

JOÃO LUCIANO DE ANDRADE MELO JUNIOR

**RESISTÊNCIA DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* À INSETICIDAS DE
AÇÃO POR CONTATO, EM PERNAMBUCO**

GARANHUNS, PERNAMBUCO – BRASIL

FEVEREIRO – 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

**RESISTÊNCIA DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* À INSETICIDAS DE
AÇÃO POR CONTATO, EM PERNAMBUCO**

JOÃO LUCIANO DE ANDRADE MELO JUNIOR

ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

DR. CÉSAR AUGUSTE BADJI

COORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

DR. KLEBER RÉGIS SANTORO

Dissertação apresentada à
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em
Produção Agrícola, para obtenção do
título de *Mestre*.

GARANHUNS
PERNAMBUCO – BRASIL
FEVEREIRO – 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

**RESISTÊNCIA DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* À INSETICIDAS DE
AÇÃO POR CONTATO, EM PERNAMBUCO**

JOÃO LUCIANO DE ANDRADE MELO JUNIOR

GARANHUNS
PERNAMBUCO – BRASIL
FEVEREIRO – 2015

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

M528r Melo Junior, João Luciano de Andrade

Resistência de populações de *Sitophilus zeamais*
à inseticidas de ação por contato, em Pernambuco /
João Luciano de Andrade Melo Junior. - Garanhuns,
2015.

52f.

Orientador: César Auguste Badji
Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) -
Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade
Acadêmica de Garanhuns, 2015.

Inclui bibliografias

CDD: 632.95

1. *Sitophilus zeamais*
 2. Pesticidas
 3. Estratégias de manejo
- I. Badji, César Auguste
 - II. Título

**RESISTÊNCIA DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* À INSETICIDAS DE
AÇÃO POR CONTATO, EM PERNAMBUCO**

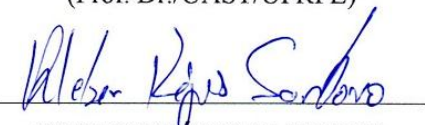
JOÃO LUCIANO DE ANDRADE MELO JUNIOR

APROVADA EM 06 DE FEVEREIRO DE 2015



**CARLOS ROMERO FERREIRA DE
OLIVEIRA**

(Prof. Dr./UAST/UFRPE)



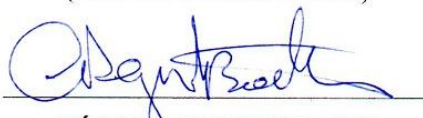
KLEBER RÉGIS SANTORO

(Prof. Dr./UAG/UFRPE/Coorientador)



**CLÁUDIA HELENA CYSNEIROS
MATOS DE OLIVEIRA**

(Prof.^a. Dr.^a/UAST/UFRPE)



CÉSAR AUGUSTE BADJI

(Prof. Dr./UAG/UFRPE/Orientador)

“Esperei com paciência no SENHOR, e ele se inclinou para mim, e ouviu o meu clamor.”

Salmo 40
Deus é Fiel

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

Martin Luther King

Ofereço

À Deus.

E dedico esta dissertação

À minha mãe, Maria Ferreira da Silva.

Ao meu pai, João Luciano de Andrade Melo.

Ao meu irmão, Luan Danilo Ferreira de Andrade Melo.

À minha namorada, Larice Bruna Ferreira Soares.

AGRADECIMENTOS

- À Deus, por estar ao meu lado em todas as circunstâncias, dando-me força e fé, para reerguer-me nos momentos difíceis.
- À minha mãe, Maria Ferreira da Silva, pela educação, dedicação, carinho e zelo, indispensáveis à minha formação.
- Ao meu pai, João Luciano de Andrade Melo, pelo esforço e apoio incondicional em minha jornada profissional, além do exemplo de pessoa e homem.
- Ao meu irmão, Luan Danilo Ferreira de Andrade Melo, pelo incentivo e companheirismo.
- À minha namorada, Larice Bruna Ferreira Soares, pela paciência e amor, essenciais durante esse período.
- Aos meus avós, Arlindo Ferreira da Silva e Ana Brasileira da Silva.
- À minha tia, Maria de Fátima Ferreira da Silva.
- À minha sogra, Maria José Ferreira Rodrigues.
- Aos meus familiares e amigos.
- Ao professor César Auguste Badji, pela orientação inestimável, amizade e confiança, nesses dois anos de convivência.
- À professora Cynthia Maria de Lyra Neves, e aos membros do Laboratório de Entomologia Aplicada, pelos auxílios na condução dos experimentos e convívio agradável.
- Aos professores Kleber Régis Santoro, Carlos Romero Ferreira de Oliveira e Cláudia Helena Cysneiros Matos de Oliveira, pelas contribuições valiosas.
- À Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola, pela oportunidade do curso.
- Ao programa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.
- À todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do presente trabalho.

BIOGRAFIA

João Luciano de Andrade Melo Junior, filho de Maria Ferreira da Silva e João Luciano de Andrade Melo, nasceu no dia 26 de junho de 1991, na cidade de Garanhuns, Estado de Pernambuco. Em 1994, ingressou no Ensino Fundamental na Escola Educandário Santa Alice, e finalizou-o no Colégio Diocesano de Garanhuns. Neste Colégio, em 2005, iniciou o Ensino Médio, concluindo-o em 2007. Em 2008, ingressou no curso de Agronomia da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, graduando-se em fevereiro de 2013. Ingressou em março de 2013 no Mestrado em Produção Agrícola da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, finalizando-o em fevereiro de 2015.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	11
GENERAL SUMMARY	12
INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

CAPÍTULO ÚNICO

RESISTÊNCIA DE POPULAÇÕES PERNAMBUCANAS DE *Sitophilus zeamais* À PERMETRINA E PIRIMIFÓS METÁLICO

RESUMO	24
SUMMARY	25
1. INTRODUÇÃO.....	26
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1. Populações de <i>S. zeamais</i>	28
2.2. Criação e manutenção das populações de <i>S. zeamais</i> em laboratório	28
2.3. Inseticidas e solvente	28
2.4. Bioensaios de detecção de resistência	29
2.5. Análise estatística	30
3. RESULTADOS	33
4. DISCUSSÃO	38
5. CONCLUSÕES	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

RESUMO GERAL

A produção de milho em geral é uma atividade que ocupa lugar de destaque no agronegócio brasileiro. O gorgulho-do-milho é a principal praga de grãos e gêneros alimentícios armazenados no Brasil. Seu controle é realizado tradicionalmente através de inseticidas. Entretanto, a utilização maciça dos pesticidas, tem levado a falhas de controle em armazéns brasileiros, em razão da seleção de populações resistentes. No Nordeste, é escasso o número de pesquisas para esta espécie. Logo, o presente estudo teve como objetivos investigar a resistência a piretróides e organofosforados e discuti-la em diferentes populações pernambucanas de *S. zeamais*. Estas populações foram coletadas em municípios onde falhas no controle com a aplicação de inseticidas são relatadas com frequência. Conduziram-se bioensaios de concentração-resposta, sendo as informações obtidas submetidas à análise de próbite. Nos testes de detecção da resistência, foram usadas CL_{95} das populações mais susceptíveis, Sete Lagoas e Lajedo, indicadas como discriminantes para permetrina e pirimifós metílico, respectivamente. Os resultados demonstraram razões de resistência de até 53,3 vezes. Identificaram-se variações significativas em pelo menos nove populações. Verificou-se maior poder letal do pirimifós metílico em relação ao permetrina, baseado nas CL_{50} . Os dados indicaram cinco casos de resistência. Três populações apresentaram resistência unicamente a piretróides. No caso de duas populações, foi detectada resistência tanto ao piretróide como ao organofosforado testado, pressupondo-se ocorrência de resistência múltipla. Não houve resistência somente a organofosforados. No Agreste pernambucano, as populações são ainda particularmente sensíveis ao organofosforado. Já, se referindo ao permetrina, a introdução de estratégias de controle em áreas onde este e outros piretróides são aplicados é aconselhada, alterando intervalos de aplicações, fazendo rotação dos produtos e implementando outros métodos de manejo.

Palavras-chave: milho, pesticidas, armazéns brasileiros, estratégias de manejo.

GENERAL SUMMARY

Maize production in general is an activity that occupies a prominent place in the Brazilian agribusiness. Weevil in corn is the major pest of grain and foodstuffs stored in Brazil. His control is traditionally performed by insecticides. However, the massive use of pesticides, has led to control failures in Brazilian warehouses, due to the selection of resistant populations. In the Northeast, is scarce the number of searches for this species. Then, the present study aimed to investigate the resistance to pyrethroids and organophosphates and discuss it in different Pernambuco populations of *S. zeamais*. These populations were collected in municipalities where failures in control with the application of insecticides are reported frequently. Bioassays were conducted on concentration-response, and the obtained information submitted to probit analysis. In resistance tests, were used LC₉₅ the most susceptible populations, Sete Lagoas and Lajedo, indicated as discriminants for permethrin and pirimiphos methyl, respectively. The results showed resistance ratios of up to 53,3 times. We identified significant variations in at least nine people. A higher lethality of pirimiphos methyl compared to permethrin, based on LC₅₀. The data indicated five cases of resistance. Three populations were resistant only to pyrethroids. If two populations, resistance was detected both pyrethroid as the tested organophosphate, assuming the occurrence of multidrug resistance. There was no resistance to organophosphates only. In Pernambuco hinterland, populations are also particularly sensitive to organophosphate. Already, referring to permethrin, the introduction of management strategies in areas where this and other pyrethroids are applied is advised, changing ranges of applications, making product rotation and implementing other management methods.

Keywords: maize, pesticides, Brazilian warehouses, management strategies.

INTRODUÇÃO GERAL

O milho é o cereal mais consumido do mundo, em especial, por causa de suas fontes nutricionais, entre as quais estão as fibras, carboidratos, proteínas e vitaminas (ANTUNES; DIONELLO, 2010). Na safra mundial de milho 2014/15 prevê-se uma produção global recorde de 988,1 milhões de toneladas (IBGE, 2014).

O gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 é um coleóptero da família Curculionidae (LORINI, 2002), e uma das pragas mais relevantes no cenário dos grãos armazenados (FARONI; SOUZA (2006). Seu ataque é mais intenso em milho (GUEDES et al., 2009), afetando também sorgo, trigo, arroz, cevada, aveia e produtos alimentícios industrializados (REES, 1996; ADDA et al., 2002).

Kuschel (1961) descobriu características na genitália do gorgulho, mais especificamente na morfologia do edeago, que possibilitou a discriminação e identificação segura da espécie em discussão. Segundo Lorini (2002), o ciclo de ovo até a emergência de adultos dura cerca de 34 dias. Seu período de incubação oscila entre 3 e 6 dias, e o período de oviposição é de 104 dias, tendo o milho como hospedeiro (LOECK, 2002). A fêmea tem longevidade de 140 dias, podendo ovipositar até 282 ovos (3 ovos por dia) (GUEDES, 1991). Os ovos apresentam aspecto leitoso e tamanho de 0,76 x 0,27 mm (REES, 1996).

As larvas são de coloração amarelo-claro, tipo curculioniforme, e as pupas de cor branca. Os adultos têm de 2,0 a 3,5 mm de comprimento e coloração castanho-escuro, com manchas claras nos élitros, visíveis logo após a emergência. Têm a cabeça projetada à frente, na forma de rostro curvado. Nos machos, o rostro é mais curto e grosso, e nas fêmeas, longo e afilado (ROSSETO, 1969; LORINI; SCHNEIDER, 1994). O número de gerações de *S. zeamais* é de sete, com tempo médio de vida de cinco meses, como relataram Teetes et al. (1983).

