

Comportamento do gorgulho-do-milho frente às doses de permetrina

Luciana Barboza Silva*, Leonardo Santana Silva, Adriana Cristina Mancin, Gabriel Santos Carvalho, Jorlan Cardoso Silva, Lígia Helena Andrade

Campus "Prof.ª Cinobelina Elvas", Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, Brasil
*Autor correspondente, e-mail: lubarbosabio@hotmail.com

Resumo

O Gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motsch., 1855 (Coleoptera: Curculionidae), está entre as pragas mais destrutivas e mundialmente bem distribuídas dentre às de grãos armazenados, tendo como principal método de controle o uso de inseticidas. Este trabalho teve como objetivo comparar, em condições de laboratório ($27\pm 2^\circ\text{C}$, $70\%\pm 10\%\text{UR}$, LD12:12), o comportamento de populações do caruncho do milho, expostas a diferentes doses do inseticida permetrina. Realizou-se bioensaios de concentração-mortalidade, para determinar os valores de CL50. Foi determinada a taxa instantânea de crescimento populacional (ri), o consumo de grãos de milho e a massa corporal dos insetos, em diferentes concentrações de permetrina. Os insetos foram submetidos aos bioensaios de preferência em superfície tratada e não-tratada com o inseticida. Dentre as populações de *S. zeamais* utilizadas nos bioensaios de concentração-mortalidade, a população que apresentou maior valor de CL50 foi a de Palmeira PI, $127,7\mu\text{g i.a./cm}^2$ e a que apresentou menor CL50 foi a de Balsas MA, $27,0\mu\text{g i.a./cm}^2$. Houve diferença significativa entre as concentrações de permetrina quanto à taxa instantânea de crescimento populacional (ri), consumo de biomassa seca dos grãos de milho, massa corporal dos insetos e número de adultos emergidos após 100 dias. Quanto ao comportamento de adultos de *S. zeamais* discriminantes, não houve um deslocamento significativo comparando as concentrações, no entanto em comparação ao controle a proporção de indivíduos que evitaram a área tratada foi significativa.

Palavras-Chave: Taxa instantânea de crescimento populacional, resistência a inseticida, piretróide

Behavior of maize weevil at doses of permethrin

Abstract

The maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae), is among the most destructive and globally well distributed pests of stored grain; the main method of control is the use of insecticides. This study aimed to compare, under laboratory conditions ($27\pm 2^\circ\text{C}$, $70\%\pm 10\%\text{RH}$, LD 12:12), the behavior of maize weevil populations exposed to different doses of the insecticide permethrin. Dose-response bioassays were conducted to determine CL50 values. Instantaneous rate of population growth, maize grain consumption and insect body mass were also determined at different permethrin concentrations. Insects were submitted to preference bioassays comparing permethrin-treated (insecticide residue) and untreated surfaces. Among the populations of *Sitophilus zeamais* used in bioassays, the population with the highest CL50 value was that of Palmeira, PI ($127.7\mu\text{g i.a./cm}^2$); the population with the lowest CL50 value was that of Balsas, MA ($27.0\mu\text{g i.a./cm}^2$). Significant differences were observed among the permethrin concentrations with respect to instantaneous rate of population growth, consumption of dry maize grain biomass, insect body mass and number of adults emerged after 100 days. Regarding the behavior of *S. zeamais* adults, there was not significant discrimination in relation to the majority of concentrations; however, when compared to control, the proportion of individual insects that rejected the treated area was significant.

Keywords: Instantaneous rate of population growth, insecticide resistance, pyrethroid

Recebido: 29 Maio 2012
Aceito: 10 Setembro 2012

Introdução

O gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motsch., 1855 (Coleoptera: Curculionidae), está entre as pragas mais destrutivas e mundialmente bem distribuídas dentre as de grãos armazenados (Rees, 1996; Danho et al., 2002). No Brasil, ela é referida como a principal praga do milho armazenado, além de ser considerada importante em cereais armazenados de modo geral (Adda et al., 2002). Infestações ocasionadas por esse inseto, frequentemente se iniciam no campo, antes do armazenamento (Adda et al., 2002; Brown & Lee, 2002), o que aliada a sua boa capacidade de voo (Hagstrum et al., 1996) e poder destrutivo, propicia elevada perda na fase pós-colheita de grãos.

