Mayer (1990) e Riedl *et al.* (2006).

Table 1. Lethal toxic effects of pesticides widely used in Brazil, in various formulations, on some species of bees and recommendations for best management practices. Source: Adapted from Johansen & Mayer (1990) and Riedl *et al.* (2006).

PRODUTO	FORMULAÇÃO	DOSE	DL ₅₀		RT ₂₅ , RT ₄₀ (Dias)			RECOMENDAÇÕES
		(kg i.a/ha)	µg/abelha	ppm	<i>Apis mellifera</i>	Abelha alkali	<i>M. rotundata</i>	
Acefato	PS	0,56	1,2	9,4	1,5 d	3,1 d	3,1 d	Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas.
	S	0,56			1,0 d	1,5 d	1,5 d	
	PS, S	1,12			> 3 d	> 3 d	> 3 d	
Azocyclotin	PM	0,84	NA	NA	< 2 h	NA	NA	Essencialmente não tóxico para <i>Apis mellifera</i> .
	PM	0,56			< 2 h	NA	NA	
	PM	0,28			< 2h	NA		
<i>Bacillus thuringiensis</i>	PM, SC	1,12	NA	NA	< 2 h	< 2 h	< 2 h	Essencialmente não tóxico para <i>Apis mellifera</i> .
Carbaril	PM	2,24	1,5	12	7-12 d	NA	NA	Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas. Formulação granulada ou isca são essencialmente não tóxicas para <i>Apis mellifera</i> .
	PM	1,12			3-7 d	3-7 d	3-7 d	
	PM	0,56			16-20 h	NA	NA	
	P	2,24			3-14 d	NA	NA	
	G	2,24			< 2h	NA	NA	

Continuação da Tabela 1. Continuation of Table I.

Carbofuran	SC	1,12	0,15	1,16	7->14 d	7->14d	7->14 d	Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas. A formulação granulada, na dose recomendada, oferece pouco risco para abelhas.
	SC	0,56			> 1 d	NA	NA	
	G	2,24			< 2 h	< 2 h	< 2 h	
Clorpirifós	CE	1,12	0,11	0,86	5,5-6 d	5,5-6 d	6-7 d	Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas. O risco é menor quando usado na menor dose, em zonas áridas ou semi-áridas.
	CE	0,56			3-4 d	2,5-3 d	5,5-6 d	
	CE	0,28			9-18 h	12-21 h	1,5-2 d	
	CE	0,056			5-8 h	NA	NA	
Cipermetrina	CE	0,084	NA	NA	> 3 d	NA	> 3 d	Pouco ou não perigoso se aplicado no adiantado crepúsculo, noite ou cedo da manhã, na menor dose.
		0,028			< 2 h		< 2 h	
Dicofol	CE	1,12	NA	NA	< 2 h	> 2 h	< 2 h	Essencialmente não tóxico para abelhas.
Diflubenzuron	NA	0,14	NA	NA	< 2-6 h	< 2-6 h	< 2-6 h	Não perigoso para cria de <i>Apis mellifera</i> até 0,28 kg i.a/há.
Dimetoato	CE	0,56	0,19	1,49	0,4->3 d	2->3d	≥ 3 d	Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas. Mesmo sob baixas doses, pode causar grande mortalidade em abelhas. Formulação granulada apresenta alto risco para <i>Megachile rotundata</i> . Tem ação repelente.
	CE	0,28			< 2 - 4 h	NA	< 2h	
	CE	0,14			< 2h	NA	< 2h	
	G	11,2			NA	NA	9-14,5 d	
	PM	0,56			> 1 d	NA	NA	
Dissulfoton	CE	0,56	6,12	47,8	< 2 h	< 2 h	13,6 h	Aplicarem adiantado crepúsculo, noite ou cedo da manhã. A formulação granulada não é perigosa para abelhas.
	CE	1,12			7,4 h	< 2 - 3 h	16-22 h	
	G	1,12			< 2h	< 2 h	< 2h	
Endosulfan	CE	0,56	7,8	61,0	< 2-3 h	< 2 - 5 h	1,4-3 d	Moderadamente tóxico para <i>Apis mellifera</i> , pode ser usado com razoável segurança quando aplicado no adiantado crepúsculo, noite ou cedo da manhã.
	CE	1,12			5,3 h	8 h	> 1 d	
	CE	1,68			7,5	14 h	> 1 d	
	P	1,12			11-24 h	> 1 d	> 1 d	
Fembutatin óxido	PM	0,14-0,56	NA	NA	< 2 h	NA	NA	Essencialmente não tóxico para <i>Apis mellifera</i> .
Metamidofós	S	0,56	1,37	10,7	6 h	18 h	2 d	Altamente tóxico para abelhas. Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas.
	CE	0,56			4 h	13 h	1 d	
	S	1,12			8-24 h	1-5 d	1-5 d	
	CE	1,12			5-16 h	1-3 d	1,0-> 5 d	

Continuação da Tabela 1. Continuation of Table I.

Paratiom metil	CE	0,56	0,11	0,86	< 1-3 d	17-21 h	> 3 d	Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas. A formulação microencapsulada é muito perigosa para abelhas.
	CE	1,12			> 3 d	NA	> 5 d	
	ME	0,56	0,24	1,88	> 4 d	NA	> 6 d	
	ME	1,12			> 7 d	NA	8 d	
Metomil	PS	0,50	1,29	10,08	2 h	5-8 h	6-15 h	A melhor época para aplicação depende do tipo de abelha visitante à cultura e da formulação. Menores doses, quando cabível, devem ser usadas para o controle de pragas. A formulação pó seco é mais perigosa. Tem ação repelente e toxicidade pode ocorrer pela contaminação do néctar.
	S	0,50			< 2 h	2-4 h	2-6 h	
	PS	1,01			6 h	1 d	1 d	
	S	1,01			3 h	9 h	9 h	
	PS	0,25			< 2 h	2 h	2 h	
	S	0,25			< 2 h	< 2 h	< 2 h	
	P	0,50			> 1 d	NA	NA	
	P	1,12			> 1 d	> 1 d	> 1 d	
Monocrotofós	S	0,45	0,36	2,79	> 1 d	NA	NA	Altamente tóxico para abelhas. Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas.
	S	0,56			> 1 d	> 1 d	> 1 d	
	S	0,67			> 2 d	NA	NA	
	S	0,89			> 2 d	NA	NA	
Permetrina	CE	0,22	0,16	1,24	> 3 d	1,5-2 d	> 3 d	Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas. A aplicação é segura para abelhas em zonas áridas, devido à ação de repelência, mas oferece maior risco em áreas úmidas.
	CE	0,11			0,5-2 d	1-2 d	0,5-3 d	
	CE	0,06			18-22 h	8h-> 1d	NA	
F o r a t o (Phorate)	CE	1,12	10,25	80,08	5 h	NA	NA	Aplicar em adiantado crepúsculo, noite ou cedo da manhã. A formulação granulada não oferece risco para abelhas.
	G	2,24			< 2 h	< 2 h	< 2 h	
Pirimicarb	PM	1,12	NA	NA	< 2 h	NA	NA	Relativamente não tóxico para abelhas.
	PM	0,56			< 2 h	< 2 h	< 2 h	
	PM	0,28			< 2 h	< 2 h	< 2 h	
	CE	0,28			< 2 h	< 2 h	< 2 h	
	CE	0,56			< 2 h	< 2 h	< 2 h	
Profenofós	CE	1,12	3,46	27,03	<2 - 9h	1-2 d	1-2 d	Não aplicar no pleno florescimento das culturas ou ervas. Moderadamente tóxico para <i>Apis mellifera</i> , mas altamente tóxico para as duas outras espécies do quadro.
Propargite	CE	1,68-2,24	NA	NA	< 2 h	< 2 h	< 2 h	Relativamente não tóxico para abelhas.