Suas formas jovens se desenvolvem no interior dos grãos, utilizando-o como alimento e abrigo, e esse processo, aliado à ação dos indivíduos adultos que também se alimentam dos grãos, leva a perdas que podem alcançar 20 % do total do peso do grão armazenado (SANTOS et al., 2009). A ação desse inseto-praga é favorecida em condições de 28 °C e 60 % de umidade relativa (LORINI, 2008). É considerada a principal praga do milho estocado no Brasil (LORINI, 2002), sendo uma praga primária interna de importância por atacar o grão inteiro (CERUTI; LÁZZARI, 2003; DANHO; HAUBRUGE, 2003). Como ataca os produtos agrícolas tanto no campo quanto nas

unidades armazenadoras, normalmente, possui capacidade de infestação cruzada (HAGSTRUM et al., 1996; SANTOS; MONTOVANI, 1997; BROWN; LEE, 2002; CANEPPELE et al., 2003; CERUTI et al., 2008).

O uso intenso de inseticidas na agricultura, com o objetivo de proteger os cultivos do ataque de artrópodes, impõe forte seleção a esses compostos, resultando no rápido desenvolvimento do fenômeno de resistência (WHALON et al., 2008) e acarretando falhas de controle dos organismos-alvo (MULLIN; SCOTT, 1992). Em pragas de produtos armazenados, a resistência a inseticidas é um caso particular, pois além dos prejuízos diretos, ainda pode ser disseminada pelo comércio de produtos infestados por indivíduos resistentes (CHAMP; DYTE, 1976; SUBRAMANYAM; HAGSTRUM, 1996).

Diante disso, esforços têm sido constantemente empregados na elaboração de métodos alternativos ao controle químico, dentro de táticas de manejo integrado (GUEDES et al., 1996; FARONI et al., 2001; COLLINS; COOK, 2006; VELTEN et al., 2008). A utilização de inseticidas, porém, continua sendo o método mais adotado, em consequência de sua maior eficiência e menor custo (GUEDES, 1991; WHITE; LEESCH, 1996; RIBEIRO et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2007; SOUSA et al., 2008; SILVA et al., 2013).

A resistência é uma característica relativa, afetada por fatores genéticos como alterações no genótipo do indivíduo e suas interações (LI et al., 2007). Fatores operacionais relativos ao emprego do produto químico influenciam também a ocorrência de resistência (ROUSH; McKENZIE, 1987). Trata-se, portanto, da capacidade de uma população sobrepujar o efeito de agentes tóxicos que seriam letais para a maioria dos indivíduos normais numa população da mesma espécie (WHO, 1960; GEORGHIOU; TAYLOR, 1977).

Os insetos podem apresentar diversos mecanismos de resistência a inseticidas: bioquímicos, fisiológicos e comportamentais (GEORGHIOU, 1972; BRATTSTEN et al., 1986; BERTICAT et al., 2008). A detoxificação é um dos mais importantes e de ocorrência comum (SAWICKI, 1979; HOSTETLER et al., 1994; HEMINGWAY, 2000), estando relacionada ao aumento na excreção dos compostos, originado principalmente por três grupos enzimáticos: glutathione-S-transferases (GSTs), esterases (ESTs) e monooxigenases dependentes de citocromo P450 (CYPs) (PERRY et al., 2011). Nesses tipos de estudos, podem ser usados sinergistas, obtendo-se indícios de qual mecanismo de resistência está atuando no indivíduo, pois de acordo com Guedes et

al. (1998) e Scott (1999), essas substâncias inativam grupos enzimáticos detoxificadores, ligando-se a sua estrutura. Taylor; Feyereisen (1996); Fragoso et al. (2007); Guedes et al. (2009) citaram as modificações nos sítios alvos como o principal mecanismo de resistência, baseado em estudos demográficos e fisiológicos. A resistência kdr (knock-down resistance) a piretróides (LIU et al., 2000; SODERLUND; KNIPPLE, 2003; WONDJI et al., 2008) e a afinidade reduzida da acetilcolinesterase (AChE) a fosforados (GUEDES et al., 1995; HEMINGWAY; RANSON, 2000), conferem níveis de resistência em insetos (RIBEIRO et al., 2007; ARAÚJO et al., 2008; CORRÊA et al., 2008). Oppenoorth; Welling (1976); Brattsten et al. (1986); Soderlund; Bloomquist (1990) e McKenzie (1996) não descartam a possibilidade de outros mecanismos, como redução na penetração cuticular, sequestro do produto em algum tecido específico do inseto e aumento na excreção dos compostos tóxicos. O inseto pode alterar seu comportamento para evitar áreas tratadas (LOCKWOOD et al., 1984; LORINI; GALLEY, 1998), devido mudanças nos órgãos sensoriais e experiência prévia de exposição (MBOGO et al., 1996; HOY et al., 1998; FFRENCH-CONSTANT, 1999; MATHENGE et al., 2001).

A ocorrência de resistência a determinado grupo de inseticidas em pragas de grãos armazenados tem assumido destacada importância nos últimos anos, reportada em vários países do mundo, como México, Estados Unidos, Canadá, Índia, Ruanda, Austrália, Indonésia e Filipinas (SUBRAMANYAM; HAGSTRUM, 1996; MENDONZA, 1999). Entretanto, há poucos estudos de resistência para populações brasileiras de *S. zeamais*, destacando-se trabalhos como os de Guedes et al. (1994, 1995); Ribeiro et al. (2003); Fragoso et al. (2005). No Nordeste, trabalhos de resistência dessa espécie ainda são escassos. Dessa forma, o objetivo foi realizar um levantamento em populações pernambucanas, da resistência desse inseto-praga a inseticidas piretróides e organofosforados, que têm registro para uso em milho armazenado no Brasil, uma vez que constituem grupos importantes. Foi também realizada uma discussão preliminar sobre os prováveis mecanismos de resistência envolvidos. À vista disso, esta pesquisa pode gerar conhecimentos que servirão de subsídio para a elaboração de estratégias de controle, como táticas e intervalos de aplicações, suspensão ou rodízio de produtos e implementação de outros métodos de manejo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDA, C.; BORGEMEISTER, C.; BILIWA, A.; MEIKLE, W. G.; MARKHAM, R. H.; POEHLING, H. M. Integrated pest management in post-harvest maize a case study from the Republic of Togo (West Africa). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 93, p. 305- 321, 2002.
- ANTUNES, L. E. G.; DIONELLO, R. G. Bioecologia de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae). 2010. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/Sitophilus/index.htm>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- ARAÚJO, R. A.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, M. G. A.; FERREIRA, G. H. Enhanced proteolytic and cellulolytic activity in insecticide-resistant strains of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, p. 354-359, 2008.
- BERTICAT, C.; BONNET, J.; DUCHON, S.; AGNEW, P.; WEILL, M.; CORBEL, V. Costs and benefits of multiple resistance to insecticides for *Culex quinquefasciatus* mosquitoes. **BMC Evolutionary Biology**, v. 8, p. 1-9, 2008.
- BRATTSTEN, L. B.; HOLYOKE JUNIOR, C. W.; LEEPER, J. R.; RAFFA, K. F. Insecticide resistance: challenge to pest management and basic research. **Science**, v. 231, p. 1255-1260, 1986.
- BROWN, S. L.; LEE, R. D. Effect of planting date, variety and degree of ear maturation on the colonization of field corn by maize weevils (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Entomological Science**, v. 37, p. 137-142, 2002.
- CANEPPELE, M.; CANEPPELE, C.; LÁZZARI, F. A.; LÁZZARI, A. M. Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 47, n. 4, p. 625-630, 2003.
- CERUTI, F. C.; LAZZARI, S. M. N.; LAZZARI, F. A.; PINTO JUNIOR, A. R. Efficacy of diatomaceous earth and temperature to control the maize weevil in stored maize. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 73-78, 2008.
- CERUTI, F. C.; LÁZZARI, S. M. N. Utilização de bioensaios e marcadores moleculares para detecção da resistência de coleópteros de produtos armazenados a inseticidas. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 47, n. 3, p. 447-453, 2003.

- CHAMP, B. R.; DYTE, C. E. Report of the FAO global survey of pesticides susceptibility of stored grain pests. **FAO Plant Production and Protection Series**, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, n. 5, p. 297, 1976.
- COLLINS, D. A.; COOK, D. A. Laboratory studies evaluating the efficacy of diatomaceous earths, on treated surfaces, against stored-product insect and mite pests. **Journal of Stored Products Research**, v. 42, p. 51-60, 2006.
- CORRÊA, A. S.; SANTOS, C. T.; OLIVEIRA, E. E.; TOLLEDO, J. S.; CORDEIRO, E. M. G.; GUEDES, R. N. C. Custo adaptativo da resistência através da competição entre populações susceptíveis de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) e resistentes a piretróides. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 33, p. 19-28, 2008.
- DANHO, M.; HAUBRUGE, E. Comportement de ponte et stratégie reproductive de *Sitophilus zeamais* [Coleoptera: Curculionidae]. **Revue Phytoprotection Journal**, v. 84, p. 59-67, 2003.
- FARONI, L. R. A.; SOUZA, A. H. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados. In: Almeida, F. A. C.; Duarte, M. E. M.; Mata, M. E. R. M. C. (Ed.). **Tecnologia de Armazenagem em Sementes**, Campina Grande, UFCG, cap. 7, p. 371-402, 2006.
- FARONI, L. R. D'A.; GUEDES, R. N. C.; MATIOLI, A. L. Effect of temperature on development and population growth of *Acarophenax lacunatus* (Cross & Krantz) (Prostigmata: Acarophenacidae) on *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 11, p. 7-14, 2001.
- FFRENCH-CONSTANT, R. H. Target site mediated insecticide resistance: what questions remain? **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 29, p. 397-403, 1999.
- FRAGOSO, D. B.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, M. G. A. Partial characterization of glutathione S-transferases in pyrethroid-resistance and susceptible populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 167-170, 2007.
- FRAGOSO, D. B.; GUEDES, R. N. C.; PETERNELLI, L. A. Developmental rates and population growth of insecticide-resistant and susceptible populations of *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 41, p. 271-281, 2005.

- GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, C. E. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. **Journal of Economic Entomology**, v. 70, p. 319-323, 1977.
- GEORGHIOU, G. P. The evolution of resistance to pesticides. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 3, p. 133-168, 1972.
- GUEDES, N. M. P.; GUEDES, R. N. C.; FERREIRA, G. H.; SILVA, L. B. Flight take-off and walking behavior of insecticide-susceptible and resistant-strains of *Sitophilus zeamais* exposed to deltamethrin. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 99, p. 393-400, 2009.
- GUEDES, R. N. C.; ZHU, K. Y.; KAMBHAMPATI, S.; Altered acetylcholinesterase associate with organophosphate resistance in *Rhyzopertha dominica* (F) (Col., Bostrichidae) populations from Brasil and United States. **Journal Applied Entomology**, v. 58, p. 269-273, 1998.
- GUEDES, R. N. C.; DOVER, B. A.; KAMBHAMPATI, S. Resistance to chlorpyrifosmethyl, pirimiphos-methyl, and malatiom in Brazilian and U.S. populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 89, p. 27-32, 1996.
- GUEDES, R. N. C.; LIMA, J. O. L.; SANTOS, J. P.; CRUZ, C. D. Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 145-150, 1995.
- GUEDES, R. N. C.; LIMA, J. O. G.; SANTOS, J. P.; CRUZ, C. D. Inheritance of deltamethrin resistance in a Brazilian strain of maize weevil (*Sitophilus zeamais* Motsch.). **International Journal of Pest Management**, v. 40, p. 103-106, 1994.
- GUEDES, R. N. C. Resistência a inseticidas: desafio para o controle de pragas de grãos armazenados. **Seiva**, v. 50, p. 24-29, 1991.
- HAGSTRUM, D. W.; FLINN, P. W.; HOWARD, R. W. Ecology. In: Subramanyam, B. H.; Hagstrum, D. W. (Ed.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**, Marcel Dekker, New York, USA, p. 71-134, 1996.
- HEMINGWAY, J. The molecular basis of two contrasting metabolic mechanisms of insecticide resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 30, p. 1009-1015, 2000.
- HEMINGWAY, J.; RANSON, H. Insecticide Resistance in Insect Vectors of Human Disease. **Annual Review of Entomology**, v. 45, p. 371-391, 2000.