O principal método de controle do caruncho-do-milho é através do uso de inseticidas, já que esta geralmente é a maneira mais simples, rápida e econômica para conter infestações de pragas de produtos armazenados (Guedes, 1991). Contudo, o uso frequente de inseticidas para proteção de grãos armazenados é a principal causa de desenvolvimento da resistência de insetos a estes compostos em vários países (Badmin, 1990; Subramanyam & Hagstrum, 1996), inclusive o Brasil (Guedes et al., 1995; Ribeiro et al., 2003).

A seleção intensa e a rápida evolução da resistência a inseticidas em populações naturais, têm sido os principais obstáculos a serem superados para tornar eficiente o manejo de insetos-praga (Kence & Jdeidi, 1997). Principalmente quando são considerados os ambientes onde o controle químico é o método mais adequado, como no caso de pragas de grãos armazenados (Guedes et al., 1995; Ribeiro et al., 2003).

Estudos feitos sobre resistência a inseticidas geralmente focalizam o efeito fisiológico e bioquímico do inseticida em detrimento do efeito causado por este composto no comportamento do inseto (Kongmee et al., 2004; Silva et al., 2010a e 2010b). A capacidade dos insetos em perceber substâncias inseticidas através de processos sensoriais pode levar a evolução de resistência comportamental a inseticidas (Gould, 1991; Hoy et al., 1998). Tanto a resistência fisiológica quanto a comportamental

pode comprometer o controle de insetos.

Avaliações direcionadas apenas à mortalidade de populações de pragas constituem uma etapa inicial para identificar o potencial inseticida de determinado composto. Porém, parâmetros populacionais são bons indicadores de efeitos subletais, como: queda de fecundidade, alteração na velocidade de desenvolvimento. A taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) é um modelo prático, do ponto de vista experimental, pois apresenta um rápido resultado, utilizando apenas números iniciais e finais da população, no período de exposição (Walthall & Stark, 1997).

Estudos que correlacionam a resistência fisiológica com a comportamental raramente são realizados (Suiter & Gould, 1994), talvez porque o padrão comportamental considerado e a sua dependência da dose possam dificultar o estabelecimento de tal correlação. E os grupos de pesquisa envolvidos nesse processo dão preferência à condução de experimentos mais simples e rápidos, para fornecer solução mais rápida ao setor de armazenamento de grãos.

Neste contexto é importante observar outro fenômeno pouco estudado que é a plasticidade fenotípica de uma espécie frente à modificação do ambiente por inseticidas. Plasticidade fenotípica é reconhecida quando a expressão de uma determinada característica do organismo é alterada com o ambiente em que ele vive e com o genótipo através da interação genótipo e ambiente (Futuyma, 1998; Stearns & Hoekstra, 2000).

Informações sobre padrões comportamentais de populações frente à exposição a inseticidas são essenciais para o desenvolvimento de programas de manejo de resistência a inseticidas objetivando a diminuir as perdas por pragas. São ainda escassos os levantamentos de ocorrência de resistência á inseticidas em populações de *S. zeamais* da região Nordeste. Assim o objetivo desse trabalho foi comparar, em condições de laboratório, a CL_{50} de populações do caruncho do milho expostas ao inseticida permetrina. E avaliar a taxa de crescimento da população de *S. zeamais* que apresentou CL_{50} intermediária e os padrões comportamentais discriminantes para

superfícies tratadas com permetrina.

Material e Métodos

Populações de *S. zeamais* foram coletadas nos Estados do Piauí, Maranhão, Mato Grosso, Bahia, São Paulo e Paraná. As populações do Piauí foram fornecidas por junto aos pequenos produtores do Sudoeste do Estado (Vale do Gurgueia). Estas foram trazidas ao laboratório e armazenadas em frascos plásticos vedados com um tecido do tipo *voil*, o qual permite a circulação de ar, impede a fuga dos insetos e a entrada de possíveis predadores ou parasitoides.

Bioensaios de concentração-resposta:

Inicialmente, testes preliminares foram realizados para determinar as faixas de concentrações do inseticida que causam mortalidade superior a zero e inferior a 100%. Com base nestas informações foram estabelecidas sete concentrações para a exposição dos insetos em bioensaios definitivos.