Continuação da Tabela 1. Continuation of Table I.

Enxofre	P	3,36	NA	NA	< 2 h	NA	NA	Apresenta baixo risco para abelhas.
	PM	3,36			< 2 h	NA	NA	
Tetradifon	CE	0,84	NA	NA	< 2 h	< 2 h	< 2-<3 h	Essencialmente não tóxico para abelhas.
Tiodicarb	SC	1,12	7,08	55,3	< 2 h	NA	< 2 - 8 h	Apresenta baixo risco para <i>Apis mellifera</i> e baixo a moderado risco para <i>Megachile rotundata</i> .
	SC	0,84			< 2 h	NA	NA	
	SC	0,56			< 2 h	NA	< 2 h	
	PM	0,28			< 2 h	< 2 h	< 2 h	
	PM	0,56			< 2 h	2 h	2 h	

*Ingrediente ativo (i.a), Pó molhável (PM), suspensão concentrada (SC), concentrado emulsionável (CE), pó solúvel (PS), Solução (S), Granulada (G), microencapsulada (ME), pó seco (P), Não aplicável (NA).

usados no mundo, inclusive no Brasil. Seguindo este critério, pulverizações com inseticidas de RT_{25} de 2 horas ou menos oferecem mínimo risco para as abelhas, desde que não aplicados quando elas estejam em forrageamento intensivo, enquanto que para inseticidas com RT_{25} de até 8 horas, o ideal é que as aplicações sejam feitas durante o crepúsculo, no caso de regiões com amplitudes na variação do fotoperíodo em função da estação, ou à noite. Os inseticidas que têm RT_{25} maior que 8 horas não oferecem segurança, podendo afetar drasticamente a atividade de forrageamento das abelhas operárias, pelo que nunca devem ser aplicados sobre a cultura-alvo em pleno florescimento, mas bem antes desta fase.

EFEITO DOS FATORES AMBIENTAIS NA TOXICIDADE DOS DEFENSIVOS AGRÍCOLAS

O potencial de toxicidade para um mesmo ingrediente ativo pode variar, em função de fatores ambientais, particularmente a umidade relativa e a temperatura do ar. Pesticidas aplicados durante períodos frios oferecem um maior risco residual. Johansen & Mayer (1990) constataram que o risco residual do inseticida carbofuran pode variar de uma a duas semanas quando aplicado sob condições de baixas temperaturas e que a toxicidade residual de clorpirifós foi cerca de duas vezes maior quando pulverizado a 10°C que quando sob condições de variáveis temperaturas do dia e da noite (13 e 7 dias, respectivamente). Para o inseticida acefato, este efeito foi ainda mais pronunciado, quando, a 10°C, a sua toxicidade residual foi 18 vezes mais acentuada que quando pulverizado com temperaturas na faixa de 18 a 35°C. Assim, um inseticida que oferece relativa

segurança para abelhas pode tornar-se muito tóxico, dependendo da temperatura do ar prevalecente durante um período específico. Para inseticidas que têm efeito fumigante, tais como malatim e methomyl, regiões de temperaturas mais elevadas e com menor umidade relativa do ar, como o semi-árido brasileiro, reduzem o efeito residual e o risco, desde que aplicados durante adiantado crepúsculo ou madrugada, antes das abelhas começarem a atividade de forrageamento. Efeitos imediatos de inseticidas em abelhas podem ser mais evidentes sob condições de altas temperaturas, devido ao seu menor efeito residual, em função da mais rápida quebra do ingrediente ativo tóxico devido à ação da luz, temperatura e do metabolismo da planta, elevados em regiões de baixa latitude (Rield *et al.* 2006). Entretanto, para o endossulfan, um inseticida amplamente utilizado no Brasil nas culturas da soja, algodão e café (*Coffea arabica*) (Tabela 2), a toxicidade aumenta com o incremento da temperatura, embora isto não seja uma medida da toxicidade residual. Este aspecto pode estar associado com a estabilidade do ingrediente ativo e/ou dos seus metabólitos, após a quebra ou *breakdown* (Johansen & Mayer 1990).

A temperatura tem influência não somente sobre o pesticida, mas também sobre a atividade das abelhas. Abelhas melíferas (*Apis mellifera*) usualmente não deixam a colméia para forragear com temperaturas diurnas abaixo de 10°C, o vôo pleno não ocorre até 13°C, e, durante a noite, nenhum forrageamento ocorre sob aquela temperatura (Winston 1987). Para temperaturas noturnas mais elevadas, igual ou acima de 21°C, que induzem as abelhas de colônias muito populosas a se aglomerarem à entrada da colméia, a fim de reduzir a temperatura interna das mesmas, a

Tabela 2. Inseticidas e formulações registradas para uso agrícola no Brasil mais usados pelos agricultores. Fonte: Brasil (2009).
Table 2. Insecticides and formulations registered for agricultural use in Brazil commonly used by farmers. Source: Brazil (2009).