- HOSTETLER, M. E.; ANDERSON, J. F.; LANCIANI, C. Pesticide resistance and metabolic rate in *German cockroach* (Dictyoptera: Blattellidae). **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 77, n. 2, p. 288-290, 1994.
- HOY, C. W.; HEAD, G. P.; HALL, F. R. Spatial heterogeneity and insect adaptation to toxins. **Annual Review of Entomology**, v. 43, p. 571-594, 1998.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>>. Acesso em: 07 fev. 2015.
- KUSCHEL, G. On problems of synonymy in the *Sitophilus oryzae* complex (30th contribution. Coleoptera, Curculionidae). **Annual and Magazine of Natural History**, London, v. 13, p. 241-244, 1961.
- LI, X.; SCHULER, M. A.; BERENBAUM, M. R. Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 231-253, 2007.
- LIU, Z.; VALLES, S. M.; DONG, K. Novel point mutations in the German cockroach para sodium channel gene are associated with knockdown resistance (kdr) to pyrethroid insecticides. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 30, p. 991-997, 2000.
- LOCKWOOD, J. A.; SPARKS, T. C.; STORY, R. N. Evolution of insect resistance to insecticides: a reevaluation of the roles of physiology and behavior. **Bulletin of the Entomological Society of America**, v. 30, p. 41-51, 1984.
- LOECK, A. E. **Pragas de Produtos Armazenados**, Pelotas, EGUFPEL, 113p., 2002.
- LORINI, I. **Manejo Integrado de Pragas de Grãos de Cereais Armazenados**, Passo Fundo, Embrapa Trigo, 72p., 2008.
- LORINI, I. Descrição, biologia e danos das principais pragas de grãos armazenados. In: Irineu, L.; Miike, L. H.; Scussel, V. M. (Ed.). **Armazenagem de Grãos**, Campinas, Instituto Biogeneziz, cap. 7.1, p. 379-397, 2002.
- LORINI, I.; GALLEY, D. J. Relative effectiveness of topical, filter paper and grain applications of deltamethrin, and associated behavior of *Rhyzopertha dominica* (F.) strains. **Journal of Stored Products Research**, v. 34, p. 377-383, 1998.
- LORINI, I.; SCHNEIDER, S. **Pragas de grãos armazenados: resultados de pesquisa**, Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 47p., 1994.

- MATHENGE, E. M.; GIMNIG, J. E.; KOLCZAK, M.; OMBOK, M.; IRUNGU, L. W.; HAWLEY, W. A. Effect of permethrin-impregnated nets on exiting behavior, blood feeding success, and time of feeding of malaria mosquitoes (Diptera: Culicidae) in western Kenya. **Journal of Medical Entomology**, v. 38, p. 531-536, 2001.
- MBOGO, C. N.; BAYA, N. M.; OFULLA, A. V.; GITHURE, J. I.; SNOW, R. W. The impact of permethrin-impregnated bednets on malaria vectors of the Kenyan coast. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 10, p. 251-259, 1996.
- McKENZIE, J. A. The biochemical and molecular bases of resistance: applications to ecological and evolutionary questions. In: McKenzie, J. A. (Ed.). **Ecological and Evolutionary Aspects of Insecticide Resistance**, Academic, Austin, p. 123-147, 1996.
- MENDOZA, P. J. Survey of insecticide resistance in Mexican populations of maize weevil, *Sitophilus zeamais* M. (Coleoptera; Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 35, p. 107-115, 1999.
- MULLIN, C. A.; SCOTT, J. B. Biomolecular basis for insecticide resistance: classification and comparisons. In: Mullin, C. A.; Scott, J. G. (Ed.). **Molecular mechanism of insecticide resistance- diversity among insects**, Washington, ACS, p. 1-15, 1992.
- OLIVEIRA, E. E.; GUEDES, R. N. C.; TÓTOLA, M. R.; de MARCO, P. Competition between insecticide-susceptible and resistant populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Chemosphere**, v. 69, p. 17-24, 2007.
- OLIVEIRA, E. E.; GUEDES, R. N. C.; CORRÊA, A. S.; DAMASCENO, B. L.; SANTOS, C. T. Resistência vs suscetibilidade a piretróides em *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae): há vencedor? **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 981-990, 2005.
- OPPENORTH, F. J.; WELLING, W. Biochemistry and physiology of resistance. In: Wilkinson, C. F. (Ed.). **Insecticide Biochemistry and Physiology**, New York, Plenum, p. 507-551, 1976.
- PERRY, T.; BATTERHAM, P.; DABORN, P. J. The biology of insecticidal activity and resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, p. 411-422, 2011.
- REES, D. P. Coleoptera. In Subramanyam, B. H.; Hagstrum, D. W. (Ed.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**, New York, Marcel Dekker, USA, p. 1-39, 1996.

- RIBEIRO, B. M.; GUEDES, R. N. C.; CORRÊA, A. S.; SANTOS, C. T. Fluctuating asymmetry in insecticide-resistant and insecticide-susceptible strains of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Archives of Environmental Contamination Toxicology**, v. 53, p. 77-83, 2007.
- RIBEIRO, B. M.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, E. E.; SANTOS, J. P. Insecticide resistance and synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 39, p. 21-31, 2003.
- ROSSETO, C. J. O complexo de *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 28, n. 10, p. 127-148, 1969.
- ROUSH, R. T.; MCKENZIE, J. A. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. **Annual Review of Entomology**, v. 32, p. 361-380, 1987.
- SANTOS, J. C.; FARONI, L. R. D.; SIMÕES, R. O.; PIMENTEL, M. A. G.; SOUSA, A. H. Toxicidade de inseticidas piretróides e organofosforados para populações brasileiras de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 6, p. 75-81, 2009.
- SANTOS, J. P.; MONTOVANI, E. C. **Avaliação de perdas quantitativas no milho armazenado a nível de fazenda**, Sete Lagoas, CNPMS/EMBRAPA, 24p., 1997.
- SAWICKI, R. M. Resistance of insects to insecticides. **Span**, v. 20, n. 2, p. 50-52, 1979.
- SCOTT, J. G. Cytochromes p450 and insecticide resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 29, p. 757-777, 1999.
- SILVA, L. B.; SILVA, L. S.; MANCINI, A. C.; CARVALHO, G. S.; SILVA, J. C.; ANDRADE, L. H. Comportamento do gorgulho-do-milho frente à doses de permetrina. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 1, p. 26-34, 2013.
- SODERLUND, D. M.; KNIPPLE, D. C. The molecular biology of knockdown resistance to pyrethroid insecticides. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 33, p. 563-577, 2003.
- SODERLUND, D. M.; BLOOMQUIST, J. R.; Molecular mechanisms of insecticide resistance. In: Roush, R. T.; Tabashnik, B. E. **Pesticide Resistance in Arthropods**, New York, Chapman & Hall, p. 58-96, 1990.
- SOUSA, A. H.; FARONI, L. R. D.; GUEDES, R. N. C.; TOTOLA, M. R.; URRUCHI, W. I. Ozone as a management alternative against phosphine-resistant insect pests of stored products. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, p. 379-385, 2008.

- SUBRAMANYAM, B. H.; HAGSTRUM, D. W. Resistance measurement and management. In: Subramanyam, B. H.; Hagstrum, D. W. (Ed.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**, New York, Marcel Dekker, USA, p. 331-397, 1996.
- TAYLOR, M.; FEYEREISEN, R. Molecular biology and evolution of resistance of toxicants. **Molecular Biology and Evolution**, Oxford Journals, v. 13, p. 719-34, 1996.
- TEETES, G. L.; SESHU REDDY, K. W.; LEUSCHENER, K; HOUSE, L. R. Sorghum Insect Identification Hand Book. **Sorghum Grain Mold Information Bulletin**, Patancheru, v. 12, p. 106-107, 1983.
- VELTEN, G.; ROTT, A. S.; PETIT, B. J. C.; CARDONA, C.; DORN, S. Improved bruchid management through favorable host plant traits and natural enemies. **Biological Control Journal**, v. 47, p. 133-140, 2008.
- WHALON, M. E.; MOTA-SANCHEZ, D.; HOLLINGWORTH, R. M. Analysis of global pesticide resistance in arthropods, p. 5-31. In: Whalon, M. E.; Mota-Sanchez, D.; Hollingworth, R. M. (Ed.). **Global pesticide resistance in arthropods**, Cambridge, CAB International, 208p., 2008.
- WHITE, N. D. G.; LEESCH, J. G. Chemical control. In: Subramanyam, B. H.; Hagstrum, D. W. (Ed.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**, New York, Marcel Dekker, USA, p. 287-330, 1996.
- WHO. **Insecticide resistance and vector control**, Geneva, Technical Report Series, 98p., 1960.
- WONDJI, C. S.; DE SILVA, W. A. P. P.; HEMINGWAY, J.; RANSON, H.; KARUNARATNE, P. S. H. P. Characterization of knockdown resistance in DDT- and pyrethroid-resistant *Culex quinquefasciatus* populations from Sri Lanka. **Tropical Medicine and International Health**, v. 13, p. 548-555, 2008.

CAPÍTULO ÚNICO**RESISTÊNCIA DE POPULAÇÕES PERNAMBUCANAS DE *Sitophilus zeamais* À
PERMETRINA E PIRIMIFÓS METÁLICO**

RESUMO

O gorgulho-do-milho é uma das pragas de maior importância para o milho armazenado no Brasil. Seu controle é feito tradicionalmente por inseticidas, entretanto, a utilização intensa destes compostos tem ocasionado falhas de controle associadas ao desenvolvimento de populações resistentes. Em vista disto, o objetivo foi determinar o nível de resistência a permetrina e pirimifós metílico em populações de *S. zeamais* coletadas na região Agreste de Pernambuco. A metodologia consistiu em frascos impregnados por toda sua área interna com o resíduo seco dos inseticidas. O preparo das concentrações variou conforme os bioensaios conduzidos, contabilizando-se a mortalidade de insetos após 24 horas de exposição. Os dados apontaram adequação ao modelo próbite. Segundo os resultados obtidos, seis populações apresentam razão de resistência significativa para permetrina, e oito demonstram razões significativas para pirimifós metílico. Com relação à CL_{95} , a ordem da susceptibilidade entre populações divergiu daquela embasada na CL_{50} . Em sua maioria, os coeficientes angulares foram maiores para pirimifós metílico, indicando que uma pequena variação na concentração, aumenta significativamente a mortalidade. Nos testes discriminatórios, usando as CL_{95} das populações mais susceptíveis, verificaram-se pelo teste de Dunnett no nível de 5 % de probabilidade, três casos com mortalidades significativamente diferentes da população padrão de susceptibilidade no caso do piretróide e dois casos com mortalidades significativamente diferentes da população de Lajedo (mais susceptível) no caso do fosforado. Neste último caso, sugere-se uma provável resistência múltipla a piretróides e organofosforados. Os valores encontrados indicam ainda uma maior eficácia dos organofosforados que ainda se mostram eficazes para a maioria das populações testadas. Todavia, é imprescindível monitorar o surgimento da resistência a estes inseticidas. Reportando-se a piretróides, em geral, populações já estão em um nível crítico de resistência.

Palavras-chave: gorgulho-do-milho, inseticidas, falhas de controle, Pernambuco.