As concentrações de permetrina utilizadas variaram entre $2,5 \times 10^{-9}$ a $2,5 \times 10^{-3}$ g i.a./cm². Cinco repetições, cada uma com 20 adultos não-sexados, foram usadas por concentração, totalizando 100 insetos/concentração. Em cada repetição, a parte interna do frasco de vidro de 20 mL foi coberta com 200µL de permetrina dissolvida em acetona, distribuída uniformemente por toda a superfície interna do frasco após a completa evaporação do solvente.

A abertura de cada vidro foi tampada evitando que os insetos escapassem e aqueles que foram incapazes de andar após 48h de exposição aos resíduos do inseticida foram considerados mortos.

Taxa instantânea de crescimento populacional (r_i):

Este bioensaio foi montado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Cada tratamento (concentrações de inseticida) foi formado por um pote de vidro com capacidade de 1,5L contendo 250 g de grãos de milho de umidade conhecida (base úmida), isentos de pragas. Cinquenta insetos adultos não

sexados e com idade entre 0 e 10 dias após a emergência foram adicionados aos potes. Os potes com os insetos foram acondicionados em câmaras climáticas tipo B.O.D., com temperatura (27 ± 2 °C), umidade relativa ($70 \pm 10\%$) e fotoperíodo (12:12) controlados. Após 100 dias foram avaliados o número de insetos vivos e mortos, a massa corporal dos insetos vivos e o peso final da massa de grãos.

A taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) foi calculada utilizando-se a equação proposta por Walthall & Stark (1997): $r_i = \ln(N_f / N_o) / \Delta t$. Em que N_f é o número final; N_o é o número inicial e Δt é a variação do tempo. Valor positivo de r_i indica crescimento populacional, $r_i = 0$ significa que a população está estável e valor negativo de r_i indica declínio da população até a extinção.

Testes de livre escolha:

Um dos lados da bandeja (25 x 15 x 6cm) recebeu 50g de grãos sem tratamento e a outra metade recebeu 50g de grãos tratados nas diferentes concentrações. Um controle com ambos os lados sem tratamento foi avaliado, para normalizar os resultados. As bandejas foram revestidas com tecido *voil* para evitar que os insetos escapassem. Adultos não-sexados ($n=50$) (idade entre 7 e 15 dias), foram liberados no centro da bandeja e a preferência dos insetos foi avaliada após 24 horas de exposição. Cinco repetições foram utilizadas para cada combinação das concentrações de permetrina.

Análises estatísticas:

Os resultados de mortalidade foram submetidos à análise de Probit, por intermédio do procedimento PROC PROBIT do programa Statistical Analyses System (SAS) (SAS Institute, 2002), gerando-se assim as curvas de concentração x mortalidade. Os dados de mortalidade foram corrigidos pela mortalidade que ocorreu no controle.

Determinações da taxa instantânea de crescimento populacional (r_i), da massa corporal dos insetos, da perda da massa de grãos de milho foram submetidas à análise de resíduo e testes de suposição de variância (PROC UNIVARIATE; PROC GPLOT; SAS Institute, 2002)

e submetidos a análise de variância e teste de média (diferença mínima significativa de Tukey) (PROC GLM; SAS Institute, 2002).

Resultados e Discussão

Bioensaio de concentração-resposta: Os bioensaios para detecção de resistência em populações de *S. zeamais* apresentaram baixos valores de X^2 e altos valores de p ($< 0,01$ e $> 0,06$ respectivamente), indicando adequação dos dados ao modelo probit para estimativa das curvas de mortalidade e da CL_{50} .

Os valores de CL_{50} foram comparados com a população de Sete Lagoas-MG, padrão de susceptibilidade conforme descrito nos trabalhos de Guedes et al. (1995); Ribeiro et al. (2003); Araújo et al. (2008); Braga et al. (2011). Dentre as populações de *S. zeamais* utilizadas nos bioensaios, a que apresentou maior resistência aos resíduos de permetrina foi a de Palmeira-PI com CL_{50} de 127,7. Quando comparada à população de Sete Lagoas MG, padrão de susceptibilidade, a razão de resistência foi de 205 vezes maior. A que apresentou menor resistência foi de Balsas-MA com CL_{50} de 27,0 e razão de resistência de 43 vezes maior (Tabela 1). As populações com maiores valores de CL_{50} , são as

provenientes do campo (Palmeira PI, Barreiras BA, Colônia PI), comparadas as de laboratório com mais de dez gerações (Canarana/MT, Bom Jesus/PI, Balsas/MA). Os valores de CL_{50} desse inseticida, apresentado pelas populações neste trabalho, são comparados aos observados para permetrina, inseticida utilizado em grãos armazenados no Brasil (Ribeiro et al., 2003). Esses resultados asseguram a necessidade de monitoramento rotineiro.