INGREDIENTE ATIVO	FORMULAÇÃO*	CULTURAS
Acefato	OS	Algodão, citros, fumo, soja, tomate, feijão, couve-flor, amendoim, batata, crisântemo, pimentão, roseira, citros, ornamentais, brócolis, couve, repolho, Soja; Tratamento de sementes: algodão.
Aldicarb	G	Citros, café, batata, algodão, feijão, cana.
Betaciflutrina	SC	Algodão, soja, café, tomate, trigo, arroz, abacaxi, alface, alho, amendoim, batata, berinjela, mandioca, milho, couve, feijão, fumo.
	CE	Algodão, alho, batata, café, cebola, citros, couve, feijão, milho, soja, tomate, trigo.
Carbaril	SC	Abacaxi, algodão, citros, fumo, vagem, ervilha, milho, soja, batata, arroz, amendoim, banana, beterraba, cenoura.
Carbofuran	PM	Cana, fumo.
	G	Batata, cenoura, tomate, café, arroz, cana, milho, fumo, banana, algodão, amendoim, trigo, feijão, repolho.
	SC	Aplicações foliares: batata, cana, café, feijão, fumo, tomate, trigo, arroz, algodão, milho, amendoim, banana.
	SC	Tratamento de sementes ou mudas: arroz, algodão, milho, feijão, banana.
Cipermetrina	CE	Soja, algodão, café, tomate, milho, arroz, cebola, tomate, fumo.
Deltametrina	SC	Algodão.
	CE	Algodão, alho, batata, café, cebola, batata, tomate, fumo, soja, milho, abacaxi, ameixa, amendoim, arroz, cacau, caju, citros, couve, couve-flor, brócolis, repolho, feijão, figo, maçã, melão, melancia, gladiolo, pastagem, pepino, pêssego, seringueira, sorgo, pimentão, berinjela, trigo, vagem.
Diblubenzuron	PM	Soja, algodão, milho, tomate, trigo, citros.
Dimetoato	CE	Algodão, amendoim, batata, cebola, alho, café, citros, feijão, melancia, melão, soja, tomate, berinjela, pimentão, trigo, maçã, pêssego, pêra, ornamentais, roseira.
Dissulfoton + Triadimenol	G	Café.
Endosulfan	CE	Café, soja, algodão, cacau, cana.
Esfenvalerato	SC	Algodão, soja
	CE	Algodão, arroz, café, feijão, fumo, milho, roseira, soja, tomate, trigo.
Fentiom	CE	Café, citros, abóbora, melancia, melão, pepino, algodão, ameixa, manga, nêspera, caqui, fumo, goiaba, maçã, marmelo, pêra, maracujá, nogueira, pecã, uva, pêssego; uso agrícola: cupim de montículo.
Fipronil	SC	Aplicações foliares: algodão, arroz, milho, soja, trigo.
	SC	Tratamento de sementes: arroz, soja.
	GDA	Cana, batata, algodão, milho.
	Isca	Uso agrícola e florestal: formigas

Continuação da Tabela 2. Continuation of Table II.

Imidaclopride	S	Algodão, citros, alho, batata, cebola, crisântemo, feijão, gerbera, arroz, poinsetia, tomate.
	GDA	Abacaxi, abóbora, abobrinha, melancia, alface, almeirão, chicória, alho, algodão, batata, berinjela, jiló, brócolis, couve, couve-flor, repolho, cana, cebola, crisântemo, feijão, poinsetia, fumo, gerbera, melão, pimentão, pepino, café, uva.
	PM	Tratamento de sementes: algodão, arroz, feijão, milho, trigo.
Metamidofós	S	Feijão, soja, algodão, amendoim, batata, brócolis, couve, repolho, trigo, pimentão, tomate, couve-flor, fumo.
	S	Algodão, amendoim, batata, brócolis, couve, couve-flor, repolho, feijão, pimentão, soja, tomate, repolho.
	CE	Algodão, soja, feijão, amendoim, batata, tomate.
Metomil	S	Algodão, soja, tomate, trigo, batata, couve, repolho, brócolis, milho.
Monocrotofós	CE	Algodão, amendoim, feijão, melancia, milho, soja.
	S	Soja, algodão, feijão, trigo, amendoim, batata.
Paratiom metil	CE	Algodão, batata, café, citros, feijão, fumo, milho, soja, tomate, trigo, uva, roseira, abacate, abacaxi, alface, almeirão, chicória, alho, cebola, arroz, amendoim, berinjela, pimentão, brócolis, couve-flor, repolho, caju, caqui, cravo, figo, gladiolo, goiaba, maçã, pêra, manga, pêssego.
	S	Algodão, batata, feijão, milho, soja.
Permetrina	SC	Soja, trigo.
	CE	Soja, milho, tomate, algodão, trigo, arroz, café, fumo, couve, repolho, couve-flor; grãos armazenados: milho, trigo, arroz.
Forato (Phorate)	G	Algodão, batata, café, feijão, milho.
Piriproxifen	CE	Citros, tomate, feijão.
Teflubenzuron	SC	Soja, tomate, café, algodão.

*Pó molhável (PM), suspensão concentrada (SC), concentrado emulsionável (CE), pó solúvel (PS), Solução (S), Granulada (G), grânulos dispersíveis em água (GDA).

deriva de inseticidas aplicado naquele horário pode causar severas baixas (Free 1993). Isto pode ocorrer com frequência em grandes regiões produtoras de melão (*Cucumis melo*) do Nordeste brasileiro, de baixa latitude, onde os agricultores fazem aplicações noturnas com produtos de maior toxicidade (Tabelas 1 e 2), visando reduzir o impacto sobre as colônias de *A. mellifera*, usadas para polinização da cultura. Nas regiões Sudeste e Sul, principalmente, onde as temperaturas são bem mais baixas em determinadas épocas do ano, especial atenção deve ser dada para aplicações de pesticidas na cultura da maçã (*Malus domestica*), onde se usa o inseticida piretróide deltametrina (Tabela 2) e captan (ver Freitas & Pinheiro

2010), um fungicida que tem grande impacto sobre *A. mellifera* (Solomon & Hooker 1989) e abelhas do gênero *Osmia* (Rield *et al.* 2006).