SUMMARY

Weevil in corn is one of the most important pests of maize stored in Brazil. His control is traditionally done by pesticides, however, intense use of these compounds has led to failures associated control the development of resistant populations. In view of this, the objective was to determine the level of resistance to permethrin and pirimiphos methyl in populations of *S. zeamais* collected in the Wild Agreste region of Pernambuco. The methodology consisted of impregnated bottles throughout its internal area with dry residue of pesticides. The preparation of the concentrations varied as those conducted bioassays, counting the mortality of insects after 24 hours of exposure. The data showed adaptation to the probit model. According to the results, six populations have significant resistance ratio for permethrin, eight show significant reasons for pirimiphos methyl. Regarding the LC_{95} , the order of susceptibility between diverged populations that grounded in LC_{50} . Mostly, the slope coefficients were higher for pirimiphos methyl, indicating that a small change in concentration significantly increases mortality. The discriminatory tests, LC_{95} using the most susceptible populations, verified by the Dunnett test at 5% probability, three cases with significantly different mortality pattern of susceptibility population in the case of pyrethroid and two cases with significantly different Lajedo mortality of the population (most susceptible) in the case of phosphorus. In the latter case, suggest a likely multiple resistance to pyrethroids and organophosphates. The values found also indicate greater effectiveness of organophosphates still is effective for most of the tested populations. However, it is essential to monitor the emergence of resistance to these insecticides. Referring to pyrethroids, in general, populations are already at a critical level of resistance.

Keywords: gorgulho-do-milho, pesticides, control failures, Pernambuco.

1. INTRODUÇÃO

O gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), é uma das pragas mais importantes no cenário dos grãos armazenados (LORINI, 2002; FARONI; SOUZA, 2006), e está entre as pragas mais destrutivas e mundialmente bem distribuídas (DANHO et al., 2002). Segundo Guedes (1991), é a principal praga do milho no Brasil, além de ser considerada importante em cereais armazenados de modo geral (ADDA et al., 2002). A ação desse inseto-praga leva a perdas de até 20 % do total do peso dos grãos armazenados (SANTOS et al., 2009; ANTUNES; DIONELLO, 2010). Nas regiões tropicais, o problema é notadamente mais acentuado, em razão das condições se mostrarem propícias ao desenvolvimento e manutenção dessa praga durante todo o ano (LORINI, 2008).

Infestações por *S. zeamais* geralmente se iniciam no campo, antes do armazenamento (BROWN; LEE, 2002), o que aliada à sua autonomia de vôo e poder destrutivo (HAGSTRUM et al., 1996), provocam perdas na fase de pós-colheita de grãos (SANTOS; MONTOVANI, 1997; CERUTI et al., 2008). Essa espécie é classificada como praga primária interna por atacar o grão intacto, e sua ação é mais intensa em milho, causando danos quantitativos e qualitativos na produção (REES, 1996; CERUTI; LÁZZARI, 2003; DANHO; HAUBRUGE, 2003). Os danos decorrem da redução do teor de massa seca do grão (CANEPPELE et al., 2003), da qualidade física e fisiológica da semente (LORINI, 2008), do valor nutricional e comercial do produto final (LORINI, 2002).

Conforme Oliveira et al. (2005) e Ribeiro et al. (2007), o controle químico tem sido tradicionalmente o método mais empregado contra a ação de insetos-praga de produtos armazenados, devido à sua rapidez de ação, baixo custo e fácil aplicação (WHITE; LEESCH, 1996; GUEDES et al., 2006; BERTICAT et al., 2008). No entanto, seu uso indiscriminado tem favorecido a seleção de populações resistentes a diversos compostos químicos (WHALON et al., 2008) em vários países (SUBRAMANYAM; HAGSTRUM, 1996), inclusive o Brasil, como é o caso de inseticidas piretróides e organofosforados (SILVA et al., 2013). Isso tem obrigado os produtores a utilizarem concentrações cada vez mais elevadas desses produtos. Além disso, dentre as consequências da resistência, pode-se citar o maior número de aplicações e/ou substituição por outro produto, normalmente, de maior toxicidade e preço (GEORGHIOU, 1983; DENHOLM et al., 2002; SOUSA et al., 2008).

Portanto, diante da constatação de casos de resistência em *S. zeamais* (GUEDES et al., 1994, 1995; SANTOS et al., 2009), e da inexistência de trabalhos científicos que contemplam levantamentos de resistência para este inseto-praga em Pernambuco, o presente estudo teve como objetivo determinar o nível de resistência destas populações aos inseticidas permetrina e pirimifós metílico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Populações de *S. zeamais*

Foram utilizadas 10 populações distintas de *S. zeamais*: uma procedente da Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo (CNPMS), em Sete Lagoas-MG, onde era mantida em laboratório sem exposição a inseticidas, foi usada como população padrão de susceptibilidade a piretróides. A população originária de Jacarezinho-PR, derivada de populações coletadas em armazéns deste município e que em estudos anteriores apresentou resistência a piretróides (GUEDES et al., 1994, 1995; RIBEIRO et al., 2003; FRAGOSO et al., 2007; CORRÊA et al., 2008), foi utilizada como padrão de resistência. A população de *S. zeamais* proveniente de Garanhuns-PE foi coletada na fábrica de Rações da Notaro Alimentos Ltda (Natto), durante o processo de limpeza dos silos. Na Natto, a aplicação dos inseticidas é feita a cada quatro meses e em sistema de rodízio (Tabela 1).

As demais foram coletadas durante os últimos dois anos, com intervalos de dois a três meses, em municípios produtores de grãos na região Agreste de Pernambuco, onde falhas no controle com a aplicação de inseticidas são relatadas com frequência (Tabela 1).

2.2. Criação e manutenção das populações de *S. zeamais* em laboratório

Cada população foi criada sobre grãos de milho limpos e secos, em recipientes de vidro (1,2 L), com a tampa perfurada e coberta com tecido organza, a temperatura ambiente, e estabelecida a partir de pelo menos 500 indivíduos. Os grãos foram previamente congelados por um período de sete dias à temperatura de -20 °C para eliminar qualquer infestação. Estas populações foram mantidas individualmente, por algumas gerações, sem contato adicional com inseticidas, no Laboratório de Entomologia Aplicada da Central de Laboratórios de Garanhuns (CENLAG) da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG/UFRPE), até o início dos experimentos. As amostras foram renovadas periodicamente para a manutenção das populações.

2.3. Inseticidas e solvente

Os inseticidas, em grau técnico, utilizados para os bioensaios são pertencentes ao grupo dos piretróides: permetrina (Permethrin, 99,5 %); e ao grupo dos organofosforados: pirimifós metílico (Pirimiphos-methyl, 99,3 %); adquiridos da

Sigma-Aldrich Brasil Ltda. Estes inseticidas foram usados de forma isolada. Foi utilizada acetona P.A. (99,5 %), como solvente na elaboração de concentrações destas substâncias, adquirida da Química Moderna Indústria e Comércio Ltda.

2.4. Bioensaios de detecção de resistência

Bioensaios *in vivo* foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em câmara climática tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D.), sob condições controladas de temperatura (25 ± 2 °C), umidade relativa (70 ± 5 % UR) e escotofase de 12 horas, seguindo a metodologia adaptada por Guedes et al. (1996). Todos os testes foram efetuados utilizando-se unidades experimentais constituídas de frascos cilíndricos de vidro transparente de (5 mL de volume, com área interna equivalente a $18,8 \text{ cm}^2$). Foram realizados testes de ajuste da metodologia a ser utilizada, com o propósito de determinar os padrões ideais dos seguintes fatores: tempo de exposição dos insetos aos produtos químicos, volume de produto químico a ser utilizado e o número de insetos por frasco. Os valores adotados como ideais foram: tempo de exposição de 24 horas, 0,1 mL de produto aplicado e 10 indivíduos por frasco.

Após os testes de ajuste metodológico foram conduzidos os testes preliminares de concentração-resposta, onde se utilizou seis concentrações [1 mg.mL^{-1} , $10^{-1} \text{ mg.mL}^{-1}$, $10^{-2} \text{ mg.mL}^{-1}$, $10^{-3} \text{ mg.mL}^{-1}$, $10^{-4} \text{ mg.mL}^{-1}$ e $10^{-5} \text{ mg.mL}^{-1}$] do princípio ativo dos inseticidas permetrina e pirimifós metílico (diluições sequenciais), separadamente. Foi pipetado em cada frasco previamente identificado, 0,1 mL de uma das concentrações. Depois desta etapa, os frascos foram submetidos à rotação manual para promover a volatilização da acetona e a impregnação uniforme do inseticida por toda a área interna dos frascos. Em seguida, foram colocados 10 indivíduos adultos de *S. zeamais*, não-sexados, por frasco, sendo avaliado o número de indivíduos mortos por concentração após 24 horas de exposição ao inseticida. Com o objetivo de padronizar a avaliação, foi considerado inseto morto aquele com evidências de paralisia ou tombamento, e incapaz de andar quando tocado pelas cerdas de um pincel de ponta redonda tipo filete, decorridos 60 segundos. Feita a avaliação, foi observada a menor concentração onde ocorreu um maior número de mortes e a maior concentração onde não ocorreram mortes, extremos superior e inferior, respectivamente. Em seguida, foram traçadas novas concentrações intermediárias a estes dois extremos. Estes testes foram formados por seis tratamentos (concentrações dos inseticidas) e o controle (apenas o solvente), com cinco repetições cada, totalizando 350 indivíduos expostos por população.

Posteriormente, foram feitos os testes definitivos de concentração-resposta, utilizando-se nesta etapa, cinco repetições para cada concentração intermediária escolhida, além das consideradas extremas. Estes testes foram formados por seis ou sete tratamentos (variando este número com base nos extremos de resposta de cada população) e o controle (apenas o solvente), totalizando 350 ou 400 indivíduos expostos por população. Através da avaliação dos resultados, foi estimada a curva de concentração-resposta de cada população exposta aos respectivos inseticidas. No total, foram elaboradas nove concentrações para permetrina [1 mg.mL^{-1} , $5 \times 10^{-1} \text{ mg.mL}^{-1}$, $10^{-1} \text{ mg.mL}^{-1}$, $0,5 \times 10^{-1} \text{ mg.mL}^{-1}$, $10^{-2} \text{ mg.mL}^{-1}$, $0,5 \times 10^{-2} \text{ mg.mL}^{-1}$, $10^{-3} \text{ mg.mL}^{-1}$, $0,5 \times 10^{-3} \text{ mg.mL}^{-1}$ e $10^{-4} \text{ mg.mL}^{-1}$], e oito concentrações para pirimifós metílico, [$10^{-1} \text{ mg.mL}^{-1}$, $0,5 \times 10^{-1} \text{ mg.mL}^{-1}$, $10^{-2} \text{ mg.mL}^{-1}$, $0,5 \times 10^{-2} \text{ mg.mL}^{-1}$, $0,2 \times 10^{-2} \text{ mg.mL}^{-1}$, $10^{-3} \text{ mg.mL}^{-1}$, $0,5 \times 10^{-3} \text{ mg.mL}^{-1}$ e $10^{-4} \text{ mg.mL}^{-1}$].

A concentração letal (CL) com probabilidade de causar morte de 95 % dos indivíduos expostos (CL_{95}) foi obtida da população padrão de susceptibilidade a piretróides e da população mais susceptível ao organofosforado pirimifós metílico. Estas concentrações foram usadas nas demais populações como uma CL de referência, com a finalidade de discriminar qual das populações avaliadas é resistente e a que inseticida. Os testes discriminatórios foram formados por cinco repetições, submetidas a CL_{95} para a população susceptível e ao controle (apenas o solvente), totalizando 60 indivíduos expostos por população. Neste caso, cada tratamento representou uma população em teste.

2.5. Análise estatística

Os resultados de mortalidade obtidos por meio dos testes definitivos foram corrigidos, segundo Abbott (1925), e submetidos à análise de próbite, conforme Finney (1971), através do procedimento PROC PROBIT do pacote estatístico SAS 9.0 (2002), gerando, assim, as curvas de concentração-resposta. As razões de resistência (RR) foram calculadas dividindo-se as CL da população em estudo pelas respectivas CL da população mais susceptível, sendo estas razões consideradas significativas, quando os intervalos de confiança a 95 % de probabilidade não incluírem o valor 1,0, como proposto por Robertson; Preisler (1992).