Embora a CL_{95} sirva como parâmetro de controle efetivo das populações a campo, a magnitude de dose resposta para as populações avaliadas foi calculada a partir da CL_{50} . Isto porque é o melhor ajuste do modelo (menor amplitude dos desvios-padrão), o que confere uma maior credibilidade à estimativa da concentração letal e da razão de resistência (Eaton & Klassen, 2003). A determinação das CL_{50} , coeficientes angulares e as razões de resistência (RR) permite acompanhar as mudanças temporais de susceptibilidade aos produtos químicos e orienta o planejamento do manejo da resistência e das estratégias de controle a serem aplicadas. Mudanças da CL_{50} e CL_{95} podem ser manejadas com a troca temporária do produto.

Tabela 1. Toxicidade de Permetrina em 10 populações de *Sitophilus zeamais* coletadas em diferentes regiões do Brasil.

Populações	Inclinação \pm EPM	CL_{50} (95% IC) ($\mu\text{g i.a./cm}^2$)	X^2	P
Palmeira – PI	2,20 (0,47)	127,7 (93,0 - 207,6) a	20,40	0,11
Barreiras – BA	1,60 (0,24)	66,0 (47,0 – 78,0) b	13,40	0,49
Colônia – PI	2,50 (0,40)	65,0 (55,0 – 86,0) b	02,70	0,90
Guarapuava-PR	2,20 (0,36)	64,0 (48,0 – 86,0) b	15,05	0,37
Tunápolis – MT	1,84 (0,26)	53,0 (38,0 – 76,0) c	11,40	0,65
Currais – PI	1,70 (0,30)	44,0 (27,0 – 75,0) d	22,50	0,06
São J. R. Pardo –SP	2,60 (0,36)	34,0 (26,0 – 45,0) e	09,80	0,77
Canarana- MT	1,80 (0,24)	33,0 (24,0 – 45,0) e	17,60	0,22
Bom Jesus – PI	1,86 (0,24)	32,0 (23,0 – 44,0) e	19,58	0,14
Balsas – MA	2,02 (0,26)	27,0 (20,0 – 37,0) f	20,80	0,10

EPM= Erro padrão da média, CL= Concentração Letal, IC 95%= Intervalo de Confiança a 95% de probabilidade, X^2 = Qui-quadrado, P= probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As populações de Barreiras-BA, Colônia-PI e Guarapuava-PR não diferiram significativamente, sendo o segundo grupo mais resistente. As populações de São José do Rio Pardo-SP, Canarana-MT e Bom Jesus-PI também não apresentaram diferenças estatísticas significativas, e representaram o segundo grupo mais suscetível analisado (Tabela 1). As

populações apresentaram susceptibilidade diferente em relação à toxicidade do inseticida piretróide – permetrina. As inclinações das curvas de concentração-mortalidade variaram entre as populações, variação esta que esteve entre 1,6 para Barreiras-BA e 2,02 para Balsas-MA.

A razão pela a qual, a população de Palmeira-PI apresentou maior resistência, pode

estar relacionada com a proximidade do local de coleta da população, próxima ao cerrado piauiense onde há uso intenso de inseticidas/herbicida. Há evidências de que os altos níveis de resistência a piretróides em populações brasileiras de *S. zeamais* no final da década de 80 são advindos da resistência cruzada com DDT e atualmente devido à utilização inadequada de outros inseticidas piretróides para diferentes insetos-praga. O conhecimento da resposta de populações de *S. zeamais* de diferentes origens geográficas a princípios ativos recomendados para seu controle, somado ao uso de métodos alternativos eficientes de controle, promoverão uma menor pressão de seleção sob essas populações, atenuando o problema da resistência a piretróides em populações de *S. zeamais*.

Apesar do inseticida esfenvalerato, registrado recentemente para o tratamento de grãos armazenados no território brasileiro e que é recomendado apenas em mistura com fenitrotiona, o nível de resistência das populações de *S. zeamais* a esse inseticida é semelhante àquele encontrado para permetrina, recomendado no Brasil para grãos armazenados. Essa resistência é provavelmente resultado de resistência cruzada a piretróides, o que tem sido reportado no Brasil em outros levantamentos (Ribeiro et al., 2003; Pereira et al., 2009; Braga et al., 2011). Isto é reforçado no presente estudo devido ao fato de o armazenamento de grãos de milho, na região sudoeste do Piauí, ainda ser em pequenas quantidades e o método de controle o uso de fosfina.