PERÍODOS DO DIA MAIS ADEQUADOS PARA EFETUAR PULVERIZAÇÕES

Devem-se evitar pulverizações diurnas com inseticidas considerados como de alto risco para as abelhas em culturas-alvo em pleno florescimento, fase mais atrativa, quando as abelhas estão em intensa atividade de forrageamento. O ideal é que as aplicações sejam feitas à noite, muito cedo da manhã ou adiantado crepúsculo, quando as abelhas

não estiverem forrageando (Jay 1986). Períodos do dia que conferem segurança para aplicações diurnas realmente existem e variam de acordo com regiões geográficas. Johansen & Mayer (1990) salientam que, para um mesmo período de tempo do dia, uma maior taxa de visita das abelhas às flores ocorre sob condições de temperaturas mais amenas. Por isso, é de extrema importância que se conheça o período de tempo que cada cultura, em regiões específicas, permanece com suas flores abertas, com definição dos picos para coleta de pólen e néctar (Freitas 1995b, Pedrosa 1997, Freitas & Pereira 2004), a fim de se evitar aplicações de pesticidas com aquelas características nesse período crítico de visita das abelhas. De um modo geral, pode-se classificar como seguras as aplicações feitas em adiantado crepúsculo/noite, de nível intermediário aquelas realizadas da meia noite ao raiar do sol e perigosas as pulverizações feitas logo cedo da manhã (Rield *et al.* 2006).

SELETIVIDADE E FORMULAÇÃO DOS DEFENSIVOS AGRÍCOLAS

A toxicidade é condicionada, também, pela seletividade dos pesticidas e pela formulação. A seletividade é inerente ao próprio ingrediente ativo, devido a particularidades físico-químicas da molécula, que facilita uma ação diferenciada no inseto, doença ou planta daninha-alvos e nos insetos considerados benéficos, particularmente as abelhas. Neste sentido, o pesticida com seletividade ideal é aquele que não oferece riscos às abelhas e atinge aqueles alvos de modo eficaz. Johansen & Mayer (1990) e Rield *et al.* (2006) sugerem, com base em experimentos de laboratório, semi-campo e campo, critérios para classificação de risco de diversas formulações para abelhas e definiram, por ordem de maior para o menor risco: formulações pó seco (PS) > pó molhável (PM) > suspensão concentrada (SC) > concentrado emulsionável (CE) > pó solúvel (PS) > Solução (S) > Granulada (G). A diferença de toxicidade está relacionada à forma como o ingrediente ativo é captado pelos pêlos ramificados e outros pêlos adaptados para a coleta de pólen, distribuídos pelos corpos das abelhas. De um modo geral, as formulações em pó quando são aplicadas na folhagem propiciam uma maior quantidade do ingrediente ativo após as pulverizações. Para se ter

uma idéia da magnitude deste aspecto, formulações pó molhável são seis vezes mais perigosas para abelhas que as líquidas. No entanto, as formulações microencapsuladas, uma recente inovação, são as que oferecem o maior risco para as abelhas, por liberarem gradativamente os ingredientes ativos das cápsulas plásticas. Ademais, as microcápsulas têm o mesmo tamanho dos grãos de pólen (30-50 μ), o que facilita a fixação no corpo das abelhas e a incorporação nas cargas de pólen, que são levados para a colônia, para alimentação das crias e de novas abelhas. Johansen & Mayer (1990) constataram que a formulação microencapsulada de paratiom metílico é muito mais tóxica que a formulação concentrado emulsionável (EC), quando suprimiu o ciclo de crias devido ao seu efeito residual de uma estação para outra, similar ao efeito do carbaril em pó seco, aplicado em campos de milho nos EUA.

DISTÂNCIA DAS COLÔNIAS DA ÁREA PULVERIZADA

A distância das colônias para os campos tratados é inversamente proporcional aos efeitos letais e sub-letais observados nas abelhas. Johansen & Mayer (1990) constataram que em áreas agrícolas com diversidade de culturas, em diferentes estágios de pleno florescimento, os danos para colônias localizadas a 375m ou mais não são significativos. Por outro lado, quando a cultura-alvo é a única em pleno florescimento na área tratada, a atratividade exercida pelas suas flores sobrepuja até mesmo grandes distâncias, em torno de até 4,5 ou 6km. Estas considerações conduzem ao fato de que a perda de alternativa de plantas forrageiras como fonte de néctar e pólen pode agravar o efeito dos pesticidas sobre as abelhas. Deste modo, até mesmo inseticidas considerados como de alto risco para as abelhas, tais como carbaril, monocrotofós, metamidofós, clorpirifós, deltametrina e cipermetrina, de amplo uso nas culturas brasileiras (Tabela 2), podem oferecer pouco risco, desde que na área agrícola exista grande disponibilidade e diversidade de pólen e néctar (Sousa 2003). Uma outra alternativa é o suprimento artificial de pólen e água, a fim de reduzir o impacto dos pesticidas sobre a atividade de forrageamento de *A. mellifera* (Johansen & Mayer 1990). Esta prática pode, perfeitamente, ser usada em campos de melão,

melancia (*Citrullus lanatus*), maracujá (*Passiflora edulis*) e caju (*Anacardium occidentale*), por exemplo, culturas que dependem essencialmente das abelhas para aumentar a produtividade e qualidade da colheita, durante a aplicação de inseticidas pertencentes àquela classe de risco (Tabelas 1 e 2).

EFEITO DA IDADE E DO PORTE DA ABELHA NA SUSCEPTIBILIDADE A DEFENSIVOS AGRÍCOLAS

A idade e o tamanho das abelhas expostas afeta sua tolerância ao pesticida aspergido sobre as culturas-alvo, dependendo da especificidade do composto. De um modo geral, abelhas mais jovens são mais sensíveis, devido à menor quantidade de enzimas detoxificadoras (Smirle 1993). Entretanto, Johansen & Mayer (1990) constataram que abelhas recém-emergidas são mais susceptíveis a carbaril, enquanto que abelhas mais velhas são mais susceptíveis a malatim e paratim metílico, devido a menor quantidade de acetilcolinesterase (AChE) presente no cérebro das abelhas mais jovens. Para a abelha cortadora da folha da alfafa (*Megachile rotundata*), entretanto, a susceptibilidade a metomil, um inseticida bastante usado no Brasil nas culturas do milho, algodão e soja (Tabela 2), aumenta com a idade, provavelmente devido à sua maior capacidade para coleta de pólen e folhas para a construção dos ninhos, que também cresce com a idade. Baseado em vários experimentos de laboratório, semi-campo e campo, no que diz respeito ao tamanho do corpo, Johansen & Mayer (1990) chegaram à conclusão de que a susceptibilidade a um determinado pesticida é inversamente proporcional à taxa de superfície/volume (mm^2/mg), pelo que abelhas menores são mais sensíveis aos pesticidas, mesmo para menores níveis de doses. Assim, tem-se, que a susceptibilidade da abelha cortadora de folhas de alfafa > abelhas Alkali (*Nomia melanderi*) > abelhas melíferas > abelhas *Bombus*.