Os resultados dos testes discriminatórios, em porcentagem, após transformação para arco seno, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Dunnett a 5 % de probabilidade, com a finalidade de observar

ocorrência de diferença mínima significativa entre a mortalidade da população controle e a mortalidade ocasionada nas populações testadas.

Tabela 1. Procedência das populações de *S. zeamais* utilizadas para avaliação da resistência aos inseticidas permetrina e pirimifós metílico.

Populações de <i>S. zeamais</i>	Cidade	Código	Estado	Local de coleta	Produto	Data da coleta
Susceptível	Sete Lagoas	SL	MG	Laboratório		
Resistente	Jacarezinho	JC	PR	Laboratório		
1	Jupi	JU	PE	Armazém graneleiro	Milho seco	Abril/2013
2	Brejão	BR	PE	Paiol	Milho úmido	Abril/2013
3	Caruaru	CA	PE	Silo metálico	Milho seco	Junho/2013
4	São João	SJ	PE	Paiol	Milho seco	Agosto/2013
5	Lagoa do Ouro	LO	PE	Silo metálico	Milho seco	Agosto/2013
6	Bom Conselho	BC	PE	Silo metálico	Milho seco	Novembro/2013
7	Lajedo	LA	PE	Silo metálico	Milho seco	Novembro/2013
8	Garanhuns Natto	GA	PE	Silo metálico	Milho seco	Janeiro/2014

SL = População padrão de susceptibilidade a piretróides e mantida em laboratório desde 1985; JC = População padrão de resistência a piretróides desde 1987 (GUEDES et al., 1994, 1995; RIBEIRO et al., 2003; FRAGOSO et al., 2007; CORRÊA et al., 2008); As populações foram enumeradas pela ordem das coletas.

3. RESULTADOS

O modelo próbite se adequou à interpretação dos dados de mortalidade obtidos através dos testes definitivos (χ^2 significativo, $p < 0,05$), para a estimativa das curvas de concentração-resposta (Tabelas 2 e 3). A população de Sete Lagoas apresentou a menor CL_{50} para permetrina (Tabela 2), enquanto que a população de Lajedo foi a que apresentou a menor CL_{50} para o inseticida pirimifós metílico (Tabela 3). Estas populações foram utilizadas como referências de susceptibilidade aos respectivos inseticidas.

A concentração estimada de permetrina que ocasionou 50 % de mortalidade (CL_{50}) de cada população de *S. zeamais* variou de 0,0076 (Sete Lagoas-MG) a 0,0514 (Jacarezinho-PR) $mg.mL^{-1}$. Desta forma, as razões de resistência (RR) com base na CL_{50} , variaram de 1,10 (Jupi-PE) a 6,76 (Jacarezinho-PR) vezes em relação à população padrão de susceptibilidade. Por não incluir o valor 1,0 nos intervalos de confiança das razões (ROBERTSON; PREISLER, 1992), seis populações apresentaram razão de resistência significativa para permetrina. Os valores de CL_{95} variaram de 0,0374 (Caruaru-PE) a 0,5651 (Jacarezinho-PR) $mg.mL^{-1}$. Os coeficientes angulares das curvas variaram de 1,33 (Garanhuns Natto-PE) a 3,39 (São João-PE) para o inseticida permetrina, assim, a ordem de susceptibilidade das populações baseada na CL_{50} diferiu daquela baseada na CL_{95} (Tabela 2).

As estimativas de CL_{50} das populações para pirimifós metílico variaram de 0,0006 (Lajedo-PE) a 0,0320 (Jacarezinho-PR) $mg.mL^{-1}$. Como aos intervalos de confiança das razões não foi incluído o valor 1,0 pelo critério de Robertson; Preisler (1992), oito populações de *S. zeamais* apresentaram razão de resistência significativa para pirimifós metílico. Estas razões baseadas na CL_{50} , variaram de 1,17 (Jupi-PE) a 53,3 (Jacarezinho-PR) vezes quando comparadas com a população mais susceptível. A razão de resistência de 26,7 vezes, observada para a população de Brejão, foi significativamente maior quando comparada às demais populações de Pernambuco. As CL_{95} variaram de 0,0010 (Lajedo-PE) a 0,2610 (Jacarezinho-PR) $mg.mL^{-1}$. Os coeficientes angulares das curvas para o inseticida pirimifós metílico variaram de 1,80 (Jacarezinho-PR) a 8,52 (Bom Conselho-PE), fazendo com que, à semelhança do ocorrido para permetrina, a ordem de susceptibilidade das populações baseada na CL_{50} também seja diferente em relação à CL_{95} (Tabela 3).

Tabela 2. Susceptibilidade das populações de *S. zeamais* à permetrina.

Populações de <i>S. zeamais</i>	N	Coefficiente angular \pm EP	CL ₅₀ (IC 95 %) mg.mL ⁻¹ .	CL ₉₅ (IC 95 %) mg.mL ⁻¹	RR (IC 95 %)	χ^2	P
Sete Lagoas-MG	400	1,93 \pm 0,23	0,0076 (0,0055 – 0,0104)	0,0539 (0,0338 – 0,1086)		71,57	0,0001
Jupi-PE	400	2,42 \pm 0,42	0,0083 (0,0057 – 0,0124)	0,0399 (0,0235 – 0,1079)	1,10 (0,70 – 1,75)	33,32	0,0001
Caruaru-PE	400	2,82 \pm 0,49	0,0097 (0,0072 – 0,0136)	0,0374 (0,0237 – 0,0895)	1,28 (0,86 – 1,94)	33,05	0,0001
Lagoa do Ouro-PE	400	2,47 \pm 0,87	0,0117 (0,0045 – 0,0432)	0,0545 (0,0213 – 5,2663)	1,54 (0,81 – 2,98)	8,01	0,0047
Lajedo-PE	400	1,95 \pm 0,29	0,0132 (0,0088 – 0,0201)	0,0916 (0,0510 – 0,2458)	1,74 (1,05– 2,90)*	45,90	0,0001
São João-PE	400	3,39 \pm 0,40	0,0143 (0,0119 – 0,0177)	0,0439 (0,0325 – 0,0690)	1,88 (1,37 – 2,64)*	71,32	0,0001
Brejão-PE	400	1,74 \pm 0,16	0,0279 (0,0215 – 0,0361)	0,2460 (0,1659 – 0,4175)	3,67 (2,39 – 5,71)*	123,18	0,0001
Garanhuns Natto-PE	400	1,33 \pm 0,11	0,0293 (0,0216 – 0,0394)	0,5032 (0,3102 – 0,9620)	3,85 (2,25 – 6,69)*	130,84	0,0001
Bom Conselho-PE	400	1,98 \pm 0,23	0,0353 (0,0256 – 0,0485)	0,2387 (0,1520 – 0,4655)	4,64 (3,05 – 7,19)*	74,27	0,0001
Jacarezinho-PR	400	1,58 \pm 0,17	0,0514 (0,0358 – 0,0735)	0,5651 (0,3297 – 1,2450)	6,76 (4,19 – 11,1)*	81,86	0,0001

N = Número total de insetos; EP = Erro padrão da estimativa; CL₅₀ (IC 95 %) = Concentração letal capaz de causar morte de 50 % dos indivíduos expostos e intervalo de confiança a 95 % de probabilidade; CL₉₅ (IC 95 %) = Concentração letal capaz de causar morte de 95 % dos indivíduos expostos e intervalo de confiança a 95 % de probabilidade; RR (IC 95 %) = Razão de resistência calculada dividindo-se a CL₅₀ da população em estudo pela CL₅₀ da população padrão de susceptibilidade e intervalos de confiança a 95 % de probabilidade; *População de *S. zeamais* que apresentou razão de resistência significativa pelo método de Robertson; Preisler (1992); χ^2 = Qui-quadrado; p = Significância do teste.

Tabela 3. Susceptibilidade das populações de *S. zeamais* à pirimifós metílico.

Populações de <i>S. zeamais</i>	N	Coeficiente angular \pm EP	CL ₅₀ (IC 95 %) mg.mL ⁻¹	CL ₉₅ (IC 95 %) mg.mL ⁻¹	RR (IC 95 %)	χ^2	P
Lajedo-PE	350	8,47 \pm 1,17	0,0006 (0,0005 – 0,0007)	0,0010 (0,0009 – 0,0012)		52,36	0,0001
Jupi-PE	350	3,52 \pm 0,48	0,0007 (0,0006 – 0,0008)	0,0021 (0,0017 – 0,0032)	1,17 (0,94 – 1,33)	52,38	0,0001
Garanhuns Natto-PE	350	6,79 \pm 0,94	0,0008 (0,0007 – 0,0009)	0,0014 (0,0012 – 0,0017)	1,33 (1,11 – 1,27)*	51,94	0,0001
Bom Conselho-PE	350	8,52 \pm 1,21	0,0008 (0,0007 – 0,0009)	0,0012 (0,0011 – 0,0015)	1,33 (1,16 – 1,26)*	49,59	0,0001
São João-PE	350	6,22 \pm 0,98	0,0010 (0,0009 – 0,0012)	0,0019 (0,0016 – 0,0027)	1,67 (1,48 – 1,68)*	40,48	0,0001
Sete Lagoas-MG	350	6,11 \pm 0,98	0,0011 (0,0010 – 0,0013)	0,0021 (0,0017 – 0,0030)	1,83 (1,60 – 1,83)*	38,84	0,0001
Caruaru-PE	350	5,73 \pm 1,81	0,0014 (0,0010 – 0,0021)	0,0027 (0,0019 – 0,0105)	2,33 (1,87 – 2,45)*	10,01	0,0016
Lagoa do Ouro-PE	350	3,42 \pm 0,36	0,0016 (0,0014 – 0,0018)	0,0048 (0,0038 – 0,0066)	2,67 (2,14 – 2,72)*	92,33	0,0001
Brejão-PE	350	2,96 \pm 0,51	0,0160 (0,0112 – 0,0243)	0,0574 (0,0349 – 0,1447)	26,7 (20,4 – 29,9)*	33,82	0,0001
Jacarezinho-PR	350	1,80 \pm 0,22	0,0320 (0,0232 – 0,0463)	0,2610 (0,1465 – 0,6546)	53,3 (37,3 – 63,9)*	64,80	0,0001

N = Número total de insetos; EP = Erro padrão da estimativa; CL₅₀ (IC 95 %) = Concentração letal capaz de causar morte de 50 % dos indivíduos expostos e intervalo de confiança a 95 % de probabilidade; CL₉₅ (IC 95 %) = Concentração letal capaz de causar morte de 95 % dos indivíduos expostos e intervalo de confiança a 95 % de probabilidade; RR (IC 95 %) = Razão de resistência calculada dividindo-se a CL₅₀ da população em estudo pela CL₅₀ da população mais susceptível e intervalos de confiança a 95 % de probabilidade; *População de *S. zeamais* que apresentou razão de resistência significativa pelo método de Robertson; Preisler (1992); χ^2 = Qui-quadrado; p = Significância do teste.

Como já era esperado, o pirimifós metílico apresentou maior poder letal (CL_{50} para permetrina foram de 1 a 44 vezes maiores) (Tabelas 2 e 3). Com base nos intervalos de confiança das RR, Jacarezinho e Brejão apresentaram razões de 63,9 e 29,9 vezes (limite superior), respectivamente, para pirimifós metílico (Tabela 3). Os coeficientes angulares foram maiores para este inseticida, comparados aos do permetrina (Tabelas 2 e 3).