Corrêa et al. (2010 e 2011) avaliando a resistência de 27 populações de *S. zeamais* a piretróides e a mistura de piretróides + organofosforado, observaram que em sua maioria as populações apresentaram resistência a esses compostos. Pimentel et al. (2012) analisando a resistência de populações de *Rhyzopertha dominica*, observaram que as curvas de concentração-mortalidade indicaram níveis elevados de resistência para essa espécie.

Estudos recentes realizados com populações de *S. zeamais* resistentes a piretróides e DDT confirmaram que a alteração do sítio de ação é o principal mecanismo de resistência

a esses compostos, havendo uma substituição de treonina para isoleucina, no segmento transmembrânico IIS5 dos canais de sódio de *S. zeamais*, equivalente ao resíduo T929 da sequência de *M. domestica* (Araújo et al., 2011).

Grandes diferenças entre as populações de caruncho do milho são resultante do manejo destes insetos-praga e da natureza descontínua do processo de armazenamento de grãos. Unidades armazenadoras de grãos provavelmente acentuam os ciclos sazonais destas populações o que possibilita o estabelecimento rápido de novas populações a partir de um número reduzido de indivíduos (Tran & Credland, 1995).

Taxa instantânea de crescimento populacional (ri)

Para os ensaios comportamentais foi utilizada a população de Colônia-PI, por apresentar CL_{50} entre a maior e a menor obtida com as demais populações utilizadas no presente estudo e por ter sido coletada na região sudoeste do Estado do Piauí.

Os resultados obtidos com as análises estatísticas permitem concluir que há diferença significativa entre as concentrações de permetrina quanto à taxa instantânea de crescimento populacional (r_i), consumo de biomassa seca dos grãos de milho, massa corporal dos insetos e número de adultos emergidos após 100 dias, apontando que as duas menores concentrações 0,025 e 0,25 ppm não reduziram de forma significativa a taxa reprodutiva da população do gorgulho, comparado ao controle. Os tratamentos 2,5 e 8,5 ppm não tiveram diferença estatística entre si, o único tratamento que teve diferença em relação aos demais foi de 15 ppm (Tabela 2), estes com potencial de supressão reprodutiva.

Verificou-se que é necessária aplicação de altas doses para diminuir a r_i significativamente (Tabela 2). Isso é preocupante, pois, demonstra a ineficiência do inseticida. Inseticida para grãos armazenados deve ser eficiente em doses baixas, pois, trata-se de um produto da pós-colheita e a quantidade de resíduos presentes nos grãos deve ser mínima.

Tabela 2. Médias \pm EPM da taxa instantânea de crescimento (r_i), perda da massa de grãos de milho, massa corporal e adultos emergidos de uma população (Colônia-PI) de *Sitophilus zeamais* alimentados com grãos de milho tratado com Permetrina.

Tratamento ppm	Taxa instantânea de crescimento r_i	Consumo de biomassa seca dos grãos (g) ¹	Massa corporal (g)	Nº de Adultos emergidos 100 dias
Controle	0,039 \pm 0,001 a	91,6 \pm 5,0 a	2,05 \pm 0,04 a	821,5 \pm 34,8 a
0,025	0,031 \pm 0,004 a	84,0 \pm 3,8 a	2,18 \pm 0,06 a	770,6 \pm 64,0 a
0,25	0,029 \pm 0,003 a	84,0 \pm 3,2 a	2,16 \pm 0,02 a	666,3 \pm 44,2 a
2,5	0,027 \pm 0,001 ab	65,5 \pm 4,6 a	1,01 \pm 0,03 b	369,5 \pm 74,6 b
8,5	0,019 \pm 0,010 b	21,8 \pm 2,7 b	0,42 \pm 0,04 c	152,5 \pm 12,2 c
15	0,004 \pm 0,008 c	5,45 \pm 5,9 c	0,10 \pm 0,17 c	39,5 \pm 04,8 d

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste da diferença mínima significativa de Fisher (LSD) protegido pelo teste F da ANOVA, a 5% de significância. EPM= Erro padrão da média. ¹Massa de milho consumida pelos insetos durante 100 dias.