BOAS PRÁTICAS DE MANEJO PARA REDUÇÃO DO IMPACTO DOS DEFENSIVOS AGRÍCOLAS SOBRE OS POLINIZADORES

Há várias alternativas para reduzir o impacto dos pesticidas sobre os polinizadores, e as abelhas em

particular. Uma delas seria o desenvolvimento de tecnologias de aplicação que promovam a deposição do ingrediente ativo na cultura-alvo (Johansen & Mayer 1990, Santos 1998). Santos (1993) estabeleceu conceitos e terminologias aplicáveis à Entomologia Econômica, voltados, principalmente, para o manejo de pragas em culturas diversas, que são de grande valia para o uso racional de inseticidas. Para o caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), por exemplo, com base no trabalho de Santos & Bastos (1977), o autor definiu conceitos para padrão de equivalente de injúria (E_i) e Nível Adequado para Controle (N.A.C.). Para tanto, estabeleceu, em caráter de aproximação, uma conexão entre E_i e N.A.C., pela correlação das perdas econômicas devido à praga em função do número de cicatrizes em 10 vagens verdes de caupi. Dessa forma, Santos (1993) definiu o N.A.C. como aquele em que os custos com o controle são menores ou, no mínimo, iguais ao acréscimo da receita proporcionada pelo tratamento. Ele enfatiza a necessidade do agricultor conhecer profundamente o mercado onde opera, a fim de estabelecer o N.A.C. em função de tomadas de decisões baseadas nos custos de produção da cultura e na expectativa de preços mínimos para a utilidade produzida, ou com base na flutuação sazonal de preços no mercado, para escolher a melhor época para venda. Do ponto de vista prático, o acompanhamento sistemático das pragas através de amostragens e o conhecimento do equivalente de injúria (E_i) são de fundamental importância para o estabelecimento do N.A.C., reduzindo o número de aplicações e o impacto sobre as plantas, os inimigos naturais, o homem e o ambiente (Chaboussou 1987, Santos 1993, 1998).

Pinheiro (1995) e Pinheiro *et al.* (2004), aprimoraram o caráter preliminar, ou de aproximação, do conceito de N.A.C. nos trabalhos de Santos & Bastos (1977) e Santos (1993, 1998) e conseguiram excelentes níveis de produtividade de caupi, usando somente duas a três aplicações sobre a cultura, em comparação com o padrão de controle definido para o estado do Ceará, cinco aplicações a partir do início do florescimento da cultura (Bastos 1981). Considerando-se as áreas do estado onde o agricultor apresenta sofríveis níveis de alfabetização, a redução no número médio de pulverizações pode chegar a seis, reduzindo sobremaneira os custos de produção da cultura e do impacto sobre os insetos úteis e os aplicadores. Obviamente, deve-se procurar o perfeito

equilíbrio entre os aspectos sócio-ambiental e o econômico. Este exemplo pode ser seguido no cultivo de outras culturas.

Dependendo do tamanho das áreas agrícolas, das culturas usadas e do objetivo a que se destina a utilidade produzida, podem-se definir técnicas de manejo para a aplicação de pesticidas. Por exemplo, hoje, no Brasil, as culturas da soja, algodão, milho, cana-de-açúcar, citros, café, maçã e feijão ocupam grandes áreas de plantio e/ou utilizam grandes quantidades de herbicidas e inseticidas. Nestas áreas, o grande impacto faz sentir-se especialmente sobre as abelhas através da redução da disponibilidade de néctar e pólen, principalmente, e pela destruição da vegetação nativa (desmatamento), bem como dos seus locais de descanso, nidificação e reprodução (Freitas 1991, 1995a). Os herbicidas complementam esse impacto, destruindo as ervas daninhas dentro da área onde se encontra instalada a cultura-alvo, e os inseticidas agem de modo direto, através de efeitos letais e sub-letais após as aplicações. Uma vez que aplicações fracionadas de defensivos agrícolas, em faixas, dentro da cultura-alvo, elevariam sobremaneira os custos de produção destas culturas e prejudicaria o eficiente controle das ervas daninhas, que precisam ser eliminadas até à época da colheita, para não prejudicar o desempenho das colheitadeiras mecânicas, a opção mais viável seria manter os cultivos próximos à mata nativa ou manter grandes faixas de vegetação nativa circundando as culturas a serem instaladas, a no máximo 1,5 km de distância (Johansen & Mayer 1990, DeMarco & Coelho 2004, Chacoff & Aizen 2006).

Para maçã, café e citros, culturas perenes, além da manutenção de vegetação nativa circundando os pomares com essas culturas, há possibilidade de se fracionarem as aplicações foliares com pesticidas de menor risco para as abelhas, quer inseticidas ou fungicidas, bem como aplicá-los via solo. No Brasil, por exemplo, já se utiliza o Manejo Integrado de Pragas (MIP) em algumas culturas onde as aplicações são feitas com base nos Níveis de Dano Econômico (NDE) das principais pragas e na seletividade para insetos benéficos. É muito comum, por exemplo, aplicações via tronco com imidaclopride para as principais pragas do citros e o uso de tabelas de seletividade de produtos para aplicações foliares com inseticidas, acaricidas e fungicidas (Gravena

1994, Yamamoto *et al.* 2000). Em café, por exemplo, utilizam-se os inseticidas dissulfoton e phorate e a mistura dissulfoton-triadimenol (inseticida-fungicida), na formulação granulada (G), aplicados via solo, para o controle das principais pragas e doenças da cultura (Tabela 2).