Foram conduzidos bioensaios de detecção de resistência e discutidas as prováveis causas desta resistência. De acordo com os resultados dos testes definitivos, foram estimadas as CL_{95} da população padrão de resistência a piretróides e da população mais susceptível ao organofosforado pirimifós metílico, utilizadas para discriminar as populações de *S. zeamais* como resistentes ou susceptíveis. Estas concentrações foram de 0,0539 e 0,0010 $mg.mL^{-1}$, respectivamente (Tabelas 2 e 3). Os valores de mortalidade da população controle (Sete Lagoas ou Lajedo) foram comparados com os valores das demais populações, através da aplicação do teste de Dunnett ($p < 0,05$). Mortalidade estatisticamente diferente indicou possível resistência ao inseticida utilizado. Por sua vez, a susceptibilidade foi atribuída às populações cujas diferenças não foram significativas (Tabela 4).

Nos testes discriminatórios foram encontrados cinco casos de resistência para permetrina e dois casos para pirimifós metílico. As populações de Lajedo, Garanhuns Natto e Bom Conselho foram consideradas resistentes ao piretróide testado, mas ao organofosforado se mostraram susceptíveis. No caso das populações de Brejão e Jacarezinho, houve resistência aos dois produtos. Nas demais populações, a resistência não foi identificada. A taxa de mortalidade para permetrina variou de 12 a 100 %, entre Jacarezinho e Sete Lagoas, respectivamente. Sete Lagoas, Jupi, Caruaru, Lagoa do Ouro e São João apresentaram mortalidade acima de 80 % para este inseticida. Com relação ao pirimifós metílico, a mortalidade média variou de 10 a 100 %, entre Jacarezinho e Lajedo, respectivamente, e à exceção de Brejão e Jacarezinho, as populações apresentaram mortalidade superior a 88 %. Logo, a resistência foi baixa, quando as populações foram tratadas com este organofosforado (Tabela 4).

Tabela 4. Mortalidade das populações de *S. zeamais* pelas concentrações discriminatórias dos inseticidas permetrina e pirimifós metílico.

Populações de <i>S. zeamais</i>	N	% Mortalidade \pm EPM	
		CL ₉₅ Sete Lagoas Permetrina	CL ₉₅ Lajedo Pirimifós metílico
Sete Lagoas-MG	120	100	96 \pm 2
Jupi-PE	120	80 \pm 3	98 \pm 2
Caruaru-PE	120	96 \pm 2	88 \pm 4
Lagoa do Ouro-PE	120	84 \pm 2	90 \pm 3
Lajedo-PE	120	40 \pm 8*	100
São João-PE	120	90 \pm 4	92 \pm 4
Brejão-PE	120	28 \pm 4*	14 \pm 2*
Garanhuns Natto-PE	120	30 \pm 4*	94 \pm 2
Bom Conselho-PE	120	22 \pm 4*	96 \pm 2
Jacarezinho-PR	120	12 \pm 2*	10 \pm 3*
Média geral		53	76
CV (%)		15,08	7,92

N = Número total de insetos; EPM = Erro padrão da média; CV = Coeficiente de variação; *Significativo à população padrão de susceptibilidade ou à população mais susceptível, pelo teste de Dunnett, em nível de 5 % de probabilidade.

Em geral, houve menor variação das CL₅₀ para CL₉₅ do organofosforado, do que para o piretróide, baseado nos coeficientes angulares (Tabelas 2 e 3). Os dados mostraram respostas mais heterogêneas a este último inseticida (Tabelas 2 e 4).

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicaram Jacarezinho como a população com o maior nível de resistência para permetrina (Tabela 2). Essa população já foi alvo intenso de estudos envolvendo resistência a inseticidas (FRAGOSO et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2007; RIBEIRO et al., 2007; ARAÚJO et al., 2008; CORRÊA et al., 2008; GUEDES et al., 2009; BRAGA et al., 2011). Possivelmente o mecanismo de insensibilidade do sítio de ação seja responsável pela resistência mostrada por essa população que é mantida em laboratório desde 1987. Essa alteração é ocasionada por uma mutação estrutural nas proteínas dos canais de sódio, localizados no sistema nervoso do inseto, conhecida como knock-down resistance (kdr), de acordo com Feyereisen (1995); Ffrench-Constant (1999); Soderlund; Knipple (2003).

O primeiro relato de mutação relacionada à resistência kdr, em insetos, foi feito por Williamson et al. (1993), para *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), causada devido a substituição do aminoácido leucina por fenilalanina no segmento transmembrana S6 do domínio II do canal de sódio (IIS6). Um segundo ponto de mutação ocorre em outra região do mesmo domínio, agora, originada da substituição do aminoácido metionina por treonina. Esse fenótipo é conhecido como super kdr (WILLIAMSON et al., 1996).

Os testes discriminatórios detectaram cinco casos de resistência ao piretróide, apresentada pelas populações de Lajedo, Brejão, Garanhuns Natto, Bom Conselho e Jacarezinho (Tabela 4). Segundo Guedes et al. (1994, 1995), o uso constante do organoclorado dicloro-difenil tricloroetano (DDT), na década de 80, pode ter originado uma pressão de seleção intensa que propiciou a evolução do fenômeno 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). Esses inseticidas e o DDT possuem o mesmo modo de ação: complexam-se com os canais de sódio voltagem-dependentes situados nos neurônios, interferindo no seu funcionamento (SODERLUND; BLOOMQUIST, 1990). A observação de resistência cruzada é um indicativo da resistência kdr (BEATY; MARQUARDT, 1996). Vários relatos de resistência cruzada a DDT e piretróides são exclusivamente resultado dessa mutação genética no canal de sódio (GUEDES et al., 1995; SODERLUND; KNIPPLE, 2003; WONDJI et al., 2008), ocorrendo em *S. zeamais*, devido substituição de treonina para isoleucina no segmento transmembrânico IIS5 (ARAÚJO et al., 2011).

Com a proibição da utilização do DDT para fins agrícolas, novos compostos passaram a ser usados, com destaque para os inseticidas pertencentes ao grupo dos piretróides e dos organofosforados (GUEDES et al., 1995), e mais recentemente misturas advindas desses compostos. Seu uso massivo pode levar à seleção de populações resistentes e, conseqüentemente, à diminuição da eficiência no controle de insetos-praga em armazéns brasileiros (FEYEREISEN, 1995; FRAGOSO et al., 2003; RIBEIRO et al., 2007). Corrêa et al. (2011) avaliando a resistência de 27 populações de *S. zeamais* a piretróides e a mistura de piretróides + organofosforados, observaram que em sua maioria as populações apresentaram resistência a esses compostos.

Os bioensaios mostraram Jacarezinho e Brejão como as populações com os maiores níveis de resistência para pirimifós metílico (Tabelas 3 e 4). Conforme Braga; Valle (2007), os organofosforados atuam inibindo a acetilcolinesterase (AChE), importante enzima do sistema nervoso central. Nesse caso, a resistência pode estar relacionada com afinidade reduzida da AChE pelo inseticida, o que permite a interrupção normal do estímulo nervoso (FERRARI, 1996; HEMINGWAY; RANSON, 2000). A ausência de valores de linha básica de susceptibilidade torna pouco esclarecedor quanto as populações de *S. zeamais* têm evoluído na resistência para organofosforados.

Os dados de mortalidade obtidos a partir das concentrações discriminatórias detectaram resistência para permetrina e pirimifós metílico, nas populações de *S. zeamais* provenientes de Jacarezinho e Brejão (Tabela 4). Esses resultados indicaram o surgimento de uma possível resistência cruzada ou resistência múltipla (RIBEIRO et al., 2003; FREITAS et al., 2009). Resistência cruzada refere-se a um único mecanismo conferindo resistência a dois ou mais compostos, enquanto resistência múltipla envolve a coexistência de dois ou mais mecanismos de ação conferindo resistência a dois ou mais compostos tóxicos (GUEDES et al., 1995; RIBEIRO et al., 2007; BERTICAT et al., 2008). A alta atividade de enzimas detoxificadoras pode ter ocasionado essa resistência cruzada (CHOWN; GASTON, 1999; HARAK et al., 1999).

A resistência bioquímica a organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretróides tem sido associada principalmente ao aumento da detoxificação desses inseticidas, promovida por três grupos de enzimas: glutatona-S-transferases (GSTs), esterases (ESTs) e monooxigenases dependentes de citocromo P450 (CYPs) (HEMINGWAY, 2000; PERRY et al., 2011). Guedes et al. (1998) determinaram a destacada atuação de esterases na detoxificação do inseticida malatim em populações

de *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). Estudos de mecanismos de resistência, em populações resistentes e susceptíveis de *S. zeamais* a piretróides indicaram o envolvimento de glutathione-S-transferases (FRAGOSO et al., 2003). Verificou-se uma correlação significativa entre resistência a piretróides e a atividade de GSTs (FRAGOSO et al., 2007).

Em algumas espécies de coleópteros de produtos armazenados houve comprovação da resistência bioquímica, como indicado por Subramanyam et al. (1989) que detectaram, nos Estados Unidos, resistência ao malatiom em todas as linhagens de campo de *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) testadas, estando as carboxilesterases envolvidas com a detoxificação do produto. Collins et al. (1992), trabalhando com quatro linhagens de *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae), constataram diferentes níveis de resistência ao fenitrotiona, associada à atividade de monooxigenases, e ao clorpirifós metílico, à atividade de esterases.

O nível de resistência expresso pela população de Brejão para pirimifós metílico foi elevado, quando comparado a Lajedo – população altamente susceptível e usada como referência para esse inseticida (Tabelas 3 e 4). Essa diferença foi acentuada, levando em consideração que ambas são derivadas de Pernambuco, sugerindo que falhas de controle já sejam um problema potencial em campo nessas áreas. Isto, provavelmente, é resultado do manejo dos insetos e da natureza descontínua do processo de armazenamento do milho (TRAN; CREDLAND, 1995). Como se sabe, nesse município havia intensa prática da cafeicultura e tradicionalmente, o uso de carbamatos e fosforados. Então, possivelmente, uma resistência cruzada ao inseticida testado pode ter levado a esses resultados.

Kence; Jdeideh (1997); Oliveira et al. (2005); Berticat et al. (2008) relatam que a evolução rápida da resistência em populações naturais tem sido um dos principais obstáculos a serem superados no manejo correto de insetos-praga. No Agreste pernambucano, populações de *S. zeamais* são ainda particularmente sensíveis a organofosforados (Tabela 4), sendo, porém, necessário, monitorar o surgimento da resistência a esses inseticidas. Nesses municípios, são constatadas com frequência, técnicas inadequadas de aplicação e dosagens incorretas. Além disto, é comum por parte dos produtores, a utilização sistemática de inseticidas de diferentes grupos químicos, independentemente da presença ou não da praga. Em relação ao piretróide permetrina, foram observados níveis críticos de resistência (Tabela 4). Considerando esses aspectos, todos os cuidados e investimentos dispensados para evitar o ataque de pragas no campo

tornam-se insuficientes, se os grãos forem atacados e destruídos nos depósitos (FRAGOSO et al., 2005; RIBEIRO et al., 2007).

Conforme Li et al. (2007), a resistência é um fenômeno estritamente genético. Os insetos possuem ciclo de vida curto e prole abundante, o que favorece o surgimento de populações com diferentes características genéticas. A propagação da resistência está relacionada com a frequência da utilização de inseticidas, e é resultante não apenas da pressão seletiva desses compostos tóxicos, como de características herdadas das espécies de insetos envolvidas (HEMINGWAY; RANSON, 2000). Os indivíduos com mutações vantajosas relacionadas ao fenótipo de resistência possuem maior probabilidade de sobreviverem a tratamentos com inseticidas, e contribuirão com uma prole maior que aqueles indivíduos susceptíveis, resultando no aumento da frequência do gene que confere resistência nas próximas gerações (BEATY; MARQUARDT, 1996). O período de aplicação do piretróide permetrina deve ser maior, a fim de reduzir a pressão de seleção e a frequência de genótipos resistentes.