Quanto ao consumo de biomassa dos grãos, as concentrações 0,025, 0,25 e 2,5 ppm não diferiram do controle. A massa corporal dos insetos não variou nas concentrações 0,025 e 0,25 ppm em relação ao controle, houve redução significativa no tratamento 2,5 ppm em relação às concentrações 0,025 e 0,25 ppm, as concentrações 8,5 e 15 ppm não tiveram diferença entre si, mas reduziram a massa corporal, proporcionalmente à supressão reprodutiva, e diminuição dos danos. Em relação ao número de adultos de *S. zeamais* emergidos após 100 dias as maiores concentrações reduziram o número de indivíduos, após 100 dias.

De acordo com as análises para a taxa instantânea de crescimento, conclui-se que aqueles valores de CL_{50} interferiram no desenvolvimento da população e que concentrações inferiores não reduziram o dano dos insetos na massa de grão. Resultado preocupante, pois com o aumento da resistência dos insetos aos compostos utilizados para seu controle, faz-se necessário o aumento das doses e com isso vários problemas podem ocorrer

como a alta quantidade de resíduo no grão, intoxicação dos produtores e a contaminação ambiental. Antunes et al. (2011) realizando caracterização físico-química de grãos de milho armazenado em 30, 60 e 120 dias mostraram que em relação à perda de peso dos grãos ao final de cada tempo de armazenamento, ocorreram diferenças estatísticas entre as médias, reduzindo significativamente o peso dos grãos ao longo dos 120 dias de armazenamento.

Bioensaio para a detecção de resistência comportamental

Para proporção de adultos de *S. zeamais* discriminantes, não houve distinção significativa em relação à maioria das concentrações, no entanto em relação ao controle a proporção de indivíduos que rejeitaram a área tratada foi significativa. As duas maiores concentrações 15 e 8,5 ppm diferiram das demais assim como do controle evidenciando maior número de indivíduos que foram repelidos pela área tratada, os insetos evitaram a área correspondente aos grãos tratados nas diferentes doses (Tabela 3).

Tabela 3. Proporção de adultos de uma população (Colônia-PI) de *Sitophilus zeamais*, não discriminantes dos grãos de milho tratados com doses crescentes de permetrina.

Tratamento (ppm)	Proporção de não discriminantes	χ^2	P
0	0,510 a	03,80	0,0050
0,25	0,380 a b	14,06	0,0002
0,45	0,310 b c	05,06	0,0240
0,85	0,260 b c	22,56	0,0002
2,5	0,250 b c	24,50	0,0001
4,5	0,190 c d	37,80	<0,0001
8,5	0,100 d	74,30	<0,0001
15	0,065 d	61,60	<0,0001

χ^2 = Qui-quadrado, P= probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resistência a inseticida é uma característica pleiotrópica, passível de plasticidade fenotípica (Boivin et al., 2001; Araújo et al., 2008), pois esta pode contribuir para a adaptação de populações resistentes a inseticidas em ambientes novos ou alterados (Pagliuci & Muren, 2003; Pereira et al., 2009; Corrêa et al., 2010). No entanto, o assunto não tem sido objeto de atenção.

Confirma-se nesse trabalho a hipótese de que há divergência na resposta, entre populações resistentes e suscetíveis do gorgulho do milho expostos a resíduos de piretróides. Isso caracteriza aumento na plasticidade alimentar com doses crescentes de inseticida aplicados sobre a fonte de alimento, o que pode comprometer o manejo de insetos resistentes e fornecer-lhes novas possibilidades de adaptação a novos ambientes.

A possibilidade de sobrevivência de um inseto a um inseticida pode ser grandemente aumentada caso o comportamento seja o de evitar superfícies tratadas. A percepção da presença de inseticidas no ambiente pode ser conseguido através da habilidade, modificações genéticas em seus receptores periféricos ou nos sistemas de processamento, que resultará na evolução da resistência comportamental a inseticidas em algumas espécies de insetos-praga (Hoy et al., 1998; Gould, 1991).