Hoje, por exemplo, para culturas perenes, os agricultores estão percebendo que é muito mais vantajoso a utilização de herbicidas somente em coroamento, ao redor das plantas, o que reduz os custos de produção da cultura e o impacto sobre o ecossistema e os insetos benéficos, especialmente das abelhas, que são de grande importância para aumentar os níveis de produtividade naquelas culturas (Roubik 2002, Chacoff & Aizen 2006). Referente a isto, pode-se recomendar que até antes do início do florescimento de culturas que dependem grandemente dos serviços de polinização das abelhas, como café e caju, por exemplo, se mantenha faixas de plantas nativas entre as ruas da cultura, a fim de manter a população de abelhas polinizadoras na área até aquele período, removendo-as após, a fim de que as mesmas efetuem a polinização na cultura. Isto é necessário em virtude da maior atratividade exercida pelas flores das plantas daninhas nativas sobre as abelhas, em comparação com as culturas comerciais (Free 1993, Freitas 1995b).

Para outras culturas agrícolas, tais como tomate (*Lycopersicon esculentum*), acerola (*Malpighia emarginata*), maracujá, melão e manga (*Mangifera indica*), a realidade é bem diferente daquela das grandes culturas. De um modo geral, as áreas são acentuada e significativamente menos extensas e o nível tecnológico empregado é menor, apesar de se utilizar em algumas culturas, como é o caso do tomate e do melão, grandes quantidades de inseticidas e fungicidas. Embora sejam culturas voltadas para exportação, talvez a insipiente área de plantio e a ainda pequena participação no mercado externo sejam motivos para que as indústrias produtoras de pesticidas não registrem produtos considerados como de “última geração”, que oferecem menos riscos para insetos úteis. O fato é que os inseticidas hoje registrados para aquelas culturas, em número bastante reduzido, são organofosforados, carbamatos e piretróides, basicamente (Tabela 2), e oferecem grande potencial de risco para as abelhas, sendo que para determinadas doenças importantes de algumas daquelas culturas não

há nem mesmo indicação de produtos (Brasil 2009). Os principais agentes polinizadores dessas culturas, particularmente as abelhas, são nativos, e há poucos trabalhos que elucidam o papel desempenhado pelos mesmos e o impacto que os pesticidas causam sobre eles. Os poucos trabalhos existentes comprovam a grande dependência de algumas dessas culturas em relação aos polinizadores bióticos, como nos casos de Camillo (1996a,b) e Freitas & Oliveira-Filho (2003), onde a presença de mamangavas em quantidades adequadas nas áreas de maracujá levou a incrementos de produtividade de até 700% em comparação com sua ausência, e Freitas *et al.* (1999) que mostra que a abelha *Centris tarsata* pode aumentar em até 30% o vingamento de frutos em acerola.

Atualmente, o número de aplicações de pesticidas sobre o melão e o tomate foi reduzido significativamente, embora em alguns locais ainda seja considerado inaceitável, principalmente em grandes áreas do Nordeste brasileiro, onde o nível cultural dos agricultores é baixo, dificultando a absorção de novas tecnologias. Contrariamente, o nível tecnológico empregado pelas grandes empresas é elevado, motivado, principalmente, pela rígida legislação dos principais países importadores. Em algumas áreas já se utiliza o M.I.P., para aplicações foliares, e aplicações de pesticidas, via fertirrigação, com imidaclopride (Tabela 2), que reduz consideravelmente o impacto sobre as abelhas. Para estas culturas, bem como caju, acerola, maracujá, e manga, visando a redução do impacto sobre abelhas nativas, é de fundamental importância que se mantenha grandes faixas de vegetação nativa circundando-as, distantes de até 1,5km (Johansen & Mayer 1990). No que diz respeito às abelhas melíferas, além daquela prática, é importante obedecer a dose e o período em que produtos específicos, em função da sua classe de risco, devem ser aplicados, suprir adicionalmente fontes de pólen e néctar na época do pleno florescimento, a fim de limitar as visitas a cultura-alvo, realizar aplicações localizadas, via solo ou fertirrigação e utilizar o M.I.P. (Jay 1986, Santos 1998, Pinheiro *et al.* 2004).

POLÍTICA AGRÍCOLA PARA O USO RACIONAL DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS

Diante dos aspectos anteriormente discutidos, é de fundamental importância o estabelecimento

de um programa nacional que vise a implantação de planos de manejo para a utilização racional de pesticidas sobre as culturas e a elaboração de leis que obriguem os agricultores a aplicá-los em períodos específicos, de acordo com o grau de risco do pesticida, acompanhadas de fiscalização efetiva, como se dá em outros países, visando reduzir o impacto dos defensivos agrícolas sobre os polinizadores, o ambiente e os aplicadores. Para isso, é necessária a formação de grupos interdisciplinares de pesquisadores para a elaborar e definir as normas e diretrizes do programa, e, posteriormente, repassar os resultados da pesquisa para técnicos de instituições brasileiras que trabalham com extensão, agricultores e aplicadores, na perspectiva de se conciliar o benefício simultâneo do uso racional de pesticidas e dos serviços de polinização das abelhas sobre a produtividade das culturas. Os atuais programas/projetos de Manejo Integrado de Pragas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e Uso sustentável de Polinizadores do Ministério do Meio Ambiente e a Iniciativa Brasileira dos Polinizadores já apresentam iniciativas nesse sentido e parecem ser o fórum ideal para a discussão, elaboração e implementação dessa proposta de política agrícola para uso racional de defensivos no Brasil.

CONCLUSÃO

O papel dos polinizadores como agentes promotores da produção agrícola é inegável. Por outro lado, vários insumos e práticas agrícolas importantes para os sistemas de produção atuais possuem impactos altamente negativos sobre os polinizadores, tanto quanto na sua diversidade quanto na sua abundância e eficiência de polinização. Entre estes insumos e práticas, os efeitos mais severos são produzidos pelos defensivos agrícolas e na sua forma inadequada de uso. No entanto, o presente trabalho sugere ser possível reduzir drasticamente estes efeitos sobre os polinizadores com a capacitação dos produtores e demais atores do sistema agrícola brasileiro a respeito da forma de atuação dos pesticidas, os fatores que contribuem para o envenenamento dos visitantes florais e as técnicas de manejo e boas práticas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem as sugestões dos revisores anônimos. Esse estudo contou com o apoio de uma bolsa de

Produtividade em Pesquisa do CNPq (305062/2007-7) para o segundo autor e do projeto CNPq (484587/2007-2).

REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M.A. & MASERA, O. 1998. Desenvolvimento rural sustentável na América Latina: construindo de baixo para cima. Pp. 72-105. In: A. Almeida & Z. Navarro (eds.). *Reconstruindo a agricultura: idéias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável*. Segunda Edição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 253p.
- ATKINS, E.L.; KELLUM, D. & ATKINS, K.W. 1981. *Reducing Pesticide Hazards to Honey Bees*. Leaflet 2883. Division of Agricultural Science, University of California, San Francisco, 23p.
- BASTOS, J. A. M. 1981. *Principais pragas das culturas e seus controles*. Nobel, São Paulo. 223p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2009. Agrótoxicos. <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. (Acesso em 20/01/2009).
- BORTOLOTTI, L.; MONTANARI, R.; MARCELINO, J.; MEDRZYCHI, P.; MAINI, S. & PORRINI, C. 2003. Effects of sub-lethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of the honey bees. *Bulletin of Insectology*, 56: 63-67.
- BUCHMANN, S.L. & NABHAN, G.P. 1996. *The Forgotten Pollinators*. Island Press, Covello, CA. 292p.
- CAMILLO, E. 1996a. Utilização de espécies de *Xylocopa* (Hymenoptera:Anthophoridae) na polinização do maracujá amarelo. Pp. 141-146. In: Anais do II Encontro Sobre Abelhas. Ribeirão Preto, SP, Brasil. 351p.
- CAMILLO, E. 1996b. Polinização do maracujá amarelo. Pp. 317-321. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Apicultura. Teresina, PI, Brasil. 434p.
- CHABOUSSOU, F. 1987. *Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose*. (Francis Chaboussou; tradução de Maria José Guazzelli). L&P, Porto Alegre, RS. 256p.
- CHACOFF, N. & AIZEN, M.A. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology*, 43: 18-27.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEIL, R. V.; PARUELO, J.; RASLIN, R. G.; SUTTON, P. & VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- DIAS, B.S.F.; RAW, A. & IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. 1999. International Pollinators Initiative: The São Paulo Declaration on Pollinators. *Technical Report*. Workshop on the Conservation and Sustainable Use of Pollinators in Agriculture with Emphasis on Bees. Ministry of Environment (MMA), University of São Paulo (USP) and Brazilian Corporation for Agricultural Research (Embrapa), Brasília, DF. 79p.
- DAILY, G.C. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, D.C. 412p.
- DEMARCO JR., P. & COELHO, F.M. 2004. Services performed by the ecosystem forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. *Biodiversity and Conservation*, 13: 1245-1255.
- ECPA (European Crop Protection Association). 2008. Pesticides and honey bees – both essential to agriculture. In: MISC/08/CG/17834. <[http://www.bayercropscience.com/BSCWeb/CropProtection.nsf/id/EN_Bee_safety_and_Colony_Collapse_Disorder/\\$file/ECPA-Pesticides and Honey Bees %E2%80%93 both Essential to Agriculture.pdf](http://www.bayercropscience.com/BSCWeb/CropProtection.nsf/id/EN_Bee_safety_and_Colony_Collapse_Disorder/$file/ECPA-Pesticides%20and%20Honey%20Bees%20both%20Essential%20to%20Agriculture.pdf)>. (Acesso em 27/01/ 2009).
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2004. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture – the international response. Pp. 19-25. In: B.M. Freitas & J.O.B. Portela (eds.). *Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination*. Imprensa Universitária - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 285p.
- FLETCHER, M. & BARNETT, L. 2003. Bee poisoning incidents in the United Kingdom. *Bulletin of Insectology*, 56: 141-145.
- FREE, J.B. 1993. *Insect pollination of crops*. Academic Press, London, U.K. 684p.
- FREITAS, B.M. 1991. Potencial da caatinga para a produção de pólen e néctar para a exploração apícola. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, Brasil. 140p.
- FREITAS, B.M. 1994. Beekeeping and cashew in north-eastern Brazil: the balance of honey and nut production. *Bee World*, 75: 160-168.
- FREITAS, B.M. 1995a. The pollination efficiency of foraging bees on apple (*Malus domestica* Borkh) and cashew (*Anacardium occidentale* L.). *PhD Thesis*. University of Wales, U.K. 197p.
- FREITAS, B.M. 1995b. Does *Borroria verticillata* compete with cashew (*Anacardium occidentale*) for honeybee pollination. Pp. 260-264. In: Anais do XXXIV International Beekeeping Congress of Apimondia. Lausanne, Switzerland. 391p.