Quando submetidas às concentrações discriminatórias, as populações procedentes de Lajedo, Garanhuns Natto e Bom Conselho, apresentaram resistência ao piretróide, e susceptibilidade ao organofosforado (Tabela 4). Resultados semelhantes foram observados por Santos et al. (2009). A resistência a piretróides apresenta um aspecto importante que é a sua estabilidade, (GEORGHIU, 1983). Dessa forma, para que se consiga um manejo eficiente da resistência a piretróides, em áreas produtoras, é necessário, inicialmente, a alternância ou ação conjunta com inseticidas registrados recentemente no mercado e com modos de ação diferentes (que apresentem resistência cruzada negativa) dos que estão ocasionando o problema, a fim de que a frequência daqueles genes que estão conferindo resistência ao referido produto seja reduzida (FORRESTER et al., 1993). Uma das premissas da rotação dos produtos químicos é a existência de uma possível desvantagem adaptativa dos indivíduos resistentes em relação aos susceptíveis.

Os cálculos da razão de resistência (RR) foram feitos em relação à CL_{50} , como consta na literatura (GUEDES et al., 1997; RIBEIRO et al., 2003; ARAÚJO et al., 2008; BRAGA et al., 2011), embora a CL_{95} sirva como parâmetro de controle efetivo das populações em campo porque, segundo Eaton; Klassen (2003), é onde se tem grande representatividade dentro de uma população estudada e melhor ajuste do modelo próbite (menor amplitude dos erros padrões das médias), o que confere maior credibilidade à estimativa da concentração letal e da RR. Por não incluir o valor 1,0 nos

intervalos de confiança das razões (ROBERTSON; PREISLER, 1992), foram identificadas RR significativas aos inseticidas (Tabelas 2 e 3). A variabilidade dessas razões foi de 6,76 vezes para o piretróide (Tabela 2), e 53,3 vezes para o organofosforado (Tabela 3). A determinação das CL_{50} e RR permite acompanhar as mudanças temporais de susceptibilidade das populações (SILVA et al., 2013). As RR de Jacarezinho e Brejão para pirimifós metílico (Tabela 3) são classificadas como severas, pelos critérios de Cochran (1995); Mazzari; Georghiou (1995), prejudicando o armazenamento dos grãos. Rust; Reiersen (1991) relataram que RR superior a 10,0 vezes representa uma intensidade de resistência crítica a partir da qual o produto pode ser comprometido.

Pequenas variações nas concentrações de pirimifós metílico ocasionaram grandes variações nas mortalidades (Tabela 3). O coeficiente angular da curva é inversamente proporcional ao erro padrão da média da distribuição fenotípica da tolerância a um inseticida (GEORGHIOU; METCALF, 1961; CHILCUTT; TABASHNIK, 1995). Foram verificados para permetrina, os menores valores de inclinações das curvas (Tabela 2), e maior heterogeneidade de resposta entre populações (Tabelas 2 e 4). Para Kerns; Gaylor (1992), a variabilidade entre indivíduos de uma mesma população pode ser indicada pela inclinação da curva. De acordo com Siqueira et al. (2000), curvas com menor inclinação indicam maior variabilidade genética, sugerindo a presença de mais de um genótipo na população, denotando uma maior heterogeneidade de resposta aos inseticidas. Isto mostra que provavelmente tem havido pressões de seleção diferencial e diversidade genética intra e interpopulacional que pode explicar a variabilidade observada nesses resultados. Variações nesses graus irão sempre existir ano a ano em função de vários fatores que interferem em tais resultados.

Kirk et al. (2013) mostraram que as pressões de seleção existentes nos diversos agroecossistemas podem influenciar na genética das populações. O manejo feito quase que exclusivamente com inseticidas sintéticos, pode levar a alterações específicas no DNA, causando mudanças no comportamento das pragas e selecionando indivíduos com determinado perfil genético. Essa situação pode levar a falhas no controle e ao aparecimento de populações resistentes. Estudos mostram que a resistência pode ocorrer por uma mudança genética em apenas um *locus* genético, seja por amplificação do gene ou por substituição alélica (ROUSH; DALY, 1990). Outras formas de alterações genéticas ocorrem naturalmente através do processo de especiação. Em relação à plasticidade fenotípica, pode existir uma ampla gama dentro de uma espécie,

influenciada por condições ambientais locais, com repercussão no comportamento das populações e na preferência de hospedeiros (SIMPSON et al., 2011).

Os dados gerados nesta pesquisa justificam sua implementação e corroboram sua importância prática. As informações obtidas podem dar suporte à elaboração de táticas de manejo da resistência a inseticidas que, se bem sucedidas, poderão diminuir os prejuízos advindos das falhas de controle das pragas agrícolas, em especial, de grãos armazenados.

5. CONCLUSÕES

Diante do exposto, conclui-se que:

- Há fortes indícios de resistência cruzada a piretróides e/ou resistência múltipla entre piretróides e organofosforados.
- Considerando Pernambuco, provavelmente há problemas de falhas no controle de *S. zeamais* com piretróides.
- As taxas de mortalidade de Jacarezinho revelaram a possibilidade de outros mecanismos de resistência, além da insensibilidade do sítio de ação.
- Sugere-se a utilização de ferramentas moleculares para esclarecer as diferenças nos níveis de resistência entre populações e/ou revelar possível variabilidade genética intra e interespecífica.
- No caso de milho armazenado na Região estudada, os ingredientes ativos disponíveis e registrados são poucos, agravando problemas com resistência de *S. zeamais*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, p. 265-266, 1925.
- ADDA, C.; BORGEMEISTER, C.; BILIWA, A.; MEIKLE, W. G.; MARKHAM, R. H.; POEHLING, H. M. Integrated pest management in post-harvest maize a case study from the Republic of Togo (West Africa). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 93, p. 305- 321, 2002.
- ANTUNES, L. E. G.; DIONELLO, R. G. Bioecologia de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae). 2010. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/Sitophilus/index.htm>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- ARAÚJO, R. A.; WILLIAMSON, M. S.; BASS, C.; FIELD, L. M.; DUCE, I. R. Pyrethroid resistance in *Sitophilus zeamais* is associated with a mutation (T929I) in the voltage-gated sodium channel. **Molecular Biology**, v. 20, n. 4, p. 437-445, 2011.
- ARAÚJO, R. A.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, M. G. A.; FERREIRA, G. H. Enhanced proteolytic and cellulolytic activity in insecticide-resistant strains of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, p. 354-359, 2008.
- BEATY, B. J.; MARQUARDT, W. C. The biology of diseases vectors. **University Press of Colorado**, 1996.
- BERTICAT, C.; BONNET, J.; DUCHON, S.; AGNEW, P.; WEILL, M.; CORBEL, V. Costs and benefits of multiple resistance to insecticides for *Culex quinquefasciatus* mosquitoes. **BMC Evolutionary Biology**, v. 8, p. 1-9, 2008.
- BRAGA, L. S.; CORRÊA, A. S.; PEREIRA, E. J. G.; GUEDES, R. N. C. Face or flee? Fenitron resistance and behavioral response in populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 47, p. 161-167, 2011.
- BRAGA, I. A.; VALLE, D. *Aedes aegypti*: inseticidas, mecanismos de ação e resistência. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 16, n. 4, p. 279-293, 2007.
- BROWN, S. L.; LEE, R. D. Effect of planting date, variety and degree of ear maturation on the colonization of field corn by maize weevils (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Entomological Science**, v. 37, p. 137-142, 2002.

- CANEPPELE, M.; CANEPPELE, C.; LÁZZARI, F. A.; LÁZZARI, A. M. Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 47, n. 4, p. 625-630, 2003.
- CERUTI, F. C.; LAZZARI, S. M. N.; LAZZARI, F. A.; PINTO JUNIOR, A. R. Efficacy of diatomaceous earth and temperature to control the maize weevil in stored maize. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 73-78, 2008.
- CERUTI, F. C.; LÁZZARI, S. M. N. Utilização de bioensaios e marcadores moleculares para detecção da resistência de coleópteros de produtos armazenados a inseticidas. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 47, n. 3, p. 447-453, 2003.
- CHILCUTT, C. F.; TABASHINK, B. E. Evolution of pesticide resistance and slope of the concentration-mortality line: are they related? **Journal of Economic and Entomology**, v. 88, n. 1, p. 11-20, 1995.
- CHOWN, S. L.; GASTON, K. Exploring links between physiology and ecology at macro-scales: the role of respiratory metabolism in insects. **Biological Research**, New York, v. 74, n. 1, p. 87-120, 1999.
- COCHRAN, D. G. Insecticide resistance. In: RUST, M. K.; OWENS, J. M.; REIERSON, D. A. Understanding and controlling the German cockroach. **Oxford University Press**, Cambridge, p. 171-192, 1995.
- COLLINS, P. J.; ROSE, H. A.; WEGECSANYI, M. Enzyme activity in strains of the sawtoothed grain beetle (Coleoptera: Cucujidae) differentially resistant to fenitrothion, malathion and chlorpyrifosmethyl. **Journal of Economic Entomology**, v. 85, p. 1571-1575, 1992.
- CORRÊA, A. S.; BRAGA, E. M. G.; PEREIRA, E. J. G.; GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, mixture potentiation and fitness in population of the maize the weevil, *Sitophilus zeamais*. **Crop Protection**, v. 30, p. 1655-1666, 2011.
- CORRÊA, A. S.; SANTOS, C. T.; OLIVEIRA, E. E.; TOLLEDO, J. S.; CORDEIRO, E. M. G.; GUEDES, R. N. C. Custo adaptativo da resistência através da competição entre populações susceptíveis de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) e resistentes a piretróides. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 33, p. 19-28, 2008.

- DANHO, M.; HAUBRUGE, E. Comportement de ponte et stratégie reproductive de *Sitophilus zeamais* [Coleoptera: Curculionidae]. **Revue Phytoprotection Journal**, v. 84, p. 59-67, 2003.
- DANHO, M.; GASPAR, C.; HAUBRUGE, E. The impact of grain quantity on the biology of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) ovipositions, distribution of eggs, adult emergence, body weight and sex ratio. **Journal Stored of Products Research**, v. 38, p. 259-266, 2002.
- DENHOLM, I.; DEVINE, G. J.; WILLIAMSON, M. S. Insecticide Resistance on the Move. **Science**, v. 297, p. 2222-2223, 2002.
- EATON, D. L.; KLASSEN, C. D. 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, 533p., 2003.
- FARONI, L. R. A.; SOUZA, A. H. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados. In: Almeida, F. A. C.; Duarte, M. E. M.; Mata, M. E. R. M. C. (Ed.). **Tecnologia de Armazenagem em Sementes**, Campina Grande, UFCG, cap. 7, p. 371-402, 2006.
- FERRARI, J. A. Insecticide resistance In: The Biology of Disease Vectors. **University Press of Colorado**, 1996.
- FEYEREISEN, R. Molecular biology of insecticide resistance. **Toxicology letters**, v. 82, n. 83, p. 83-90, 1995.
- FFRENCH-CONSTANT, R. H. Target site mediated insecticide resistance: what questions remain? **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 29, p. 397-403, 1999.
- FINNEY, D. J. Probit analysis. **Cambridge University Press**, UK, 3rd Edition, 333p., 1971.
- FORRESTER, N. W.; CAHILL, M.; BIRD, L. J.; LAYLAND, J. K. Management of pyrethroid and endosulfan resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia. **Bulletin of Entomological Research**, v. 1, p. 1-132, 1993.
- FRAGOSO, D. B.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, M. G. A. Partial characterization of glutathione S-transferases in pyrethroid-resistance and susceptible populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 167-170, 2007.