Entretanto as populações resistentes fisiologicamente são também comportamentalmente resistentes à deltametrina comprometendo ainda mais a eficiência deste composto, o qual pode também estender-se a outros piretróides. Além disso, a plasticidade de resposta observada entre populações de *S. zeamais*, sugere que altas doses, como táticas de manejo, aumenta a mortalidade e torna a resistência uma característica recessiva, o que não é promissor neste caso (Guedes et al., 2009). O uso de doses mais elevadas de inseticidas só vai aumentar o comportamento de evitar áreas tratadas, minimizando a mortalidade pretendida.

Conclusões

Observando sob uma perspectiva mais aplicada, é importante notar que compostos

recomendados para o controle de *S. zeamais*, estão perdendo a eficiência, em decorrência da baixa suscetibilidade dos insetos aos resíduos do princípio ativo. E ainda existem diferenças nas respostas quanto à toxicidade destes produtos em função da origem geográfica da população, uma resistência comportamental, em decorrência do manejo. Produtos pertencentes a grupos químicos distintos precisam ser introduzidos no controle dessas pragas, para diminuir essa resistência, e possibilitar o uso futuro dos piretróides, bem como o correto manejo.

Agradecimentos

Ao convênio CNPq/FAPEPI, pela bolsa de Desenvolvimento Científico Regional.

Referências Bibliográficas

- Adda, C., Borgemeister, C., Biliwa, A., Meikle, W.G., Markham, R.H., Poehling, H.-M. 2002. Integrated pest management in post-harvest maize. a case study from the Republic of Togo (West Africa). *Agriculture Ecosystems Environmental* 93: 305-321.
- Antunes, L.E.G., Viebrantz, P.C., Gottardi, R., Dionello, R.G. 2011. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola ambiental* 1807-1929.
- Araújo, R.A., Guedes, R.N.C., Oliveira, M.G.A., Ferreira, G.H. 2008. Enhanced proteolytic and cellulolytic activity in insecticide-resistant strains of maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Journal of Stored Products Research* 44: 354-359.
- Araújo, R.A., Williamson, M.S., BASS, Christopher., Field, L.M., Duce, I.R. 2011. Pyrethroid resistance in *Sitophilus zeamais* is associated with a mutation (T929I) in the voltage-gated sodium channel. *Molecular Biology* 20(4): 437-445.
- Badmin, J.S. 1990. IRAC survey of resistance of stored grain pests: results and progress. In: 5 International Working Conference on Stored Product Protection. *Proceedings...* INRA, Bordeaux, France. 2: 973-981.
- Boivin, T., D`Hières, C.C., Bouvier, J.C., Besley, D., Saupharior. 2001. Pleiotropism of insecticide in the codling moth. *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentales et Applicata* 99: 381- 386.
- Braga, L.S., Corrêa, A. S., Pereira, E.J.G., Guedes, R.N.C. 2011. Face or flee? Fenitrothion resistance and behavioral response in populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Journal of*

Stored Products Research 47: 161-167.

Brown, S.L., Lee, R.D. 2002. Effect of planting date, variety and degree of ear maturation on the colonization of field corn by maize weevils (Coleoptera: Curculionidae). *Journal Entomology Science* 37: 137-142.

Corrêa, A.S., Braga, E.M.G., Pereira, E.J.G., Guedes, R.N.C. 2010. Physiological and behavioral resistance to esfenvalerate + fenithrothion in population of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. In: 10th International Working Conference on Stored Product Protection. *Proceedings...* Estoril, Portugal. p. 425.

Corrêa, A.S., Braga, E.M.G., Pereira, E.J.G., Guedes, R.N.C. 2011. Insecticide resistance, mixture potentiation and fitness in population of the maize the weevil, *Sitophilus zeamais*. *Crop Protection* 30: 1655-1666.

Danho, M., Gaspar, C., Haubruge, E. 2002. The impact of grain quantity on the biology of *Sitophilus zeamais* Motschulski (Coleoptera: Curculionidae) ovipositions, distribution of eggs, adult emergence, body weight and sex ratio. *Journal Stored Products Research* 38: 259-266.

Eaton, D.L., Klassen, C.D. 2003. Principles of toxicology, p. 6-20. In: Klassen, C.D., Watkins III, J.B. (eds). *Casarett & Doull's essentials of toxicology*. McGraw-Hill, New York, USA. 533 p.

Futuyma, D.G. 1998. *Evolutionary Biology*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 759 p.

Gould, F. 1991. Arthropod behavior and the efficacy of plant protectants. *Annual Review Entomology* 36: 305-330.