- FREITAS, B.M. 1998. O uso de programas racionais de polinização em áreas agrícolas. *Mensagem Doce*, 46: 16-20.
- FREITAS, B.M. & OLIVEIRA-FILHO, J.H. 2003. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). *Ciência Rural*, 33: 1135-1139.
- FREITAS, B.M. & IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. 2004. Economic value of Brazilian cash crops and estimates of their pollination constrains. Pp. 1-4. In: Food and Agriculture Organization Report 02, Agreement Food and Agriculture Organization & Fundação da Universidade de São Paulo. Economic value of pollination and pollinators. São Paulo, SP. 64p.
- FREITAS, B.M. & PEREIRA, J.O.P. 2004. Crop consortium to improve pollination: can West Indian Cherry (*Malpighia emarginata*) attract *Centris* bees to pollinate Cashew (*Anacardium occidentale*)? Pp. 193-201. In: B.M. Freitas & J.O.B. Portela (eds.). Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination. Imprensa Universitária - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 285p.
- FREITAS, B. M. & IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. 2005. A importância econômica da polinização. *Mensagem Doce*, 80: 44-46.
- FREITAS, B.M. & PINHEIRO, J.N. 2010. Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. *Oecologia Australis*, 14: 282-298, doi: 10.4257/oeco.2010.1401.17
- FREITAS, B.M.; ALVES, J.E.; BRANDÃO, G.F. & ARAÚJO, Z.B. 1999. Pollination requirements of West Indian cherry (*Malpighia emarginata*) and its putative pollinators, *Centris* bees, in NE Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 133: 303-311.
- FREITAS, B.M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; MEDINA, L.M.; KLEINERT, A.M.P.; GALLETO, L.; NATES-PARRA, G. & QUEZADA-EUÁN, J.J.G. 2009. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie*, 40: 332-346, doi: 10.1051/apido/2009012.
- GRANT, W.F. 1982. Chromosome aberrations assays in *Allium*. *Mutation Research*, 99: 273-291.
- GRAVENA, S. 1994. Manejo integrado de pragas em Citros no Brasil: uma visão atual. Pp. 41-56. In: Anais do Seminário Internacional do Citros – MIP. Bebedouro, SP, Brasil. 122p.
- JAY, S.C. 1986. Spatial management of honeybees on crops. *Annual Reviews of Entomology*, 31: 49-65.
- JOHANSEN, C.A. & MAYER, D.F. 1990. *Pollinator protection: a bee & pesticide handbook*. Wicwas Press, Cheshire. 212p.
- KEVAN, P.G. & IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. 2002. *Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature*. Ministry of Environment (MMA), Brasília, DF. 313p.
- KREMEN, C. 2004. Pollination services and community composition: does it depend on diversity, abundance, biomass or species traits? Pp. 115-124. In: B.M. Freitas & J.O.B. Portela (eds.). Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination. Imprensa Universitária – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 285p.
- KREMEN, C.; WILLIAMS, N.M. & THORP, R.W. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A.*, 99: 16812-16816.
- LARSEN, T.H.; WILLIAMS, N.W. & KREMEN, C. 2005. Extinction order and altered community structure rapidly disrupt ecosystem functioning. *Ecology Letters*, 8: 538-547.
- MALASPINA, O. & SILVA-ZACARIN, E.C.M. 2006. Cell markers for ecotoxicological studies in target organs of bees. *Brazilian Journal of Morphological Sciences*, 23: 303-309.
- MALASPINA, O. & SOUZA, T.F. 2008. Reflexos das aplicações de agrotóxicos nos campos de cultivo para a apicultura brasileira. In: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Apicultura e III de Meliponicultura. Belo Horizonte, MG, Brasil. CD-Rom.
- MALASPINA, O.; SOUZA, T.F.; ZACARIN, E.C.M.S.; CRUZ, A.S. & JESUS, D. 2008. Efeitos provocados por agrotóxicos em abelhas no Brasil. Pp. 41-48. In: Anais do VIII Encontro sobre Abelhas. Ribeirão Preto, SP, Brasil. 763p.
- OSBORNE, J.L.; WILLIAMS, I.H. & CORBET, S.A. 1991. Bees, pollination and habitat change in the European Community. *Bee World*, 72: 99-116.
- PALMER, M.; BERNHARDT, E.; CHORNESKY, E.; COLLINS, S.; DOBSON, A.; DUKE, C.; GOLD, B.; JACOBSON, R.; KINGSLAND, S.; KRANZ, R.; MAPPIN, M.; MARTINEZ, M.L.; MICHELI, F.; MORSE, J.; PACE, M.; PASCUAL, M.; PALUMBI, S.; REICHMAN, O.J.; SIMONS, A.; TOWNSEND, A. & TURNER, M. 2004. Ecology for a crowded planet. *Science*, 304: 1251-1252.
- PEDROSA, J.F. 1997. *Cultura do Melão*. Centro de Divulgação e Impressão-ESAM, Mossoró, RN. 50p.
- PINHEIRO, J.N. 1995. Controle econômico do “manhoso”, *Chalcodermus bimaculatus* Fiedler, 1936, na cultura do

- caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, Brasil. 105p.
- PINHEIRO, J.N.; SANTOS, J.H.R.; VIEIRA, F.V. & MELO, F.I.O.M. 2004. Nível adequado para controle do “manhoso”, *Chalcodermus bimaculatus* Fiedler, 1936 (Coleoptera:Curculionidae) na cultura do Caupi. *Ciência Agrônômica*, 35: 206-213.
- PINTO, M.R. & MIGUEL, W. 2008. Intoxicação de *Apis mellifera* por organofosforado na região do Vale do Itajaí – SC. In: Anais do Conbravet 2008. <<http://www.sovergs.com.br/conbravet2008/anais/cd/resumos/R1080-2.pdf>>. (Acesso em 26/01/2009).
- PRESCOTT-ALLEN, R. & PRESCOTT-ALLEN, C. 1990. How many plants feed the world? *Conservation Biology*, 4: 365-374.
- RICKETTS, T.H; REGETZ, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S.A; KREMEN, C.; BOGDANSKI, A.; GEMMILL-HERREN, B.; GREENLEAF, S.S; KLEIN, A.M; MAYFIELD, M.M; MORANDIN, L.A; OCHIENG, A & VIANA, B.F. 2008. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology Letters*, 11: 499-515.
- RIEDL, H; JOHANSEN, E.; BREWER, L. & BARBOUR, J. 2006. *How to reduce bee poisoning from pesticides*. PNW (Pacific Northwest Extension) 591, Oregon State University, Corvallis. 26p.
- SANTOS, J.H.R. 1993. *Componentes de um modelo para avaliação de danos provocados por pragas de insetos; manejo do caupi*. Centro de Divulgação e Impressão-ESAM, Mossoró, RN. 27p.
- SANTOS, J.H.R. 1998. *Relação inseto-planta; princípios de manejo*. Imagem Gráfica Editora Ltda, Natal, RN. 220p.
- SANTOS, J.H.R. & BASTOS, J.A.M. 1977. Nível de controle econômico do manhoso, *Chalcodermus bimaculatus* Fiedler. *Relatório Técnico*. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. 127p.
- SOLOMON, M.G. & HOOKER, K.J.M. 1989. Chemical repellents for reducing pesticide hazard to honeybees in apple orchards. *Journal Apicultural Research*, 28: 223-227.
- SOUSA, R.M. 2003. Polinização do meloeiro (*Cucumis melo* L.) por abelhas melíferas (*Apis mellifera* L.): requerimentos da cultura e manejo das colônias. *Tese de Doutorado*. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. 119p.
- SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A.F.; LUCHINI, L.C. & ANDREA, M.M. 2004. *Monitoramento de risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. 29p.
- SUBBAREDDI, C. & REDDI, E.U.B. 1984a. Pollination biology: the past and the present. *Indian Journal of Botany*, 7: 141-149.
- SUBBA REDDI, C. & REDDI, E.U.B. 1984b. Bee-flower interactions and pollination potential. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Animal Sciences*, 93: 373-390.
- WINSTON, M.L. 1987. *The biology of the honey bee*. Harvard University Press, Massachusetts, USA. 281p.
- YAMAMOTO, P.T.; ROBERTO, S.R. & PRIA JR., W.L. 2000. Inseticidas sistêmicos aplicados via tronco para controle de *Oncometopia facialis*, *Phyllocnistis citrella* e *Toxoptera citricida* em citros. *Scientia Agrícola*, 57: 415-420.

Submetido em 29/01/2009

Aceito em 28/05/2009