- FRAGOSO, D. B.; GUEDES, R. N. C.; PETERNELLI, L. A. Developmental rates and population growth of insecticide-resistant and susceptible populations of *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 41, p. 271-281, 2005.
- FRAGOSO, D. B.; GUEDES, R. N. C.; REZENDE, S. T. Glutathione S-transferase detoxification as a potential pyrethroid resistance mechanism in the weevil, *Sitophilus zeamais*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 109, p. 21-29, 2003.
- FREITAS, C. J. P.; PEREIRA, E. J. G.; CORDEIRO, E. M. G.; DELLA LUCIA, T. M. C.; TÓTOLA, M. R.; GUEDES, R. N. C. Organophosphate resistance in the maize weevil *Sitophilus zeamais*: magnitude, costs and behavior. **Crop Protection**, v. 28, p. 168-173, 2009.
- GEORGHIOU, G.P. Management of resistance in Arthropods, p. 769-792. In G. P. Georghiou, & T. Saito (eds.), *Pest Resistance to Pesticides: Challenges and Prospects*. **Plenum Press**, New York, 797p., 1983.
- GEORGHIOU, G. P.; METCALF, R. L. A bioassay method and results of laboratory evaluation of insecticides against adult mosquitoes. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 21, p. 328-337, 1961.
- GUEDES, N. M. P.; GUEDES, R. N. C.; FERREIRA, G. H.; SILVA, L. B. Flight take-off and walking behavior of insecticide-susceptible and resistant-strains of *Sitophilus zeamais* exposed to deltamethrin. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 99, p. 393-400, 2009.
- GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, E. E.; GUEDES, N. M. P.; RIBEIRO, B. M.; SERRÃO, J. E. Cost and mitigation of insecticide resistance in the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Physiological Entomology**, v. 31, p. 30-38, 2006.
- GUEDES, R. N. C.; ZHU, K. Y.; KAMBHAMPATI, S.; Altered acetylcholinesterase associate with organophosphate resistance in *Rhyzopertha dominica* (F) (Col., Bostrichidae) populations from Brasil and United States. **Journal Applied Entomology**, v. 58, p. 269-273, 1998.
- GUEDES, R. N. C.; KAMBHAMPATI, S.; DOVER, B. A. Allozyme variation among Brazilian and U.S, populations of *Rhyzopertha dominica* resistant to insecticides. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 84, p. 49-57, 1997.
- GUEDES, R. N. C.; DOVER, B. A.; KAMBHAMPATI, S. Resistance to chlorpyrifosmethyl, pirimiphos-methyl, and malatium in Brazilian and U.S.

- populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 89, p. 27-32, 1996.
- GUEDES, R. N. C.; LIMA, J. O. L.; SANTOS, J. P.; CRUZ, C. D. Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 145-150, 1995.
- GUEDES, R. N. C.; LIMA, J. O. G.; SANTOS, J. P.; CRUZ, C. D. Inheritance of deltamethrin resistance in a Brazilian strain of maize weevil (*Sitophilus zeamais* Motsch.). **International Journal of Pest Management**, v. 40, p. 103-106, 1994.
- GUEDES, R. N. C. Resistência a inseticidas: desafio para o controle de pragas de grãos armazenados. **Seiva**, v. 50, p. 24-29, 1991.
- HAGSTRUM, D. W.; FLINN, P. W.; HOWARD, R. W. Ecology. In: Subramanyam, B. H.; Hagstrum, D. W. (Ed.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**, Marcel Dekker, New York, USA, p. 71-134, 1996.
- HARAK, M.; LAMPRECHT, I.; KUUSIK, A.; HIIESAAR, K.; METSPALU, L.; TARTES, U. Calorimetric investigations of insect metabolism and development under the influence of a toxic plant extract. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 333, p. 39-48, 1999.
- HEMINGWAY, J. The molecular basis of two contrasting metabolic mechanisms of insecticide resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 30, p. 1009-1015, 2000.
- HEMINGWAY, J.; RANSON, H. Insecticide Resistance in Insect Vectors of Human Disease. **Annual Review of Entomology**, v. 45, p. 371-391, 2000.
- KENCE, M.; JDEIDEH, T. Effect of malathion on larval competition in house fly (Diptera: Muscidae) populations. **Journal of Economic Entomology**, v. 90, p. 59-65, 1997.
- KERNS, D. L.; GAYLOR, M. J. Insecticide resistance in field populations of the cotton aphid (Homoptera, Aphididae). **Journal of Economic Entomology**, v. 85, p. 1-8, 1992.
- KIRK, H.; DORN, S.; MAZZI, D. Molecular genetics and genomics generate new insights into invertebrate pest invasions. **Evolutionary Applications**, v. 6, p. 842-856, 2013.

- LI, X.; SCHULER, M. A.; BERENBAUM, M. R. Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 231-253, 2007.
- LORINI, I. **Manejo Integrado de Pragas de Grãos de Cereais Armazenados**, Passo Fundo, Embrapa Trigo, 72p., 2008.
- LORINI, I. Descrição, biologia e danos das principais pragas de grãos armazenados. In: Irineu, L.; Miike, L. H.; Scussel, V. M. (Ed.). **Armazenagem de Grãos**, Campinas, Instituto Biogeneziz, cap. 7.1, p. 379-397, 2002.
- MAZZARI, M. B.; GEORGHIO, G. P. Characterization of resistance to organophosphate, carbamate, and pyrethroid insecticides in field populations of *Aedes aegypti* from Venezuela. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 11, p. 315-322, 1995.
- OLIVEIRA, E. E.; GUEDES, R. N. C.; TÓTOLA, M. R.; de MARCO, P. Competition between insecticide-susceptible and resistant populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Chemosphere**, v. 69, p. 17-24, 2007.
- OLIVEIRA, E. E.; GUEDES, R. N. C.; CORRÊA, A. S.; DAMASCENO, B. L.; SANTOS, C. T. Resistência vs suscetibilidade a piretróides em *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae): há vencedor? **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 981-990, 2005.
- PEREIRA, C. J.; PERIRA, E. J. G.; CORDEIRO, E. M. G.; LUCIA, T. M. C. D.; TÓTOLA, M. R.; GUEDES, R. N. C. Organophosphate resistance in maize weevil *Sitophilus zeamais*: Magnitude and behavior. **Crop Protection**, v. 28, p. 168-173, 2009.
- PERRY, T.; BATTERHAM, P.; DABORN, P. J. The biology of insecticidal activity and resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, p. 411-422, 2011.
- REES, D. P. Coleoptera. In Subramanyam, B. H.; Hagstrum, D. W. (Ed.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**, New York, Marcel Dekker, USA, p. 1-39, 1996.
- RIBEIRO, B. M.; GUEDES, R. N. C.; CORRÊA, A. S.; SANTOS, C. T. Fluctuating asymmetry in insecticide-resistant and insecticide-susceptible strains of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Archives of Environmental Contamination Toxicology**, v. 53, p. 77-83, 2007.

- RIBEIRO, B. M.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, E. E.; SANTOS, J. P. Insecticide resistance and synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 39, p. 21-31, 2003.
- ROBERTSON, J. L.; PREISLER, H. K. Pesticide bioassays with arthropods. **CRC Press**, California, 127p., 1992.
- ROUSH, R. T.; DALY, J. C. The role of population genetics in resistance research and management. In: Roush, R. T.; Tabashink, B. E. **Pesticide Resistance in Arthropods**, New York, Chapman & Hall, p. 97-152, 1990.
- RUST, M. K.; REIERSON, D. A. Chlorpyrifos resistance in German Cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae) from restaurants. **Journal of Economic Entomology**, v. 84, n. 3, p. 736-740, 1991.
- SANTOS, J. C.; FARONI, L. R. D.; SIMÕES, R. O.; PIMENTEL, M. A. G.; SOUSA, A. H. Toxicidade de inseticidas piretróides e organofosforados para populações brasileiras de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 6, p. 75-81, 2009.
- SANTOS, J. P.; MONTOVANI, E. C. **Avaliação de perdas quantitativas no milho armazenado a nível de fazenda**, Sete Lagoas, CNPMS/EMBRAPA, 24p., 1997.
- SAS Institute, SAS. **User's guide: Statistics**, Cary, NC, Version 9.0 Edition, 2002.
- SILVA, L. B.; SILVA, L. S.; MANCIN, A. C.; CARVALHO, G. S.; SILVA, J. C.; ANDRADE, L. H. Comportamento do gorgulho-do-milho frente à doses de permetrina. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 1, p. 26-34, 2013.
- SIMPSON, S. J.; SWORD, G. A.; LO, N. Polyphenism in insects. **Current Biology**, v. 21, p. 738-749, 2011.
- SIQUEIRA, H. A. A.; GUEDES, R. N. C.; PICANÇO, M. C. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepdoptera: Gelechiidae). **Agricultural and Forest Entomology**, v. 2, p. 147-153, 2000.
- SODERLUND, D. M.; KNIPPLE, D. C. The molecular biology of knockdown resistance to pyrethroid insecticides. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 33, p. 563-577, 2003.
- SODERLUND, D. M.; BLOOMQUIST, J. R.; Molecular mechanisms of insecticide resistance. In: Roush, R. T.; Tabashink, B. E. **Pesticide Resistance in Arthropods**, New York, Chapman & Hall, p. 58-96, 1990.

- SOUSA, A. H.; FARONI, L. R. D'A.; GUEDES, R. N. C.; TOTOLA, M. R.; URRUCHI, W. I. Ozone as a management alternative against phosphine-resistant insect pests of stored products. **Journal of Stored Products Research**, v. 44, p. 379-385, 2008.
- SUBRAMANYAM, B. H.; HAGSTRUM, D. W. Resistance measurement and management. In: Subramanyam, B. H.; Hagstrum, D. W. (Ed.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**, New York, Marcel Dekker, USA, p. 331-397, 1996.
- SUBRAMANYAM, B. H.; HAREIN, P. K.; CUTKOMP, L. K. Organophosphate resistance in adults of red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) and sawtoothed grain beetle (Coleoptera: Cucujidae) infesting barley stored on farms in Minnesota. **Journal of Economic Entomology**, v. 82, p. 989-995, 1989.
- TRAN, B. N. D.; CREDLAND, P. F. Consequences of inbreeding for the cowpea seed beetle, *Callosobruchus chinensis* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 56, p. 483-503, 1995.
- WHALON, M. E.; MOTA-SANCHEZ, D.; HOLLINGWORTH, R. M. Analysis of global pesticide resistance in arthropods, p. 5-31. In: Whalon, M. E.; Mota-Sanchez, D.; Hollingworth, R. M. (Ed.). **Global pesticide resistance in arthropods**, Cambridge, CAB International, 208p., 2008.
- WHITE, N. D. G.; LEESCH, J. G. Chemical control. In: Subramanyam, B. H.; Hagstrum, D. W. (Ed.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**, New York, Marcel Dekker, USA, p. 287-330, 1996.
- WILLIAMSON, M. S.; MARTINEZ-TORRES, D.; HICK, C. A.; DEVONSHIRE, A. L. Identification of mutations in the housefly para-type sodium channel gene associated with knock-down resistance (kdr) to pyrethroid insecticides. **Molecular and General Genetics**, v. 252, p. 51-60, 1996.
- WILLIAMSON, M. S.; DENHOLM, I.; BELL, C. A.; DEVONSHIRE, A. L. Knockdown resistance (kdr) to DDT and pyrethroid insecticides maps to a sodium channel gene locus in the housefly (*Musca domestica*). **Molecular and General Genetics**, v. 240, p. 17-22, 1993.
- WONDJI, C. S.; DE SILVA, W. A. P. P.; HEMINGWAY, J.; RANSON, H.; KARUNARATNE, P. S. H. P. Characterization of knockdown resistance in DDT- and pyrethroid-resistant *Culex quinquefasciatus* populations from Sri Lanka. **Tropical Medicine and International Health**, v. 13, p. 548-555, 2008.