Guedes, R.N.C. 1991. Resistência a inseticidas: desafio para o controle de pragas de grãos armazenados. *Seiva* 50: 24-29.

Guedes, R.N.C., Lima, J.O.L., Santos, J.P., Cruz, C.D. 1995. Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). *Journal Stored Products Research* 31: 145-150.

Guedes, N.M.P., Guedes, R.N. C., Silva, L.B., Cordeiro, E.M.G., Ferreira, G.H. 2009. Deltamethrin-induced feeding plasticity in pyrethroid-susceptible and resistant strains of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Pest Management Science*. 133: 524-532.

Hagstrum, D.W., Flinn, P.W., Howard, R.W. 1996. Ecology. In: Subramayam, Bh., Hagstrum, D.W. (Eds.). 1996. *Integrated Management of Insects in Stored Products*. Marcel Dekker, New York, USA. p. 71-134.

Hoy, C.W.; Head, G.P., Hall, F.R. 1998. Spatial heterogeneity and insect adaptation to toxins. *Annual Review Entomology* 43: 571-594.

Kence, M., Jdeidi, T. 1997. Effect of malathion on larval competition in house fly (Diptera: Muscidae) populations. *Journal Economy Entomology* 90: 59-65.

Kongmee, M., Prabaripai, A., Akwatanakul, P., Bangs, M.J., Chareonviriyaphap, T. 2004. Behavioral responses of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) exposed to deltamethrin and possible implications for disease control. *Journal of Medical Entomology* 41: 1055-1063.

Pagliucci, M., Mauren, C.J. 2003. Genetic assimilation and a possible evolutionary paradox: can macroevolution sometimes be so fast as to pass us by? *Evolution* 57: 1464-1464.

Pereira, C.J.; Perira, E.J.G.; Cordeiro, E.M.G.; Lucia, T.M.C.D.; Tótola, M.R.; Guedes, R.N.C. 2009. Organophosphate resistance in maize weevil *Sitophilus zeamais*: Magnitude and behavior. *Crop Protection* 28: 168-173.

Pimentel, M.A.G., Faroni, L.R.A., Corrêa, A.S., Guedes, R.N.C. 2012. Phosphine-induced walking response of the lesser grain borer. *Pest Management Science* 32: 11- 32.

Rees, D.J. 1996. Coleoptera. In: Subramayam, B.H., Hagstrum, D.W. (Eds.) *Integrated management of insects in stored products*. Marcel Dekker, New York, USA. p. 1-39.

Ribeiro, B.M., Guedes, R.N.C., Oliveira, E.E., Santos, J.P. 2003. Insecticide resistance and synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal Stored Products Research* 39: 21-31.

SAS Institute. 2002. *SAS/STAT User's Guide*, version 8. SAS Institute, Cary, USA. CD-ROM.

Silva, L.B., Reis, A.P., Pereira, E.J.G., Oliveira, M.G.A., Guedes, R.N.C. 2010a. Altered cysteine proteinase activity in insecticide-resistant strains of the maize weevil: purification and characterization. *Comparative Biochemistry and Physiology B* 157: 80 - 87.

Silva, L.B., Reis, A.P., Pereira, E.J.G., Oliveira, M.G.A., Guedes, R.N.C. 2010b. Partial purification and characterization of trypsin-like proteinases from insecticide-resistant and -susceptible strains of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Comparative Biochemistry and Physiology B* 155:12 - 19.

Stearns, S.C., Hoekstra, R.F. 2000. *Evolution: an Introduction*. Oxford University Press, Oxford, UK. 381 p.

Subramanyam, B.H., Hagstrum, D.W. 1996. Resistance measurement and management. In: Subramanyam, B.H., Hagstrum, D.W. (eds.) *Integrated management of insects in stored products*. Marcel Dekker, New York, USA. p. 331-397.

Suiter, K.A., Gould, F. 1994. Physiological and behavioral avoidance responses to residues of four pesticides by six spider mite populations. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 71: 1-14.

Tran, B.M.D., Credland, P.F. 1995. Consequences of inbreeding for the cowpea seed beetle, *Callosobruchus maculatus*. *Biological Journal of the Linnean Society* 56: 483-503.

Walthall, W.K., Stark, J.D. 1997. Comparison of two population-level ecotoxicological endpoints: the intrinsic (r_m) and instantaneous (r_i) rates of increase. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16: 1068-1073.